



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROYECTO FASE I**

**DISEÑO DE CÁMARA DE DESINFECCIÓN MEDIANTE OZONO**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO**

**INGENIERO BIOMÉDICO**

**PRESENTADO POR:**

**21511188 KEVIN JEOVANY DÍAZ CONTRERAS**

**11611148 Lizzy Marian Durón Avelar**

**ASESOR: ING. JUAN SÁNCHEZ**

**Campus Tegucigalpa; Julio, 2020**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios, por guiarnos en cada paso y cada decisión que tomamos a lo largo de nuestra carrera y darnos la oportunidad de educarnos de la mejor forma posible en medio de todas las adversidades.

A nuestros padres por habernos forjado como las personas que somos en la actualidad; muchos de los logros se los debemos a ustedes, en los que incluimos este. Nos formaron con reglas y ciertas libertades, pero al final de cuentas, nos motivaron con constancia para alcanzar nuestros anhelos.

A nuestros maestros, por dar su granito de arena en nuestra formación y brindarnos no solamente el conocimiento necesario, sino también los valores y la pasión que la carrera demanda.

Gracias.

## RESUMEN EJECUTIVO

La desinfección se define como la eliminación de gérmenes y otros microorganismos capaces de provocar infecciones o diferentes patologías en el ser humano. Dicho proceso puede lograrse por medio de diferentes métodos, entre los más convencionales se mencionan la utilización de químicos como el cloro, algunos alcoholes, detergentes y en menor medida aldehídos. Sin embargo, la desinfección de objetos mediante estas soluciones suele realizarse por medio de la inmersión, lo que hace que no sea funcional para todo tipo de material, ya que puede ocasionar reacciones químicas dañando los mismos.

Una de las soluciones a esto es la utilización de ozono, el cual es un gas con altas propiedades oxidativas, que permite destruir las membranas de las células de los microorganismos, así como la destrucción del ADN, evitando la reproducción de los mismos. Este gas puede obtenerse de manera sencilla a partir del aire del ambiente, ya que su composición química es formada por tres moléculas de oxígeno, así mismo, al ser un gas y no un químico, no daña la integridad física de los objetos.

Se ha trabajado en el diseño de una cabina capaz de generar este gas para concentrarlo en su interior junto con los materiales a desinfectar, realizando los cálculos necesarios para obtener la concentración y tiempo de exposición adecuados para la eliminación del 99% de la carga microbiana y viral.

Dicho diseño consiste en la implementación de un generador de ozono comercial de 5,000 mg/h para introducir ozono a una cabina con un volumen de 36 litros, realizando un ciclo de desinfección de aproximadamente 37 minutos de duración.

## **EXECUTIVE SUMMARY**

Disinfection is defined as the elimination of germs and other microorganisms capable of causing infections or different pathologies in humans. This process can be possible through different methods, between the commonly ones are the use of chemicals as chlorine, some alcohols, detergents and in minor measures aldehydes. However, the objects disinfection through these solutions is usually made as immersion, which in some materials it is not very useful because can cause some damages by the chemical reactions.

One of the solutions to this problem is the use of ozone, this is a gas with high oxidative properties, which allows it to destroy the membrane of the microorganism cell's and their DNA, avoiding their reproduction. This gas can be obtained by simple ways from the air, thanks to its chemical composition is formed by three oxygen atoms, likewise, being a gas and not a chemical makes it safe for the physical integrity of the objects.

A disinfection cabin design has been made, to generate ozone and concentrate it in the inside with the materials to be disinfected. This design has been made based on the calculations to obtain the adequate concentration and exposure time for the 99% elimination of microbial and viral load.

This design consists in the implementation of an ozone commercial generator with 5,000 mg/h ozone production to introduce the gas to the cabin, which has 36 liters of volume, making a cycle of disinfection with approximately 37 minutes duration.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción.....	1
II.	Planteamiento del Problema.....	2
2.1	Precedentes del problema .....	2
2.2	Definición del Problema.....	2
2.3	Justificación.....	2
2.4	Preguntas de Investigación.....	3
2.5	Objetivos.....	3
2.5.1	Objetivo General.....	3
2.5.2	Objetivo Específico.....	3
III.	Marco Teórico .....	4
3.1	Ozono.....	4
3.1.1	definición del Ozono.....	4
3.2	Mecanismo de Acción.....	8
3.2.1	Efectos sobre bacterias:.....	8
3.2.2	Efectos sobre los virus: .....	9
3.3	Tipos de generación de ozono.....	10
3.3.1	Generación de ozono mediante el efecto Corona.....	11
3.3.2	Generación de ozono mediante Luz UV.....	13
3.3.3	Generación de ozono por Electrólisis .....	14
3.4	Tolerancia de los Humanos al Ozono .....	14
3.4.1	Toxicidad del Ozono.....	14
3.4.2	Límites de exposición Laboral.....	16

3.5	Aplicaciones del ozono.....	18
3.5.1	Acción Desodorante del Ozono.....	18
3.5.2	Desechos gaseosos.....	19
3.5.3	Tratamiento de aguas residuales.....	21
3.5.4	Seguridad alimentaria.....	21
3.6	Aplicaciones Médicas.....	22
3.6.1	Ozonoterapia.....	23
3.6.2	Efectos clínicos de la ozonoterapia .....	24
3.7	Cinética de Inactivación de microorganismos .....	25
3.8	Estudios del Ozono como Viricida .....	27
3.9	Efecto del Ozono en Distintos Materiales .....	29
IV.	Metodología .....	31
4.1	Enfoque .....	31
4.2	Variables de Investigación.....	31
4.2.1	Concentración.....	31
4.2.2	Tiempo de Exposición.....	31
4.2.3	Tipo de Generación de Ozono .....	32
4.2.4	Tamaño de la Cámara.....	32
4.2.5	Capacidad del Generador.....	32
4.3	Técnicas e Instrumentos aplicados .....	33
4.3.1	Diseño en SolidWorks.....	33
4.3.2	Desarrollo de sistema de control.....	34
4.3.3	Análisis de riesgo.....	34

4.4	Materiales .....	37
4.4.1	sistema de control.....	38
4.4.2	estructura de la Cámara .....	42
4.5	Metodología de estudio.....	43
4.6	Metodología de validación .....	43
4.7	Cronograma de actividades.....	44
V.	Resultados y Análisis.....	46
5.1	Concentración y tiempo de exposición.....	46
5.2	Selección del generador.....	47
5.3	Diseño Estructural.....	48
5.3.1	descripción de los módulos del diseño.....	48
5.4	Circuito de Control.....	51
VI.	Conclusiones.....	54
VII.	Recomendaciones.....	55
VIII.	Aplicabilidad .....	56
IX.	Evolución de trabajo actual /Trabajo futuro.....	57
X.	Bibliografía.....	58
XI.	Anexos.....	62

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Estructura Química del ozono .....	4
Ilustración 2. Comportamiento del Ozono.....	7
Ilustración 3. Destrucción de Bacterias .....	9
Ilustración 4. Estructura del coronavirus. ....	10
Ilustración 5. Primer generador de ozono, inventado por Verner Von Siemens en 1857 .....	11
Ilustración 6. Vista a detalle de un tubo de descarga corona usado para generar ozono .....	12
Ilustración 7. Generador de plasma por efecto corona.....	12
Ilustración 8. Pasos para la formación de ozono por radiación UV .....	13
Ilustración 9. Tiempos de exposición en humanos .....	17
Ilustración 10. Efectos biológicos de la presencia de oxígeno-ozono en la sangre.....	24
Ilustración 11. Fracción de supervivencia de MS2 en el aire, phi X174, phi 6 y T7 expuestos a diferentes concentraciones de ozono a HR 55% y 85%.....	27
Ilustración 12. Software del diseño de la estructura.....	33
Ilustración 13. Software para el diseño de circuito de control. ....	34
Ilustración 14. Software adicional para diseño de circuito de control.....	34
Ilustración 15. Arduino MEGA. ....	38
Ilustración 16. Pantalla LCD.....	38
Ilustración 17. Sensor de ozono MQ131.....	39
Ilustración 18. Interruptor magnético. ....	39
Ilustración 19. Electroimán para puerta.....	39
Ilustración 20. Pulsador ON de cuatro pines. ....	40
Ilustración 21. Ventiladora para evacuación de ozono.....	40



Ilustración 22. Relé 5V, 10A 125 VAC/280 VDC.....	41
Ilustración 23. Servomotor .....	41
Ilustración 24. Potenciómetro de 10kΩ .....	42
Ilustración 25. Indicadores LED.....	42
Ilustración 26. Generador Airthereal MA5000 elegido para prototipo.....	48
Ilustración 27. Diseño final de la estructura de la cabina de desinfección.....	48
Ilustración 28. Animación del diseño 3D.....	49
Ilustración 29. Vista explosionada de la cabina.....	50
Ilustración 30. Módulo inferior de la cabina.....	50
Ilustración 31. Diagrama de Bloques del sistema.....	51
Ilustración 32. Montaje en Protoboard.....	52

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ficha descriptiva del ozono.....	5
Tabla 2. Potenciales redox (E0) de agentes oxidantes (Beltran y col, 1997).....	6
Tabla 3. Valores de CT (C(mg / l) x T (min)) al 99% de eficiencia biocida para diferentes desinfectantes. ....	8
Tabla 4. Niveles de exposición al ozono de acuerdo con los efectos tóxicos en la salud.....	16
Tabla 5. Principales usos industriales del ozono (Azarpazhooh A. and Limeback H, 2008) .....	18
Tabla 6. Principales contaminantes del aire emitidos por producciones químicas. ....	20
Tabla 7. Inactivación del Poliovirus por Ozono a una temperatura de 20°C.....	26
Tabla 8. Valores de concentraciones de ozono para una inactivación viral del 99%.....	29
Tabla 9. Clasificación de riesgos (No exhaustiva) .....	35

Tabla 10. Matriz de R.....	36
Tabla 11. Matriz de Riesgos, probabilidad .....	36
Tabla 12. Matriz de riesgos, impacto.....	37
Tabla 13. Clasificación de riesgos. ....	37
Tabla 14. Medidas definidas de la cámara de desinfección.....	46
Tabla 15. Dosis y tiempos calculados.....	46
Tabla 16. Generadores de ozono analizados para el prototipo. ....	47

## **ÍNDICE DE GRÁFICOS**

Gráfico 1. Ciclo de desinfección concentración vs tiempo.....	47
---	----

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1. Plano del diseño de la cámara. ....	62
Anexo 2. Datasheet del sensor de ozono. ....	64
Anexo 3. Circuito de control esquemático. ....	65
Anexo 4. Programa de arduino.....	66

## **LISTA DE SIGLAS Y GLOSARIO**

EPP Equipo de Protección Personal

FTIR Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier)

UFC Unidad Formadora de Colonias

EPA Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental)

PCB Printer Circuit Board (Placa de circuito impreso).

## **I. INTRODUCCIÓN**

El ozono es una sustancia gaseosa que tiene propiedades de desinfección muy elevadas lo que lo convierte en un fuerte germicida contra virus, bacterias y cualquier otro tipo de microorganismos. Esto representa una solución alternativa para desinfección en áreas como tratamiento de aguas residuales, seguridad alimentaria, sanitización de agua potable, acción desodorante y desechos gaseosos del ambiente en general, siendo el método con mayor alcance de desinfección por encima de algunos químicos convencionales como el cloro y el alcohol debido a sus propiedades de oxidación. El ozono puede generarse de forma relativamente sencilla debido a que solo necesita el aire del ambiente para constituir sus tres átomos de oxígeno ya sea por medio de un alto voltaje o mediante luz UV, lo que también lo hace más económico comparado con otros métodos que requieren de una alta inversión y gastos de consumibles.

A continuación se propone una alternativa de desinfección que consiste en una cámara de exposición controlada de ozono, detallándose los objetivos y la aplicación de esta tecnología para la crisis sanitaria que se vive a nivel mundial, la metodología utilizada para determinar las concentraciones necesarias y resultados del trabajo realizado.

## **II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA**

Actualmente en el ámbito hospitalario existen dos formas de eliminar microorganismos, estos son la esterilización y la desinfección, según la reducción logarítmica que se desea alcanzar. Los sistemas de esterilización consisten en métodos físicos, ya sea por calor húmedo (autoclaves) o calor seco (esterilizadores de calor seco), así mismo métodos químicos como ser el peróxido de hidrógeno, óxido de etileno. En el caso de desinfección, esta suele realizarse con el uso de diferentes químicos, tal es el caso de hipoclorito de sodio, alcoholes, glutaraldehído y formaldehído. En algunos casos se hace uso erróneo de un químico llamado clorhexidina el cual realmente es antiséptico, destinado para la desinfección de manos.

### **2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

La mayoría de estos métodos no son aptos para la desinfección de equipos de protección personal (EPP) debido a que pueden dañar su integridad física y la funcionalidad de filtración de este. Por ende, para la correcta desinfección de este tipo de material se necesitan nuevas tecnologías, capaces de alcanzar una reducción considerable de carga microbiana sin daños secundarios al material, para que este pueda ser reutilizado una vez libre de microorganismos de alto riesgo. Tal es el caso, del uso del ozono como químico desinfectante que puede generarse de forma sencilla a partir del aire del ambiente, capaz de destruir de forma significativa los microorganismos presentes en el EPP mediante una exposición constante del gas sin repercutir en la integridad de este.

### **2.3 JUSTIFICACIÓN**

Debido al alto consumo de EPP por la situación sanitaria a nivel mundial y la escasez del mismo a nivel nacional, el personal de salud se ha visto en la necesidad de reutilizar el material de bioseguridad, ya que este es de vital importancia para la asistencia médica de pacientes con COVID-19. Los métodos de desinfección para la reutilización de EPP que actualmente se usan en el país no garantizan la protección del individuo ni la integridad del producto, lo que conlleva a

que este se convierta en un foco de infección. Es por ello que se debe implementar un sistema adecuado y funcional para su correcta desinfección, como ser el uso de ozono.

## **2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

- ¿Es el ozono una opción viable de desinfección?
- ¿Es el ozono un gas tóxico?
- ¿Existe algún método de desinfección igual o superior al ozono?
- ¿Existen actualmente cabinas de desinfección que utilicen ozono?

## **2.5 OBJETIVOS**

### **2.5.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar una cabina de desinfección de bajo costo haciendo uso de ozono para la reutilización de equipo de bioseguridad.

### **2.5.2 OBJETIVO ESPECÍFICO**

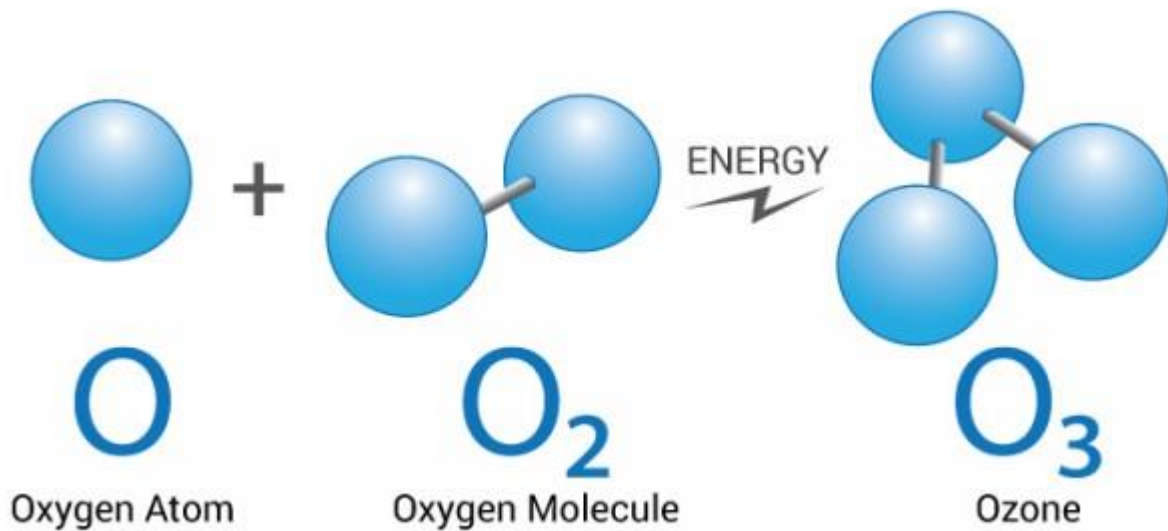
- Calcular las dosis de ozono necesarias para la inactivación de microorganismos.
- Identificar el método de generación de ozono más adecuado.
- Determinar la estructura y el sistema de control de la cámara de desinfección.

### III. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 OZONO

##### 3.1.1 DEFINICIÓN DEL OZONO

Desde el punto de vista químico, el ozono es una forma alotrópica del oxígeno, cuya molécula está formada por tres átomos de oxígeno (O<sub>3</sub>). Es un gas de color azul pardo que cuando se licúa se convierte en un líquido azul oscuro y depende de variables como la temperatura, el pH, concentración y algunos solutos. (García-Chamizo et al., 2020)



**Ilustración 1. Estructura Química del ozono**

Fuente: (EarthWalk, 2020)

**Tabla 1. Ficha descriptiva del ozono.**

Fórmula molecular	O <sub>3</sub>
Característica principal	Gas oxidante
Peso molecular	48.0
Concentración	De hasta 18% por el peso en oxígeno
Punto de ebullición	-111.9°C
Punto de fusión	-192.7°C
Temperatura crítica	-12.1°C
Presión crítica	54.6 atmósferas
Densidad	2.14 kg O <sub>3</sub> /m <sup>3</sup> a 0°C y 1013 mbar
Densidad relativa (al aire)	1.7
Solubilidad en agua	3 ppm a 20°C
Calor de formación	144.7 kJ/mol
Ángulo de enlace	116°C
Potencial electroquímico	-2.07 V
Punto de destello	No aplicable
Temperatura de auto ignición	No aplicable
Inflamabilidad	Inflamable, pero vigoroso para apoyar la combustión
Productos peligrosos de la descomposición	Ninguno

Fuente: (Escobedo, 2007)

De acuerdo con la tabla 2, se puede observar que el ozono es un oxidante muy fuerte. Gracias a eso se puede utilizar como un desinfectante, reacciona con una gran cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos.



**Tabla 2. Potenciales redox (E0) de agentes oxidantes (Beltran y col, 1997)**

<b>Especie</b>	<b>E0 (V, 25°C)</b>
<b>Flúor</b>	3.03
<b>Radical hidroxilo</b>	2.80
<b>Oxígeno atómico</b>	2.42
<b>Ozono</b>	2.07
<b>Peróxido de hidrógeno</b>	1.78
<b>Radical perhidróxilo</b>	1.70
<b>Permanganato</b>	1.68
<b>Dióxido de cloro</b>	1.57
<b>Ácido hipocloroso</b>	1.49
<b>Cloro</b>	1.36
<b>Bromo</b>	1.09
<b>Yodo</b>	0.54

Fuente: (MORENO, 2011)

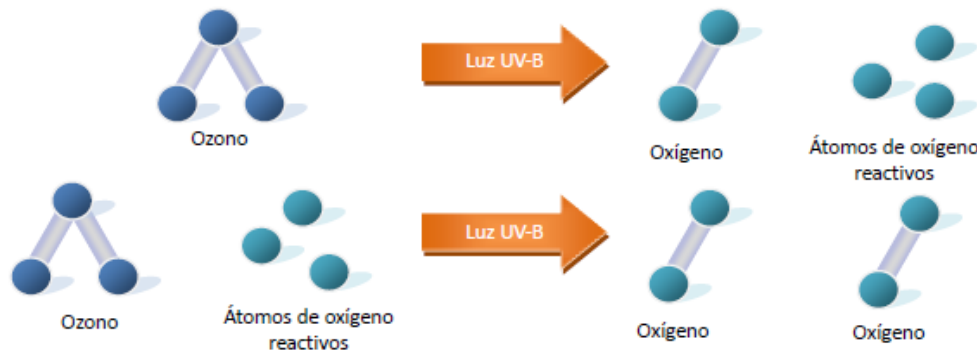
Su potencial de oxidación es alto (-2.07 V) comparado con el ácido hipocloroso (-1.49 V) o cloro (-1.36 V) (Merck Index, 1989) convirtiéndole en un potente agente oxidante, lo que le confiere propiedades biocidas para ser utilizado como desinfectante en ambientes interiores.

De hecho, el ozono es el desinfectante más eficiente para todo tipo de microorganismos, según la Organización Mundial de la Salud (OMS). Se puede decir, que el ozono no tiene límites en el número y especies de microorganismos que puede eliminar y al ser un gas, tiene la capacidad de penetrar y ocupar todo el espacio de difícil acceso por difusión representando una gran ventaja respecto a otros desinfectantes. Además, el ozono tiene la posibilidad de poder usarse disuelto en agua (agua ozonizada).

Se ha demostrado ampliamente que el ozono es eficaz en la eliminación de bacterias, virus, protozoos, nemátodos, hongos, agregados celulares y esporas debido a que ejerce su acción biológica por oxidación directa de la pared celular, vía radicales libres, formados en el proceso de peroxidación de los ácidos grasos poliinsaturados y en el de oxidación de proteínas, aminas y tioles (Pryor et al., 1995). Asimismo, la producción de radicales hidroxilos como consecuencia de la desintegración del ozono en el agua provoca un efecto similar al expuesto. (García-Chamizo et al., 2020)

Por el contrario, la desinfección con ozono no produce residuos nocivos, y todo el ozono residual se convertirá de nuevo en oxígeno en poco tiempo. Por lo tanto, el ozono se considera un desinfectante ecológico. Dada su fuerza y efectividad superiores como oxidante y biocida, el ozono se convierte en una de las tecnologías de tratamiento de agua dominantes en Europa y América.(K. K. LAM, 2003)

Como generalidades del ozono la concentración de ozono en aire es de 0,000002% en volumen. Su formación en la atmósfera, específicamente en la troposfera, se inicia cuando las moléculas diatómicas de oxígeno se separan en átomos libres altamente reactivos debido a la acción de la radiación ultravioleta. Estos átomos luego colisionan con otras moléculas de oxígeno, dando como resultado moléculas de ozono. Debido a su gran inestabilidad se descompone rápidamente en oxígeno diatómico, cumpliendo así su principal función, actuar como filtro de las Luz UV-B, radiaciones de alta energía provenientes del sol, conocidas por ser biológicamente nocivas.(Parzanese, 2017)



**Ilustración 2. Comportamiento del Ozono**

Fuente : (Parzanese, 2017)

En la Tabla pueden observarse varios ejemplos que demuestran el poder de acción del ozono ya que remueve el 99% de los organismos patógenos (de cualquier grupo) con el menor valor de CT (concentración de desinfectante por tiempo de contacto).

**Tabla 3. Valores de CT (C(mg / l) x T (min)) al 99% de eficiencia biocida para diferentes desinfectantes.**

Agente patógeno	Desinfectante			
	Cloro Libre (ph 6-7)	Cloramina (ph 8-9)	Dióxido de cloro (ph 6-7)	Ozono (ph 6-7)
E. Coli	0.0034-0.05	95-180	0.4-0.75	0.02
Poliovirus-1	1.1-2.5	768-3740	0.2-6.7	0.1-0.2
Rotavirus	0.01-0.05	3806-6476	0.2-2.1	0.006-0.06
Giarda lambia a	47-150	2200	26	0.5-0.6
Cryptosporidium	7200	7200	78	5-10

Fuente: (Rodríguez & Rodríguez, 2007)

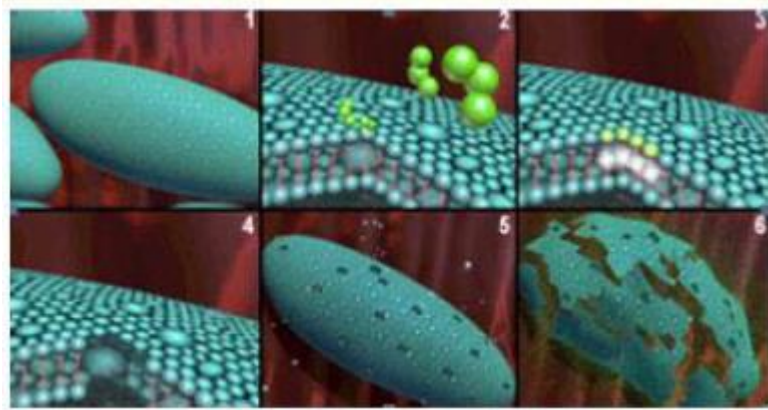
### 3.2 MECANISMO DE ACCIÓN

La acción microbicida del ozono se debe a su capacidad de oxidar componentes celulares vitales de muchos microorganismos. El principal punto de acción son los constituyentes de la superficie celular. Dependiendo del tipo de microorganismo, la pared celular está formada por distintos componentes, en las bacterias se constituye de peptidoglicano, entre las arqueobacterias se presentan distintas composiciones químicas, incluyendo glicoproteínas, pseudopeptidoglicano o polisacáridos. El ozono actúa sobre todos ellos oxidándolos a otros compuestos que ya no forman la pared celular, por lo cual se incrementa la permeabilidad y puede ocasionar la lisis celular. Además, una vez que penetró la célula, el ozono daña los constituyentes de los ácidos nucleicos (ARN y ADN), como consecuencia, los microorganismos no son capaces de desarrollar inmunidad al ozono como lo hacen frente a otros agentes desinfectantes. (Parzanese, 2017)

#### 3.2.1 EFECTOS SOBRE BACTERIAS:

El ozono ataca la pared celular de las bacterias, y rompe además su actividad enzimática al actuar sobre los grupos sulfhídricos en ciertas enzimas. A partir de este momento la bacteria pierde su

capacidad de degradar azúcares y producir gases. El deshidrogenado de glucosa fosfato-6 es afectado del mismo modo que el sistema enzimático. La muerte de la bacteria puede ser debido a los cambios en la permeabilidad celular, posiblemente seguido de una lisis celular. (Parzanese, 2017).

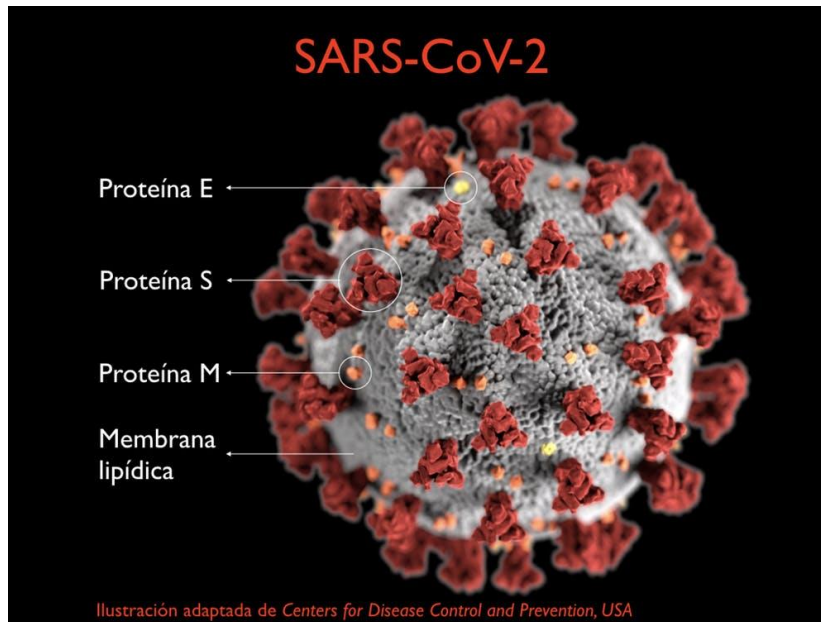


**Ilustración 3. Destrucción de Bacterias**

Fuente: (Rodríguez & Rodríguez, 2007)

### **3.2.2 EFECTOS SOBRE LOS VIRUS:**

Los virus son microorganismos acelulares, compuestos solamente de ácido nucleico y una proteína que lo encierra llamada cápside. El ozono actúa rompiendo esta cápsula viral, dejando el ácido nucleico desprotegido. Es probable además que el ozono modifique los sitios de la cápsula viral que el virus utiliza para fijarse a la superficie de las células.(Parzanese, 2017)



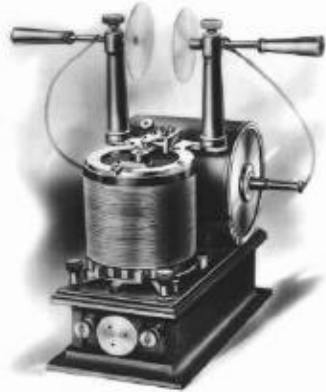
**Ilustración 4. Estructura del coronavirus.**

Fuente: (Mingarro, 2020)

### **3.3 TIPOS DE GENERACIÓN DE OZONO**

Se puede encontrar varias técnicas usadas para producir ozono de grado médico.

Un tipo de generador usa como fuente una lámpara de rayos ultravioleta. Este método es adecuado para la purificación del aire, porque en ese ancho de banda, la radiación ultravioleta solo reacciona con oxígeno, pero es muy débil para propósitos médicos. También, la lámpara UV se deteriora con el tiempo y finalmente se quema. Otro método de producción de ozono es la descarga de corona, donde un tubo con un cátodo frío o caliente está rodeado por un ánodo de metal. Algunas veces es llamado corona de frío o descarga silenciosa. En un largo documento, en la inducción electrostática, Siemens (1857) describió en detalle un aparato silencioso de descarga para preparar ozono a partir de aire u oxígeno. En la actualidad, los mejores son llamados dieléctrico doble, porque tienen una capa de cristal que separa cada componente del flujo del gas. Esto previene la contaminación del ozono, pero debido a la corriente que va por el metal, son propensos al arco eléctrico y al desgaste. Esto hace que los generadores tengan corta vida. (Moreno Rojero, 2011)



**Ilustración 5. Primer generador de ozono, inventado por Verner Von Siemens en 1857**

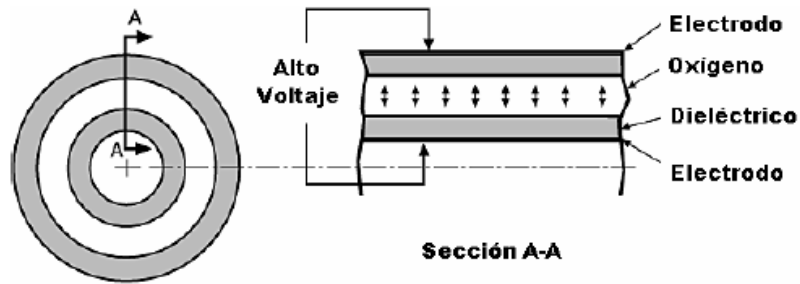
Fuente: (Moreno Rojero, 2011)

Por lo tanto, los métodos de generación de Ozono serán divididos en tres tipos los cuales son:

### **3.3.1 GENERACIÓN DE OZONO MEDIANTE EL EFECTO CORONA.**

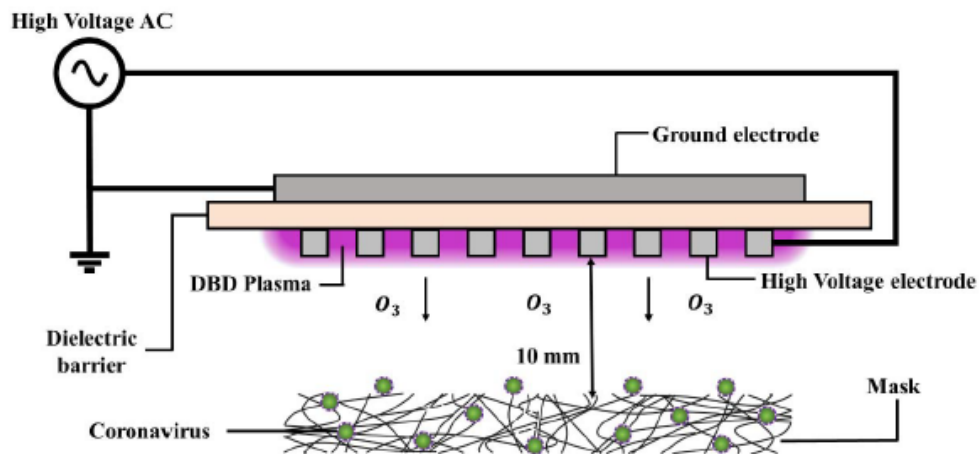
La producción de ozono artificialmente se lleva a cabo gracias a la generación de una tensión eléctrica. Dicha tensión aparece cuando hay una diferencia notable de potencial existente entre los dos puntos de un circuito eléctrico en particular. A dicho proceso se lo denomina efecto corona y del mismo pueden surgir tanto el ozono como los iones negativos. Propiamente dicho, el efecto corona consiste en la ionización del aire que rodea a los conductores de alta tensión. Este fenómeno tiene lugar cuando el gradiente eléctrico supera la rigidez dieléctrica del aire y se manifiesta en forma de pequeña chispas o descargas a escasos centímetros de los cables. Mientras mayor sea el gradiente eléctrico, mayor será el efecto corona, una mayor humedad incrementa el efecto corona. El estado de la superficie del conductor (las rugosidades, irregularidades, defectos, impurezas adheridas, etc.), lo incrementan. Como consecuencia del efecto corona se produce una emisión de energía acústica y energía electromagnética en el rango de las radiofrecuencias, de forma que los conductores pueden generar ruido e interferencias en la radio y la televisión; otra consecuencia es la producción de ozono. La producción de ozono artificial consiste básicamente en: un tubo dieléctrico por el que se hace pasar oxígeno, éste recibe una descarga eléctrica constante (efecto corona) y que se ha generado en un transformador. Este hecho provoca la

transformación de la molécula de oxígeno ( $O_2$ ) proveniente del aire, en una molécula de ozono ( $O_3$ ). (Moreno Rojero, 2011)



**Ilustración 6. Vista a detalle de un tubo de descarga corona usado para generar ozono**

Fuente: (Moreno Rojero, 2011)



**Ilustración 7. Generador de plasma por efecto corona**

Fuente: (Lee et al., 2020)

Tan pronto como el ozono se forma en el generador y se dispersa en un ambiente, ocurren varios procesos que incluyen:

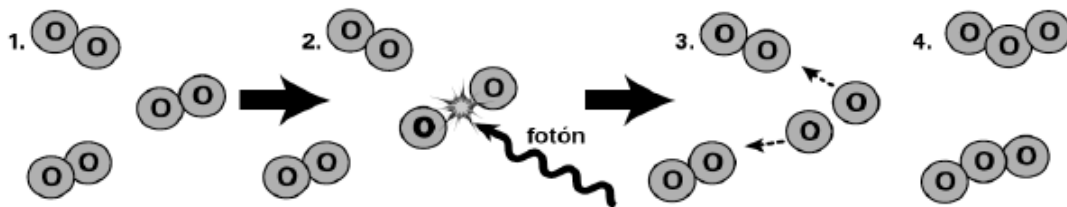
- a) Reacción oxidante con agentes causantes de olor, que consume al ozono.
- b) Reacciones con hongos, moho, bacterias y otros contaminantes que consumen nuevamente al ozono mediante reacciones oxidantes.

- c) Reducción natural (o vuelta al oxígeno) del ozono extra innecesario, debido a la inestabilidad química del ozono. (Moreno Rojero, 2011)

### 3.3.2 GENERACIÓN DE OZONO MEDIANTE LUZ UV

La mayor parte del ozono se encuentra en la estratosfera donde actúa como una barrera para proteger la superficie de la Tierra de la perjudicial radiación ultravioleta proveniente del sol.

El ozono que se encuentra más cerca de la superficie, en la troposfera es un contaminante nocivo que daña los pulmones y las plantas. El ozono estratosférico es creado principalmente por la radiación ultravioleta. Cuando rayos ultravioletas de alta energía chocan con moléculas de oxígeno comunes ( $O_2$ ), las dividen en dos átomos de oxígeno simple, conocido como oxígeno atómico. Uno de los átomos de oxígeno liberado se combina con otra molécula de oxígeno y forma una molécula de ozono. Lo anterior se ejemplifica mejor en la siguiente imagen. (Moreno Rojero, 2011)



**Ilustración 8. Pasos para la formación de ozono por radiación UV**

Fuente: (Moreno Rojero, 2011)

Este se desarrolla de la siguiente manera:

1. Las moléculas de oxígeno comunes.
2. Un fotón de energía solar divide una molécula de oxígeno en dos átomos de oxígeno simple.
3. Los átomos de oxígeno liberados se combinan con las moléculas de oxígeno.
4. Formación de moléculas de Ozono.



El ozono es de suma importancia, ya que absorbe un rango de energía ultravioleta que es nocivo para la vida en la tierra. Por medio de este "ciclo de ozono-oxígeno" la peligrosa radiación ultravioleta se transforma continuamente en calor. En la disociación por la absorción de luz de O<sub>2</sub>, en dos átomos de oxígeno, el estado de energía depende de la longitud de onda de la luz absorbida. El mecanismo requiere la mínima cantidad de energía, por supuesto, produce átomos de oxígeno en sus estados menores de energía. varios fabricantes de lámparas de luz ultravioleta han estimado que el rendimiento cuántico máximo, en lo que a formación de ozono se refiere, esta entorno a los 185 – 187 nm, dentro de lo que es una gama de lámparas comerciales. (Moreno Rojero, 2011)

### **3.3.3 GENERACIÓN DE OZONO POR ELECTRÓLISIS**

Electrólisis de alta densidad de corriente de agua soluciones de fosfato a temperatura ambiente produce ozono y oxígeno en el gas anódico. Electrólisis de 68% en peso de ácido sulfúrico puede producir 18-25% en peso % de ozono en oxígeno cuando se usa una celda bien enfriada. Aunque la electrólisis del agua puede producir altas concentraciones de ozono, la salida es baja y el el costo es varias veces mayor que el de la corona proceso de descarga. Sin embargo, pequeñas unidades electrolíticas. se utilizan comercialmente para el tratamiento de aguas de pureza ultra alta en productos farmacéuticos y electrónicos industrias. (Moreno Rojero, 2011)

## **3.4 TOLERANCIA DE LOS HUMANOS AL OZONO**

El ozono es un gas tóxico, después de la inhalación puede causar enfermedades si es inhalado en cantidades suficientes.

Los seres humanos pueden soportar cierto límite de exposición de ozono sin que esto presente un riesgo para su salud, pero también existen dosis que pueden provocar daños.

### **3.4.1 TOXICIDAD DEL OZONO.**

"La toxicidad del ozono en los mamíferos depende básicamente de los órganos involucrados en la exposición y la concentración del ozono. Los mayores efectos tóxicos se presentan en el sistema respiratorio cuando este gas es inhalado por el organismo". (Moreno Rojero, 2011)

Cuando el ozono penetra en las vías respiratorias irrita las mucosas y los tejidos pulmonares. Altas concentraciones de ozono, largas exposiciones temporales y exhaustivos grados de actividad física durante la exposición causan graves efectos en la salud, tales como disminución de la función pulmonar, agravamientos asmáticos, falta de aliento, dolor de pecho en respiraciones profundas, respiración silbante y tos. (Fenger et al., 1999). Algunos de los efectos tóxicos del ozono reportados incluyen una disminución de un 5% de la función pulmonar en individuos jóvenes sanos cuando han estado expuestos a concentraciones de ozono controladas de 250  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  durante promedios de 1 y 8 horas respectivamente; pudiéndose alcanzar disfunciones pulmonares de un 20% cuando durante con estos mismos promedios horarios se ha expuesto a concentraciones de 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 240  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente (WHO, 2005). Entre los efectos sobre la salud humana antes mencionados se pueden destacar los siguientes:

- Irritación en los ojos y vías respiratorias provocando tos, irritación en la garganta y/o sensación incómoda en el pecho; cuando la concentración es mayor a 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  se presenta dolor de cabeza y respiración dificultosa.
- Irritación del tejido pulmonar interno desde los 160  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  después de 6 horas de exposición. Inflama y daña las células que conforman la capa interna de los pulmones. Al cabo de unos pocos días, las células dañadas son reemplazadas y las células viejas se desprenden.
- Cambios transitorios en las funciones pulmonares en exposiciones entre los 160 - 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . La población más sensible muestra una reducción promedio en la función pulmonar del 10% a 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y una reducción del 30% a 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- Daño permanente al pulmón. El daño repetido a corto plazo en los pulmones en desarrollo de los niños puede resultar en una función pulmonar reducida en edad adulta. En los adultos, la exposición al ozono puede acelerar la disminución natural de la función pulmonar que ocurre como parte del proceso normal de envejecimiento (WHO, 2005).

La Organización Mundial de la Salud dispone los niveles de exposición al ozono de acuerdo a los efectos tóxicos en la salud (WHO, 2005).. (Moreno Rojero, 2011)

Efectos biológicos del ozono se atribuyen a la habilidad de este último para causar la oxidación o peroxidación de las biomoléculas, ya sea directamente y / o vía reacciones por radicales libres.

Una secuencia de eventos puede incluir la peroxidación de lípidos, pérdida de grupos funcionales de las enzimas, alteración de la permeabilidad de la membrana, y el daño o muerte celular (Mustafa, 1990). (Moreno Rojero, 2011)

**Tabla 4. Niveles de exposición al ozono de acuerdo con los efectos tóxicos en la salud**

	<b>Concentración promedio diaria <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> (8 horas de exposición)</b>	<b>Bases para seleccionar nivel</b>
<b>Nivel alto</b>	200	Efectos significativos en la salud, gran parte de población susceptible se ve afectada
<b>Nivel intermedio-1 (IT-1)</b>	160	Efectos importantes en la salud; no hay una adecuada protección a la salud pública. La exposición a estos niveles de ozono se asocia con: Efectos fisiológicos negativos e inflamatorios en la salud pulmonar de adultos expuestos por periodos de 6.6 horas. Efectos nocivos en la salud de los niños (basado en estudios realizados a niños expuestos a estos niveles de ozono en campamentos de verano). Incremento del 3-5% en la mortalidad diaria* (basado en resultados de estudios de series cronológicas diarias).
<b>Guía para la calidad del aire (AQG)</b>	100	La salud pública se encuentra protegida a este nivel aunque pueden ocurrir algunos efectos sobre la salud por debajo de este nivel. La exposición a este nivel de ozono se asocia con: Incremento del 1-2% en la mortalidad diaria* (basado en resultados de estudios de series cronológicas diarias).

Fuente:(MORENO, 2011)

### **3.4.2 LÍMITES DE EXPOSICIÓN LABORAL**

- OSHA: El PEL, límite legal de exposición admisible en el aire, es de 0,1 ppm como promedio durante un turno laboral de 8 horas.
- NIOSH: El límite de exposición recomendado en el aire es de 0,1 ppm, que no debe sobrepasarse en ningún momento.
- ACGIH: Los límites de exposición recomendado en el aire como promedio durante un turno laboral de 8 horas son: (1) de 0,05 ppm para trabajos de mucha exigencia física, (2)

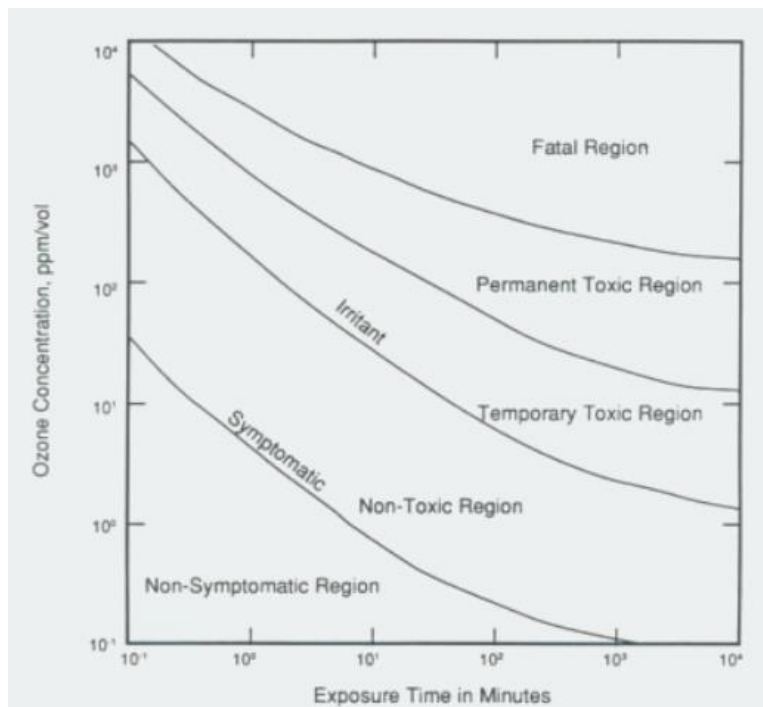
de 0,08 ppm para trabajos de exigencia física moderada, (3) de 0,1 ppm para trabajos de poca exigencia física y (4) de 0,20 ppm si el turno laboral es de menos de 2 horas.

El ozono puede causar mutaciones. Siempre debería reducirse al mínimo posible el nivel de contacto (New Jersey Department of Health and Senior Services, 2003).

#### 3.4.2.1 Maneras de Reducir la exposición.

- Donde sea posible, encierre las operaciones y use ventilación por extracción localizada en el lugar de las emisiones químicas. Si no se usa ventilación por extracción localizada ni se encierran las operaciones, deben usarse respiradores.
- Use ropa de trabajo protectora.
- Lávese a fondo inmediatamente después de la exposición al ozono.

(New Jersey Department of Health and Senior Services, 2003)



**Ilustración 9. Tiempos de exposición en humanos**

Fuente:(New Jersey Department of Health and Senior Services, 2003)

### 3.5 APLICACIONES DEL OZONO

#### 3.5.1 ACCIÓN DESODORANTE DEL OZONO

Entre las distintas aplicaciones del ozono, principalmente se encuentra el hecho de eliminar bacterias, así como herbicidas, pesticidas y contaminantes tóxicos, en el ámbito alimenticio, de más de lo anterior, evita la formación de moho en los alimentos y por ende los alimentos duran más tiempo al ser ozonizados. (Moreno Rojero, 2011)

Ya que el ozono es un oxidante muy fuerte, capaz de reaccionar con una gran variedad de compuestos orgánicos (incluyendo biomoléculas) e inorgánicos, éste se aplica en diferentes áreas: ambiental (degradación de contaminantes en fase líquida, sólida o gas), desinfección (agua, alimentos), síntesis orgánica, medicina, entre otras. En la tabla se presentan algunas de las aplicaciones más importantes a nivel industrial que tiene el ozono. (Moreno Rojero, 2011)

**Tabla 5. Principales usos industriales del ozono (Azarpazhooh A. and Limeback H, 2008)**

<b>Industria alimenticia</b>	<b>Industria Química</b>	<b>Otros usos industriales</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Preservación de alimentos</li><li>• Aumento del tiempo de anaquel</li><li>• Esterilización de equipos</li><li>• Tratamiento de efluentes en la industria de alimentos</li><li>• Agente desinfectante de alimentos en cámaras frigoríficas</li><li>• Conservador de carnes congeladas almacenadas</li><li>• Prevención del crecimiento de levaduras y hongos en las frutas almacenadas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Agente oxidante en la industria de química</li><li>• Blanqueamiento de harina, pulpa de papel, almidón y azúcar</li><li>• Procesamiento de perfumes, vainillina, alcanfor</li><li>• Secado de barnices y tintas de impresión</li><li>• Producción de peróxidos</li><li>• Remoción de cloro del ácido nítrico</li><li>• Oxidación de fenoles y cianuros</li><li>• Añejamiento de licor y madera</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Agente desinfectante de agua potable y aire</li><li>• Tratamiento de aguas industriales</li><li>• Desodorización de plumas, aire y gases residuales</li><li>• Agente bactericida</li><li>• Producción de hormonas esteroides</li></ul>

Fuente: (Moreno Rojero, 2011)

Es una de las propiedades mejor comprobadas, debido a su gran utilidad en todo tipo de locales de uso público y en el tratamiento de ciertos olores de origen industrial, posee la propiedad de

destruir los malos olores atacando directamente sobre la causa que los provoca y sin añadir ningún otro olor.

En sitios cerrados, de gran afluencia de público, animales o plantas, la causa de los malos olores, suele ser la materia orgánica en suspensión y la acción de los distintos microorganismos sobre ella, tal es el caso del típico olor a personas, humedad, tabaco, comidas, naves en avicultura, porquerizas, hatos, corrales y establos.

El Ozono ataca a ambas causas, por un lado, oxida la materia orgánica, además de atacarla por ozonólisis y por otro lado ataca a los microbios que se alimentan de ella.

### **3.5.2 DESECHOS GASEOSOS**

El poder de oxidación que posee el ozono lo hace aplicable en la eliminación de gases del medio ambiente al reaccionar con las moléculas de las sustancias presentes en la atmósfera, una de las funciones que más se conoce del gas, pues es la que realiza de forma natural en la muy reconocida "capa de ozono".

"Las principales fuentes de emisiones de sustancias nocivas, es decir, polvo, SO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> en el aire son la coca cola, briquetas y plantas de procesamiento de carbones, centrales térmicas, aire, agua, y transportes por carretera"(Rakovsky et al., 2009).

Los gases de escape contienen también CO, compuestos orgánicos e inorgánicos, etc. Polvo, azufre dióxido, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y orgánicos compuestos, etc. son los principales contaminantes liberados en el ambiente de la metalurgia, industria de fertilizantes, y petroquímica. (Rakovsky et al., 2009)

**Tabla 6. Principales contaminantes del aire emitidos por producciones químicas.**

No.	Producción	Contaminante	No.	Producción	Contaminante
1.	Ácido nítrico	NO, NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub>	11.	Nitrato de amonio	CO NH <sub>3</sub> , HNO <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> , polvo
2.	Ácido Sulfúrico a) Nitroso b) Contacto	NO, NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , polvo	12.	Superfosfato	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HF, polvo
3.	Ácido clorhídrico	HCl, Cl <sub>2</sub>	13.	Amoníaco	NH <sub>3</sub> , CO
4.	Ácido Oxálico	NO, NO <sub>x</sub> , C <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , polvo	14.	Cloruro de Calcio	HCl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , polvo
5.	Ácido Sulfámico	NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , NH(SO <sub>3</sub> NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	15.	Cloro	HCl, Cl <sub>2</sub> , Hg
6.	Fósforo	P <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , HF, Ca <sub>5</sub> F <sub>4</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> , polvo	16.	Caprolactama	NO, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , HS <sub>2</sub> , CO
7.	Ácido fosfórico	P <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , HF, Ca <sub>5</sub> F <sub>4</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> , polvo	17.	PVC	Hg, HgCl <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub>
8.	Ácido acético	CH <sub>3</sub> CHO, CH <sub>3</sub> CHO	18.	Fibras artificiales	H <sub>2</sub> S, CS <sub>2</sub>
9.	Fertilizantes de nitrógeno	NO <sub>2</sub> , NO, NH <sub>3</sub> , HF, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HNO <sub>3</sub>	19.	Pigmentos minerales	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , FeSO <sub>4</sub>
10.	Carbamida	NH <sub>3</sub> , CO, (NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO, polvo	20.	Electrólisis de NaCl	Cl <sub>2</sub> , NaOH

Fuente: (Rakovsky et al., 2009)

“El ozono en comparación con los oxidantes convencionales como el hidroperóxido, el cloro, el hipoclorito de sodio, el perclorato, muestra una eficacia oxidante apreciablemente más alta” (Rakovsky et al., 2009).

Un aparato especial está diseñado para descomponerse hidrocarburos acíclicos halogenados en gases. Incluye un cámara para mezclar los gases residuales con el ozono acoplado con radiación UV, ozonizador y unidades de entrada y salida. Este método es muy apropiado para la aplicación en la industria semiconductora por la cual los hidrocarburos acíclico y halogenado se usan como agentes de limpieza. Se discuten los mecanismos de ozonolisis de los compuestos orgánicos volátiles como alquenos y dienos y la salida de los productos se determina mediante espectroscopía FTIR de aislamiento de matriz. (Rakovsky et al., 2009)

### **3.5.3 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Durante décadas, la cloración ha sido la tecnología más empleada para la desinfección, pero la formación de subproductos tóxicos y el insuficiente poder de inactivación del cloro ha permitido el incremento del uso del ozono. Hay que señalar, que el tratamiento con cloro no garantiza la eliminación de determinados tipos de microorganismos patógenos (virus, Legionella, Pseudomonas aeruginosas, Entamoeba histolytica, quistes de Giardia y Crystosporidium parvum, Mycobacterium, etc). (Venta et al., 2005)

Después de su generación, el ozono es alimentado a una cámara de contacto de flujo vertical de caída que contiene el agua residual a ser desinfectada. El propósito principal de la cámara de contacto es transferir el ozono que se encuentra dentro de la burbuja de gas al cuerpo del líquido mientras que se permite suficiente tiempo de contacto para la desinfección. (United States Environmental Protection Agency, 1999)

La desinfección con ozono se utiliza generalmente en plantas de tamaño mediano o grande una vez que el agua residual haya recibido por lo menos tratamiento secundario. Además de la desinfección, otro uso común del ozono en el tratamiento del agua residual es el control de malos olores. La desinfección con ozono es el método menos utilizado en los Estados Unidos aun cuando en Europa esta tecnología ha tenido una amplia aceptación por varias décadas. (United States Environmental Protection Agency, 1999)

### **3.5.4 SEGURIDAD ALIMENTARIA**

“El ozono es un eficaz desinfectante que se puede aplicar en el agua de lavado de producto fresco, tanto vegetal como animal” (Pérez-Calvo & L.J. Ruiz Martín-Peñasco, 2012).

Según Pérez-Calvo & L.J. Ruiz Martín-Peñasco (2012) en su estudio microbiano en glaseadoras ozonizadas, las reducciones microbianas en los alimentos son bastante significativas cuando hay exposición al ozono que cuando no se utiliza el mismo, pasando de 126,487 UFC a 3,500 UFC en un recuento de aerobios totales.

Así mismo, Pérez-Calvo & L.J. Ruiz Martín-Peñasco (2012) establece que el ozono dentro de la seguridad alimentaria es bastante útil en la conservación de los productos ya que elimina los



microorganismos responsables de la descomposición y evita mezcla de olores sin producir riesgo toxicológico utilizándose dentro de las concentraciones adecuadas.

“Aunque su acción es igualmente eficaz en ambientes secos, la humedad relativa óptima para la acción del ozono es de 90-95%” (Pérez-Calvo & L.J. Ruiz Martín-Peñasco, 2012).

El uso de ozono en el procesamiento de alimentos se ha vuelto cada vez más importante como resultado de la afirmación del ozono como químico GRAS (generalmente reconocido como seguro) en 1997 y su posterior aprobación por la FDA de EE. UU. aditivo antimicrobiano para contacto directo con alimentos de todo tipo. (O'Donnell et al., 2012)

### **3.6 APLICACIONES MÉDICAS**

Se utiliza la combinación de la aplicación de ozono métodos tradicionales como la quimioterapia y radioterapia para el tratamiento de tumores cancerígenos, los cuales dependen principalmente del tipo, localización y evolución del mismo. En años recientes diversos investigadores en el área médica han reportado estudios realizados en animales modelo (ratas, ratones y conejos) presentando resultados que van desde la disminución del tamaño del tumor (sin metástasis) hasta su remisión total, empleando ozono como medio terapéutico. Sin embargo, los métodos reportados para el control en la dosificación del gas que consigan tal efecto terapéutico son poco o nulamente estudiados. (Moreno Rojero, 2011)

El ozono se ha aplicado en diferentes padecimientos, entre los que destacan: enfermedades oculares, tales como neuropatías ópticas, glaucoma, obstrucciones de la vena central de la retina y enfermedades degenerativas de la retina; así como infecciones agudas y crónicas ocasionadas por bacterias, virus y hongos; enfermedades isquémicas, degeneración macular relacionada con la edad, enfermedades ortopédicas y dermatológicas; enfermedades pulmonares, renales, hematológicas y neurodegenerativas. El ozono puede reaccionar con los componentes de la sangre (eritrocitos, leucocitos, plaquetas, células endoteliales y el sistema vascular) e influir de manera positiva en el metabolismo del oxígeno, la energía celular, el sistema antioxidante e inmunológico, y la microcirculación. (Moreno Rojero, 2011)

Se pueden tratar las siguientes enfermedades con ozono: abscesos, acné, SIDA, alergias, fisuras anales, artritis, asma, tumores cancerígenos, esclerosis cerebral, problemas en el sistema circulatorio, cirrosis hepática, úlceras en cornea, cistitis, diarrea, fistulas, forúnculos, gangrena, úlceras gástricas, desordenes intestinales, glaucoma, hepatitis, herpes, hipercolesterinemia, colitis, micosis, osteomielitis, enfermedad de Parkinson, retinitis pigmentosa, artritis reumatoide, en el proceso de cicatrización, sinusitis, tromboflebitis, entre otras. (Moreno Rojero, 2011)

### **3.6.1 OZONOTERAPIA**

Esto conduce a la estimulación del 2,3-difosfoglicerato, lo que conduce a un aumento en la cantidad de oxígeno liberado a los tejidos. El ozono activa el ciclo de Krebs al mejorar la carboxilación oxidativa del piruvato, estimulando la producción de ATP. También causa una reducción significativa en NADH y ayuda a oxidar el citocromo C. Hay una estimulación de la producción de enzimas que actúan como captadores de radicales libres y protectores de la pared celular: glutatión peroxidasa, catalasa y superóxido dismutasa. La producción de prostacilina, un vasodilatador, también es inducida por O<sub>3</sub>. (Elvis & Ekta, 2011)

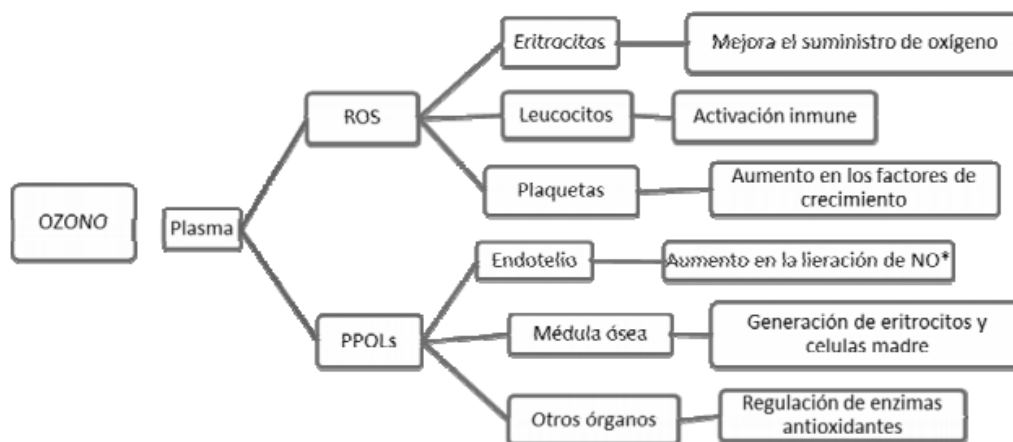
Dicha aplicación es conocida comúnmente como ozonoterapia. el ozono, se disuelve en el agua, plasma, fluidos extracelulares, mucosa del tracto respiratorio, alimenticio, vaginal, etc. Sin embargo, en la mezcla oxígeno/ozono, el oxígeno que no está en equilibrio con el ozono permanece en fase gas. Esto sucede debido a que el ozono, debido a su naturaleza oxidativa, reacciona inmediatamente con un número determinado de moléculas presentes en los fluidos biológicos, principalmente antioxidantes, proteínas, carbohidratos y específicamente con ácidos grasos PPOLi insaturados (PUFA's). (Moreno Rojero, 2011)

La reacción del ozono con estas moléculas implica las siguientes etapas (Bocci, 2005):

1. La reacción inicial del ozono, en la cual el ozono reacciona con ácido ascórbico, úrico, grupos sulfidrilo (SH-) de las proteínas y glicoproteínas generando ROS, la cual desencadena diversas etapas bioquímicas en la sangre ex vivo. Los ROS son neutralizados 0.5 – 1 min por antioxidantes del sistema inmunológico.

- La peroxidación de lípidos, en la cual la reacción entre una molécula de ozono y dobles ligaduras ( $>C=C<$ ) en ácido araquidónico y triglicéridos presentes en el plasma producen una molécula de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y dos moléculas de aldehído conocidos como productos de peroxidación de lípidos (PPOL).

De lo anterior se puede decir que no es el ozono, sino ROS y PPOL los responsables de las múltiples reacciones bioquímicas que ocurren en las células del cuerpo. Siendo la segunda reacción en la que se involucran los efectos terapéuticos. (Moreno Rojero, 2011)



**Ilustración 10. Efectos biológicos de la presencia de oxígeno-ozono en la sangre.**

Fuente: (Moreno Rojero, 2011)

Bajo terapias prolongadas, la actividad de los PPOL puede originar la regulación de enzimas antioxidantes, la aparición de proteínas oxidativas y la liberación de las células madre, las cuales presentan un factor crucial que explican algunos efectos presentes en la ozonoterapia. (Moreno Rojero, 2011)

### 3.6.2 EFECTOS CLÍNICOS DE LA OZONOTERAPIA

Según Moreno Rojero (2011) los efectos clínicos observados derivados del mecanismo de acción del ozono dependen de la concentración y vía de aplicación; dentro de los que se destacan:

- Bactericida, fungicida y virucida.
- Anti-inflamatorio

- Analgésico
- Activación de procesos dependientes de oxígeno
- Optimización de los sistemas pro y anti oxidante
- Activación del sistema de defensas

### **3.7 CINÉTICA DE INACTIVACIÓN DE MICROORGANISMOS**

La fracción de supervivencia que tienen los diferentes microorganismos ante la exposición del sanitizante es conocida como constante de inactivación y son diferentes para cada químico a utilizar y para cada tipo de microorganismo. Este es un parámetro importante a considerar a la hora de determinar los tiempos de exposición y concentraciones de los diferentes químicos utilizados en la desinfección.

Se reconoce la existencia de una relación entre las características morfológicas de los microorganismos y su resistencia al ozono (Finch 2001). Se plantea el siguiente orden descendente de resistencia: hongos, bacterias esporuladas, bacterias no esporuladas, virus (Pérez-Rey et al. 1995). Los estudios realizados por Lezcano et al. (1999, 2001) en bacterias Gram positivas revelaron que presenta mayor resistencia *Staphylococcus aureus* respecto a *Candida albicans* y *Streptococcus feacali*; en el caso de las bacterias Gram negativas presenta mayor resistencia *Pseudomonas aeruginosa* respecto a *Shigella sonnei*, *Samonella thyphimurium* y *Escherichia coli*. Ambos estudios demostraron que la inactivación de las bacterias cumple con una ley cinética de segundo orden dependiendo de la concentración de ozono disuelto y de microorganismos. (Bataller, 2010)

“La cinética detallada de inactivación viral no se ha publicado ampliamente, en parte porque es difícil de medir porque la inactivación viral ocurre muy rápidamente en presencia de ozono” (Dennis et al., 2020a)

Existen numerosos estudios realizados para la determinación de estas constantes de inactivación por lo que se encuentran numerosas tablas con valores distintos.

La siguiente tabla muestra las constantes de inactivación del Poliovirus por exposición al ozono según la reducción que se busca alcanzar. Cabe mencionar que existen dos parámetros importantes en estas pruebas, que son el pH y la temperatura del medio donde se realizan.

**Tabla 7. Inactivación del Poliovirus por Ozono a una temperatura de 20°C.**

<b>Concent. Inicial O<sub>3</sub> (mg/l)</b>	<b>Concent. Constante de O<sub>3</sub> (mg/l)</b>	<b>K<sub>∞</sub><sup>a</sup> (TCID<sub>50</sub>/ml)</b>	<b>λ (min<sup>-1</sup>)</b>	<b>t(10<sup>4</sup>) (s)</b>	<b>Reducción<sup>b</sup> (%)</b>
0.03 <sup>e</sup>	0.02	10 <sup>2.7</sup>	12.0	45.0	91.87
0.09 <sup>c</sup>	0.04	10 <sup>2.2</sup>	43.0	12.7	97.71
0.17 <sup>d</sup>	0.10	10 <sup>1.0</sup>	6,000.0	0.1	99.98
0.19 <sup>c</sup>	0.13	<10 <sup>0.7</sup>	-	-	100.00

<sup>a</sup> K<sub>∞</sub>, Constante de concentración de PV1

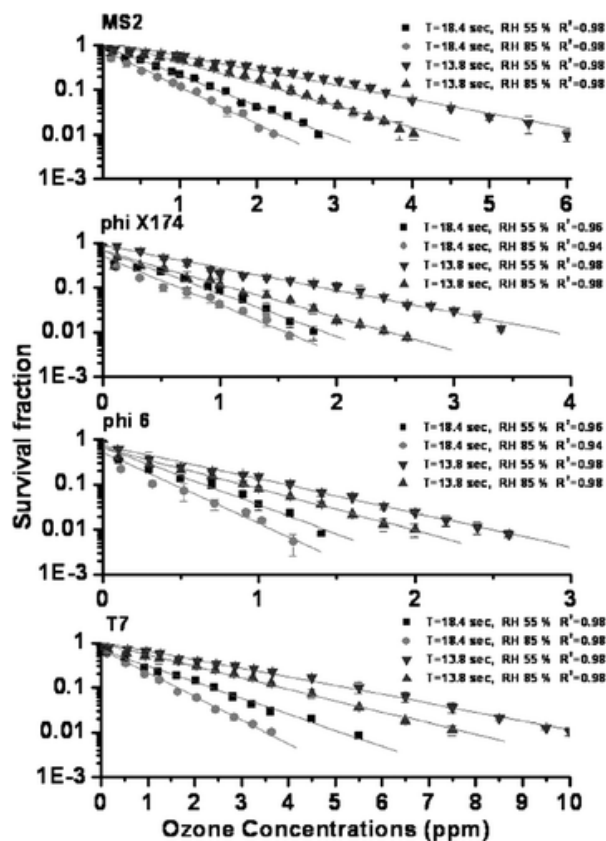
<sup>b</sup> Reducción de entrada a salida

<sup>c</sup> E=10<sup>3.8</sup> TCID<sub>50</sub>/ml por min.

<sup>d</sup> E=10<sup>4.8</sup> TCID<sub>50</sub>/ml por min.

<sup>e</sup> -, negativo

Fuente: (Herbold et al., 1989)



**Ilustración 11. Fracción de supervivencia de MS2 en el aire, phi X174, phi 6 y T7 expuestos a diferentes concentraciones de ozono a HR 55% y 85%.**

Fuente: (Tseng & Li, 2006)

Las tasas de inactivación se vieron afectadas principalmente por este producto de concentración de gas de ozono multiplicado por la duración en lugar de por cualquiera de forma independiente; lo que significa que concentraciones más altas para duraciones más cortas pueden tener el mismo efecto que concentraciones más bajas para duraciones más largas. (Dennis et al., 2020a)

### 3.8 ESTUDIOS DEL OZONO COMO VIRICIDA

Hudson et al. (2009) observaron la inactividad de 12 virus que testaron con un generador de ozono portátil, obteniendo el mayor poder antiviral del ozono en habitaciones con una humedad relativa mayor del 90% y una concentración de ozono gaseoso de 20 a 25 ppm. Recientemente, se ha observado la inactivación total de dos tipos de norovirus (TV y MNV-1) tanto mediante la aplicación de ozono disuelto como gaseoso, viéndose reducciones de 4,1 log desde los 10

minutos y la total inactivación a los 40 minutos, siendo la cantidad de reducción viral dependiente de las propiedades específicas de cada virus. (García-Chamizo et al., 2020)

Según la OMS, con concentraciones de ozono de 0,1-0,2 mg/L-min, se consigue una inactivación del 99% de rotavirus y polio-virus, pertenecientes al grupo 4 de los Coronavirus (WHO, 2000). Referente a este tipo de virus, los bacteriófagos (como el pX174) han sido ampliamente utilizados como indicadores de poliovirus, enterovirus, virus envueltos y Virus de Inmunodeficiencia Humana (VIH), debido a que son seguros y fáciles de manejar y se ha observado una supervivencia del mismo de 0,1% con concentraciones de 0,04 ppm de ozono gaseoso durante 480 segundo (de Mik et al., 1977) y de 0,00001% para el virus de la Hepatitis A con 1,66 ppm de ozono acuoso durante 5 segundos (Hall and Sobbey, 1993). Tanaka et al. (2009) demostraron una inactividad del 99,99% del virus de la gripe A con una concentración de 20 ppm de ozono en forma de gas durante 150 minutos y necesitaron 2010 minutos al utilizar una concentración de 10 ppm. (García-Chamizo et al., 2020)

Zhang y col. informa que soluciones disueltas de ozono inactivan el SARS-CoV-1, comúnmente conocido como el virus del SARS, que es de estructura muy similar al virus SARS-CoV-2 el cual causa la pandemia actual de COVID-19. Hudson y col. demostraron la eficacia de inactivación del ozono en el coronavirus murino (MCV), que se utilizó en su tiempo como sustituto de SARS-CoV-1. La literatura sugiere que el ozono ataca las proteínas de la cápside en virus no envueltos y ataca con mayor facilidad los virus envueltos. Como el SARS-CoV-2 es un virus envuelto, la literatura apoya la hipótesis de que el ozono será efectivo en su inactivación. Es importante tener en cuenta que no se ha encontrado un solo estudio que muestre un virus que no ha sido inactivado por el ozono. La falta de literatura, por supuesto, no es prueba de que el ozono inactive todos los virus, pero la evidencia actual sugiere que efectivamente inactivará el SARS-CoV-2. (Dennis et al., 2020a)

Entre la cantidad numerosa de tablas que recopilan datos de valores de concentración de ozono para virus, la siguiente es la que más se asemeja a las condiciones ambientales de Tegucigalpa, Honduras. La siguiente tabla describe los valores de una inactivación viral del 99% a una humedad relativa de 55% y temperatura de 25°C.

**Tabla 8. Valores de concentraciones de ozono para una inactivación viral del 99%.**

<b>Virus</b>	<b>Dosis de ozono (min[mg/m<sup>3</sup>])</b>	<b>Dosis de ozono (min[ppm])</b>
ADNmc (Phi174)	72	37
ARNmc (MS2)	194	99
ADNbc (T7)	223	114
ARNbc envuelto (Phi6)	58	30

Fuente: (Dennis et al., 2020a)

### **3.9 EFECTO DEL OZONO EN DISTINTOS MATERIALES**

Se desarrolló un estudio de la exposición de ozono en materiales de látex, de este estudio la dosis total de ozono a la que algunas muestras comenzaron a fallar según los estándares de la OMS son aproximadamente 432 min [ppm], aproximadamente 4 veces la dosis objetivo para el 99% de inactivación del virus según la tabla 5. La interpretación lógica de este estudio es que los materiales de látex delgados pueden ser efectivamente esterilizados 3 veces usando la menor de las dos dosis de ozono sugeridas en la tabla 5, o una vez con la dosis más alta sin degradación de rendimiento inaceptable. Como se sabe que el látex es entre los materiales más susceptibles al ozono, es lógico suponer que la mayoría de los artículos permanecerían sin degradar durante un mayor número de ciclos de descontaminación de ozono. (Dennis et al., 2020a)

En un estudio separado, la durabilidad del material de la máscara N95 (estera de fibra de polipropileno no tejida) tiene ha sido probado usando este aparato (manuscrito en preparación), con este informe sirviendo en gran medida como el material de polipropileno no tejido, el mismo utilizado en una mascarilla N95, se expuso usando una cámara de ozono a concentraciones 10 y 20 ppm, para duraciones de 10, 20 y 60 minutos. Un examen microscópico reveló que no hay daño visible a las fibras, y un experimento de eficiencia de filtración de flujo forzado demostró de manera concluyente que después de estas exposiciones la capacidad de filtración no se vio afectada, ni hay signos de degradación del material del filtro, según la especificación NIOSH para material de máscara N95. (Dennis et al., 2020a)

Se espera que el material de la mascarilla de polipropileno resista muchos ciclos de desinfección en ozono, concentraciones muy superiores a la concentración y la duración necesarias para una



significativa inactivación viral (mayor de 95% a 99%). Otros componentes de la máscara desechable N95 pueden deteriorarse cuando se expone al ozono, pero la efectividad de la filtración no será el factor limitante. (Dennis et al., 2020a)

## **IV. METODOLOGÍA**

### **4.1 ENFOQUE**

El presente estudio consistente en el diseño de la cámara de desinfección por medio de ozono se aborda con un enfoque mixto, analizando las propiedades de este gas como desinfectante en base a recopilación de la información e ideas para el diseño de la cámara, así como la realización de cálculos de concentración, tiempo de exposición, volumen apropiado, etc., obteniendo resultados tanto numéricos como cualitativos que son clave para un diseño óptimo que cumpla con los estándares apropiados.

### **4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN**

Las variables que se presentaran a continuación como parte de nuestra metodología son las que afectan directamente el diseño de la cámara de desinfección mediante ozono, ya que si alguna de estas se modifica tiene un impacto en el diseño de dicha cámara.

#### **4.2.1 CONCENTRACIÓN**

Concentración de ozono presente o disponible en el medio es otro parámetro que determina la eficacia del proceso de desinfección, el aumento de la concentración de ozono causa saturación, por lo tanto, agrega un gasto másico(mg/h) mayor, requiere más ozono del generador, lo que resulta en tiempos más largos para lograr los mismos valores de reducción logarítmica de microorganismos.

#### **4.2.2 TIEMPO DE EXPOSICIÓN**

La literatura disponible es algo escasa. Sin embargo, está claro que los tiempos de exposición más largos conducen a una mayor inactivación viral. Los estudios muestran que el factor importante para la inactivación de virus y otros microorganismos es la dosis total de ozono que se calcula como el producto del tiempo de exposición y la concentración. Las concentraciones bajas para una mayor duración alcanzan los mismos resultados que las altas concentraciones para una corta duración en estos estudios. La literatura apoya que los mecanismos principales de desactivación viral son a través de la oxidación de la envoltura, el daño a la proteína de la cápside y el daño a

los ácidos nucleicos. Suponiendo que la susceptibilidad de las envolturas, las cápsidas y los ácidos nucleicos al ozono no varía de un virus a otro, El principal contribuyente al tiempo de desactivación probablemente esté relacionado con la susceptibilidad de la cápside viral al estrés oxidativo. Podemos utilizar estos hallazgos para informar las concentraciones y duraciones de una cámara de esterilización con ozono. (Dennis et al., 2020)

#### **4.2.3 TIPO DE GENERACIÓN DE OZONO**

Es muy importante la elección del tipo de generador de ozono ya que varían en tres distintos tipos de generadores ya expuestos anteriormente, los cuales son:

- Generador de Ozono por efecto corona
- Generador de ozono por luz UV
- Generación de ozono por Electrolisis

Las variantes de cada tipo de generador son las siguientes, tamaño del generador, principio de operación, gasto masico entregado.

#### **4.2.4 TAMAÑO DE LA CÁMARA**

El tamaño de construcción de la cámara es importante debido a que este dará el volumen que se necesitará para llenar dicha cámara con el ozono gaseoso con el fin de poder garantizar que el ozono será distribuido de manera homogénea en toda la superficie de la cámara.

#### **4.2.5 CAPACIDAD DEL GENERADOR**

Las capacidades del generador varían dependiendo el principio de operación, el modelo y el tamaño de este, lo cual es importante a la hora de elegir un generador ya que este nos dará la concentración necesaria que nuestra cámara necesita para garantizar el gasto masico exigido según nuestros cálculos.



### 4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

#### 4.3.1 DISEÑO EN SOLIDWORKS

Se utilizó el Software SolidWorks 2020, es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. El software que ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto. Ofrece la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño.(SOLIDWORKS, 2020)

Con dicha herramienta se diseñó la estructura de la cámara en base a las dimensiones establecidas, insertando la puerta por medio de un ensamblaje así como la rejilla interna de la cabina. Se agregó el bloque de control eléctrico debajo del módulo principal, el catalizador en la parte superior y un soporte que sostiene toda la estructura.



**Ilustración 12. Software del diseño de la estructura**

Fuente:(SOLIDWORKS, 2020)

#### 4.3.2 DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL

Se utilizó el software KiCad un software de automatización de diseños electrónicos que permite desarrollar el diseño esquemático y el circuito en PCB con la representación respectiva de cada componente.



**Ilustración 13. Software para el diseño de circuito de control.**

Fuente:(Kicad,2020)

Para la representación general del circuito con la forma real de los componentes, se utilizó el software Fritzing que permite realizar las mismas acciones de diseño de circuitos que KiCad, a diferencia del circuito en protoboard el cual se realizó en Fritzing debido a que el otro software no lo permite.



**Ilustración 14. Software adicional para diseño de circuito de control.**

Fuente:(Fritzing,2020)

#### 4.3.3 ANÁLISIS DE RIESGO

Este tiene como objetivo principal establecer los riesgos del proyecto para su tratamiento posterior. También permite establecer una clasificación general de riesgo del proyecto, dicho análisis se realizó bajo la normativa (UNE ISO 14971 de Aplicación de la Gestión de Riesgos a Productos Sanitarios) "la cual describe cómo identificar, evaluar y controlar los riesgos asociados a los productos sanitarios en todo el ciclo de vida del producto y cómo implantar un marco de gestión de riesgo para alcanzar un cumplimiento continuo"(ISO 14971:2007, 2014).

Nuestro objetivo es poder evaluar cada uno de los riesgos asociados al diseño de nuestro producto sanitario. Mediante el uso de la siguiente tabla es posible analizar todos los escenarios respecto al dispositivo antes de iniciar el proceso de manufactura.

**Tabla 9. Clasificación de riesgos (No exhaustiva)**

PROCESO							
Nº	Riesgos	Probabilidad	Valor	Impacto	Valor	R	Diseño Seguro
1	El usuario abre la compuerta en medio de un ciclo y recibe daños en las vías respiratorias.	Es posible	3	Grande	4	B	Implementar al dispositivo de cerrojo automático de la puerta al inicio de cada ciclo.
2	Los niveles de ozono llegan a dosis muy elevadas (niveles mayores a 6ppm)	Ocurre seguro	5	Moderado	3	A	Los niveles de concentración de ozono serán manejados por un sensor de gas (MQ-131), con un rango ya establecido.
3	Expulsión de ozono de la cámara hacia el recinto	Ocurre seguro	5	Moderado	3	A	La expulsión de del ozono se realiza por el catalizador de carbón activado, el cual inactiva el ozono.
4	Datos erróneos del sensor	Es posible	3	Moderado	3	B	Establecer rango operativo del sensor de 1ppm a 8ppm los datos fuera de esos rangos apagan el generador.

Fuente: (ISO 14971:2007, 2014)

**Tabla 10. Matriz de R**

<b>Probabilidad 5</b>	C	B	A	A	A
<b>Probabilidad 4</b>	C	C	B	A	A
<b>Probabilidad 3</b>	D	C	B	B	A
<b>Probabilidad 2</b>	D	C	C	C	B
<b>Probabilidad 1</b>	D	D	D	C	C
	Impacto 1	Impacto 2	Impacto 3	Impacto 4	Impacto 5

Fuente:(ISO 14971:2007, 2014)

La matriz anterior muestra nuestros niveles en ABCD, pero B se encuentra en rango inaceptable (amarillo). Según la matriz, y el criterio que podemos utilizar es:

Muy alto → A

Alto → B

Medio → C

Bajo →D

**Tabla 11. Matriz de Riesgos, probabilidad**

<b>Probabilidad</b>	<b>Grado</b>	<b>Valor</b>
1	Seria excepcional	1
2	Es raro que suceda	2
3	Es posible	3
4	Muy probable	4
5	Ocorre seguro	5

Fuente:(ISO 14971:2007, 2014)

**Tabla 12. Matriz de riesgos, impacto**

<b>Impacto</b>	<b>Grado</b>	<b>Valor</b>
1	Insignificante	1
2	Pequeño	2
3	Moderado	3
4	Grande	4
5	Catastrófico	5

Fuente:(ISO 14971:2007, 2014)

**Tabla 13. Clasificación de riesgos.**

<b>Términos comunes</b>	<b>Descripción posible</b>
Catastrófico	Puede causar la muerte a largo plazo del usuario.
Grande	Origina un deterioro permanente o una lesión que pone en peligro al usuario.
Moderado	Origina una lesión o deterioro que requiere intervención médica del usuario.
Pequeño	Origina una lesión temporal al usuario.
Insignificante	Inconveniencia o molestia transitoria.

Fuente:(ISO 14971:2007, 2014)

Esta información puede ser utilizada para apoyar decisiones de inicio o cancelación de un proyecto, para la realización de análisis costo-beneficio.

#### **4.4 MATERIALES**

Los materiales que se requieren para la construcción de la cámara de desinfección son las siguientes:

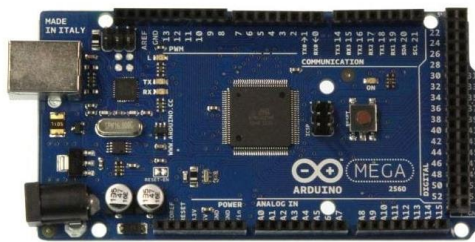


#### 4.4.1 SISTEMA DE CONTROL

Sistema encargado del control óptimo del funcionamiento de la cámara, control de entrada y salida de ozono mediante un microprocesador y actuadores eléctricos, teniendo en cuenta la seguridad del usuario.

- Arduino MEGA

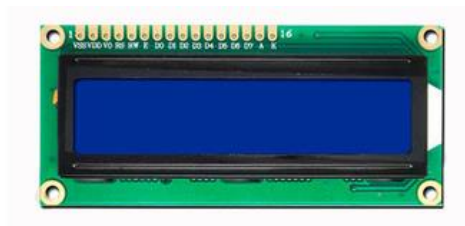
Microprocesador de 54 pines digitales que controla todo el sistema. En el caso del presente diseño se eligió dicho microprocesador por la cantidad de componentes utilizados.



**Ilustración 15. Arduino MEGA.**

- Pantalla LCD 16x2

Interfaz entre el usuario y el equipo donde se colocarán los mensajes necesarios, así como la concentración leída por el sensor.



**Ilustración 16. Pantalla LCD.**

- Sensor de Ozono MQ131

Sensor encargado de medir la concentración de ozono de manera continua en la cámara de desinfección, esta será leída en la unidad de ppm. Existen sensores de baja (ppb) y alta (ppm) concentración, en este caso se utilizará uno de alta concentración.



**Ilustración 17. Sensor de ozono MQ131.**

- Interruptor magnético de puerta

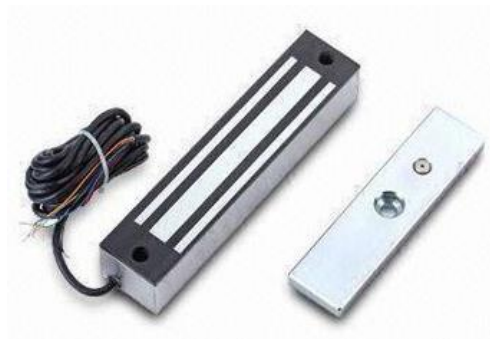
Permitirá el paso de la corriente hacia el sistema solamente si la puerta está cerrada, cuando se detecte una terminal del interruptor sobre la otra.



**Ilustración 18. Interruptor magnético.**

- Electroimán para puerta

Este es un actuador que se energizará cuando comience la generación de ozono, asegurando que la puerta se cierre herméticamente y no pueda abrirse durante el proceso para evitar la exposición del usuario.



**Ilustración 19. Electroimán para puerta.**

- Pulsador ON de cuatro pines

Inicio del ciclo de desinfección de ozono el cual se realizará una vez que la puerta esté cerrada.



**Ilustración 20. Pulsador ON de cuatro pines.**

- Ventiladora

Encargada de mover el ozono a través del catalizador durante el proceso de evacuación una vez finalizado el ciclo.



**Ilustración 21. Ventiladora para evacuación de ozono.**

- Relés de 5V, 10A 125VAC/280VDC

Encargados de controlar el generador de ozono, el electroimán de la puerta y en un mismo relé una ventiladora, debido a que estos componentes utilizan diferentes voltajes.



**Ilustración 22. Relé 5V, 10A 125 VAC/280 VDC**

- Servomotor

Encargado de abrir la compuerta para el catalizador que eliminará el ozono restante.



**Ilustración 23. Servomotor**

- Potenciómetro de 10k $\Omega$

Utilizado para la regulación del contraste de la pantalla LCD.



**Ilustración 24. Potenciómetro de 10kΩ.**

- Indicadores LED

Luces indicadoras que permitirán al usuario ver si el ciclo se está realizando o se ha detectado algún error.



**Ilustración 25. Indicadores LED.**

#### **4.4.2 ESTRUCTURA DE LA CÁMARA**

Para la fabricación de la cámara puede utilizarse aluminio o plásticos como PVC o acrílico, materiales que no se oxiden debido a las propiedades del ozono pero que puedan asegurar la forma hermética de la cámara. La puerta de la cámara contará con el electroimán que no permita al usuario abrirla cuando no es seguro, así como empaques que eviten fugas del gas. Dentro de la cámara se encuentra una rejilla para colocar el material a desinfectar.

La construcción del catalizador y el módulo eléctrico se desarrollan del mismo material de la cámara.

#### **4.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO**

Para la realización del diseño fue necesario un estudio y análisis a profundidad de estudios previos en cuanto al uso del ozono, considerando las propiedades de este gas y las aplicaciones del mismo para así implementar los sistemas necesarios y la forma en que se colocarán en la cámara de desinfección.

Como primer paso se definen las dimensiones de la cámara para determinar el volumen que deberá cargarse de ozono. Este es muy importante para determinar la concentración necesaria la cual se define en base a la Tabla 8, establecida en estudios previos considerando que las condiciones ambientales coincidan o sean cercanas a las de Tegucigalpa (temperatura de 25°C y humedad relativa de 50%) tomando el valor más alto, para así garantizar la eliminación total de microorganismos. En el caso de dicha tabla, el valor CT (concentración-tiempo) más alto es el del virus T7 por lo que se toma este valor (114 min\*ppm).

Una vez con el valor de CT, se puede ir modificando una de las variables para determinar la otra, en este caso se tomó un tiempo específico y por medio de una división se determinó la concentración necesaria para ese tiempo.

Según las dimensiones definidas se multiplica el valor de la concentración por el volumen de la cabina para obtener la carga en mg y de esta forma poder determinar el tiempo en el que se llega a esta, en base al generador seleccionado.

#### **4.6 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN**

En primera instancia, la validación del diseño consiste en las simulaciones de todas las partes en los software correspondientes mencionados anteriormente, para garantizar el funcionamiento de cada uno de los sistemas (eléctrico, neumático).

Para validar la eficacia de la cámara de desinfección se desarrolla un proceso microbiológico de hisopado en las superficies del equipo que se introduce a la cámara antes de la exposición y con ello se hace un cultivo mediante placas petri con los medios apropiados:

McConkey: medio de cultivo para aislar selectivamente los bacilos gran negativos y esféricos.

PCA: medio de cultivo para crecimiento bacteriano total, es decir, no es un medio selectivo ya que en él crecen todo tipo de microorganismos.

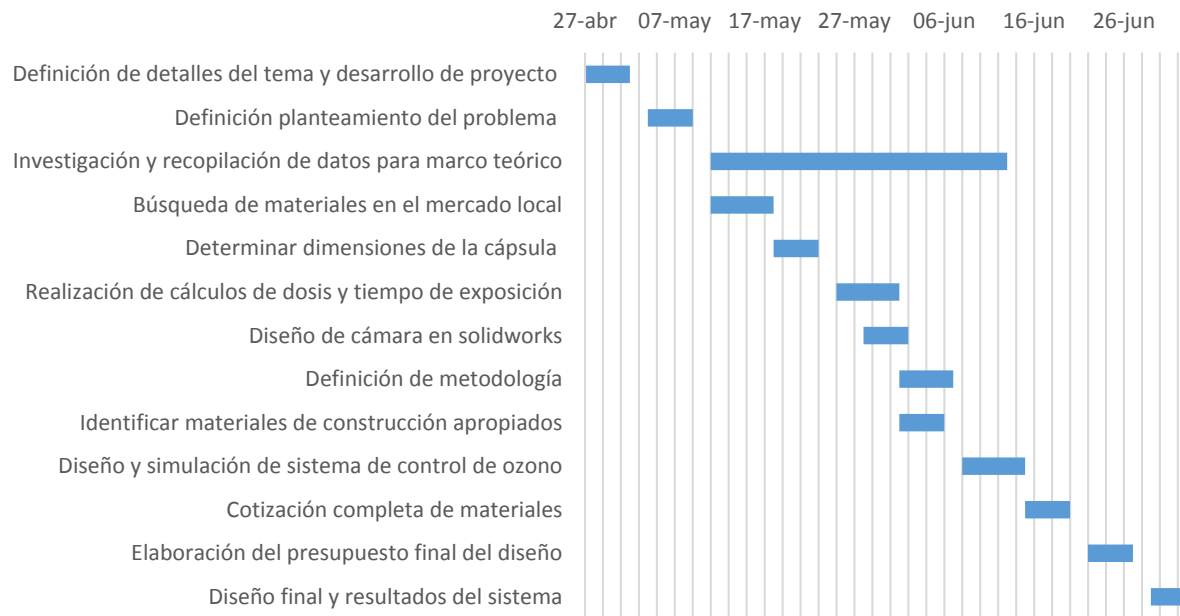
Luego de exponer al material a la concentración de ozono, se vuelve a realizar el proceso de hisopado y cultivo para de esta forma cuantificar la carga microbiana antes y después de la exposición al ozono.

En el caso de la carga viral, se debe realizar primero un cultivo celular de bacterias huésped ya que los virus por sí solos no pueden crecer. La muestra de los virus se mezcla con estas bacterias para luego ser colocado en una placa petri con un medio de cultivo de agar, de esta forma cada virus infecta una bacteria y se multiplica pudiendo realizar un conteo luego del período de incubación.

#### 4.7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividades	Inicio	Duración	Fin
Definición de detalles del tema y desarrollo de proyecto	27-abr	5	1-may
Definición planteamiento del problema	4-may	5	13-may
Investigación y recopilación de datos para marco teórico	11-may	33	7-jun
Búsqueda de materiales en el mercado local	11-may	7	18-may
Determinar dimensiones de la cápsula	18-may	5	22-may
Realización de cálculos de dosis y tiempo de exposición	25-may	7	1-jun
Diseño de cámara en solidworks	28-may	5	2-jun
Definición de metodología	1-jun	6	7-jun
Identificar materiales de construcción apropiados	1-jun	5	5-jun
Diseño y simulación de sistema de control de ozono	8-jun	7	15-jun
Cotización completa de materiales	15-jun	5	19-jun
Elaboración del presupuesto final del diseño	22-jun	5	26-jun
Diseño final y resultados del sistema	29-jun	5	3-jul

## Diagrama de Gant





## V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 5.1 CONCENTRACIÓN Y TIEMPO DE EXPOSICIÓN

Partiendo de las dimensiones de la cabina, se determinaron las siguientes.

**Tabla 14. Medidas definidas de la cámara de desinfección.**

<b>Medidas Cámara de Desinfección</b>	
<b>Alto (cm)</b>	30
<b>Ancho (cm)</b>	40
<b>Profundidad (cm)</b>	30
<b>Volumen total (cm<sup>3</sup>)</b>	36000
<b>Volumen total (l)</b>	36
<b>Volumen total (m<sup>3</sup>)</b>	0.036

Fuente: Elaborada por autor

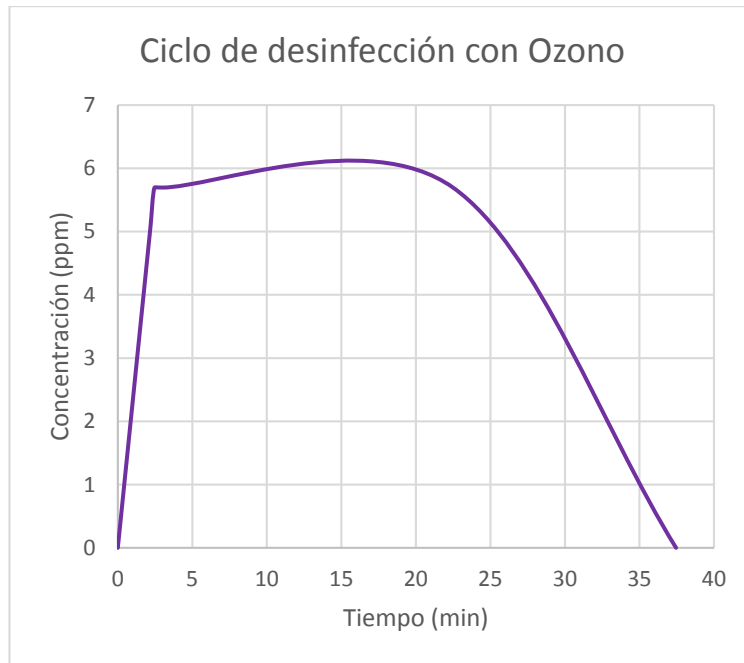
Para comenzar se definió un tiempo de 20 minutos de exposición a la concentración máxima. Tomando el valor de CT del virus T7, se obtuvo una concentración de 5.7 ppm. Con dicha concentración se necesita una carga de 205.2 mg los cuales se generan en 2.46 mins con el generador de 5,000 mg/h.

**Tabla 15. Dosis y tiempos calculados.**

<b>Dosis (min*ppm)</b>	<b>C(ppm), t=20min</b>	<b>Carga necesaria (mg)</b>	<b>Tiempo de generación (mins)</b>
114	5.7	205.2	2.46

Fuente: Elaborada por autor

Considerando 15 minutos luego de que se cumpla el tiempo de exposición para la extracción y desintegración del ozono, el ciclo se representaría como el siguiente gráfico con un tiempo total del ciclo de aproximadamente 37 minutos.



**Gráfico 1. Ciclo de desinfección concentración vs tiempo.**

Fuente: Elaborada por autor

## 5.2 SELECCIÓN DEL GENERADOR

Para determinar el generador más adecuado para el prototipo se realizó un análisis de los siguientes aspectos para dos generadores.

**Tabla 16. Generadores de ozono analizados para el prototipo.**

<b>Especificación</b>	<b>Airthereal MA10K-PRO</b>	<b>Airthereal MA5000</b>
<b>Producción de ozono</b>	10,000 mg/h	5,000 mg/h
<b>Consumo Energético</b>	110W	50W
<b>Dimensiones</b>	7.1x9.3x6.8 pulg	6.8x7.4x6.8 pulg
<b>Peso</b>	6.6 lbs	3.5 lbs
<b>Precio</b>	\$98.29	\$85.59

Fuente: Elaborada por autor

Considerando dos modelos con especificaciones distintas y dichas especificaciones se eligió el Airthereal MA5000 como el generador a utilizar para la cabina de desinfección, el cual es suficiente para la concentración necesaria.



**Ilustración 26. Generador Airthereal MA5000 elegido para prototipo.**

### 5.3 DISEÑO ESTRUCTURAL

El diseño estructural fue modelado y renderizado en SolidWorks con las medidas que se describieron anteriormente las cuales son 30 cm de alto 40 cm de ancho y 30 de profundidad como se puede observar en la siguiente ilustración. De esta manera se establecieron tres módulos en el diseño.

#### 5.3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS MÓDULOS DEL DISEÑO

##### 5.3.1.1 Modulo superior



Esta parte es la encargada de la evacuación del ozono de manera segura, ya que en ella se encuentra el catalizador de carbón activado. El cual inactiva el ozono.

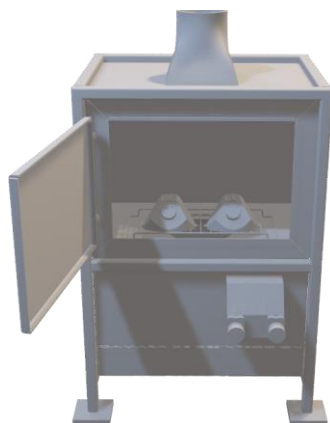
**Ilustración 27. Diseño final de la estructura de la cabina de desinfección.**

Fuente: Elaborada por autor

Dicha estructura del módulo superior almacena el catalizador encargado de la descomposición del ozono. Existen distintos materiales catalizadores, uno de los más adecuados es el compuesto por dióxido de cobre y óxido de manganeso. Este material no es consumido por el ozono y actúa como un verdadero catalizador, puede brindar un servicio duradero de entre 1 a 3 años según su uso. Este sistema de catalizador destruye más de 99% de la concentración de ozono, requiere menos tiempo de reacción que la destrucción por calor y puede reaccionar a temperatura ambiente. El Ozono es convertido a oxígeno en forma segura.

### *5.3.1.2 Modulo Medio*

Cabe mencionar que el diseño consta de dos cámaras, la cámara del módulo medio es donde se lleva a cabo el proceso de desinfección del material y la cámara del módulo inferior almacena el generador de ozono y parte del sistema de control.



***Ilustración 28. Animación del diseño 3D***

Fuente: Elaborada por autor

En la vista explosionada que se muestra se puede ver la rejilla automática de control de salida del ozono, la cual mantiene cerrada la cámara durante el proceso de desinfección. También se muestra el panel de control donde esta una LCD, la cual muestra el estado de la cámara y un botón de inicio con una luz indicadora de ciclo iniciado.

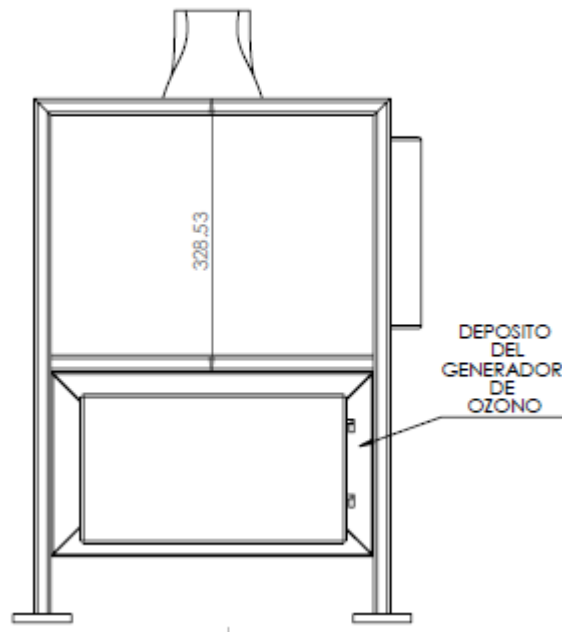


**Ilustración 29. Vista explosionada de la cabina**

Fuente: Elaborada por autor

### 5.3.1.3 Módulo Inferior

En el módulo inferior el sistema de control y el generador de ozono del dispositivo, dicho módulo es cerrado para proteger el circuito, contando solamente con un acceso para mantenimientos por parte de un personal capacitado.

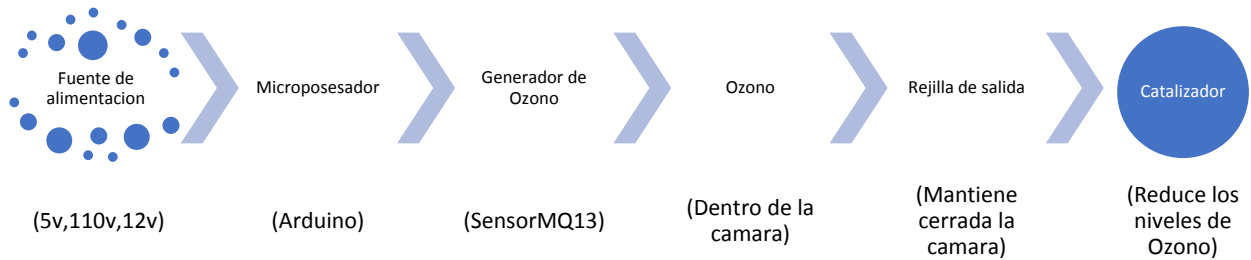


**Ilustración 30. Módulo inferior de la cabina.**

Como añadido cabe mencionar que el diseño se trabajó en la función de chapa metálica que SolidWorks ofrece. Para tener más a detalles los planos del diseño revisar en la sección de anexos.

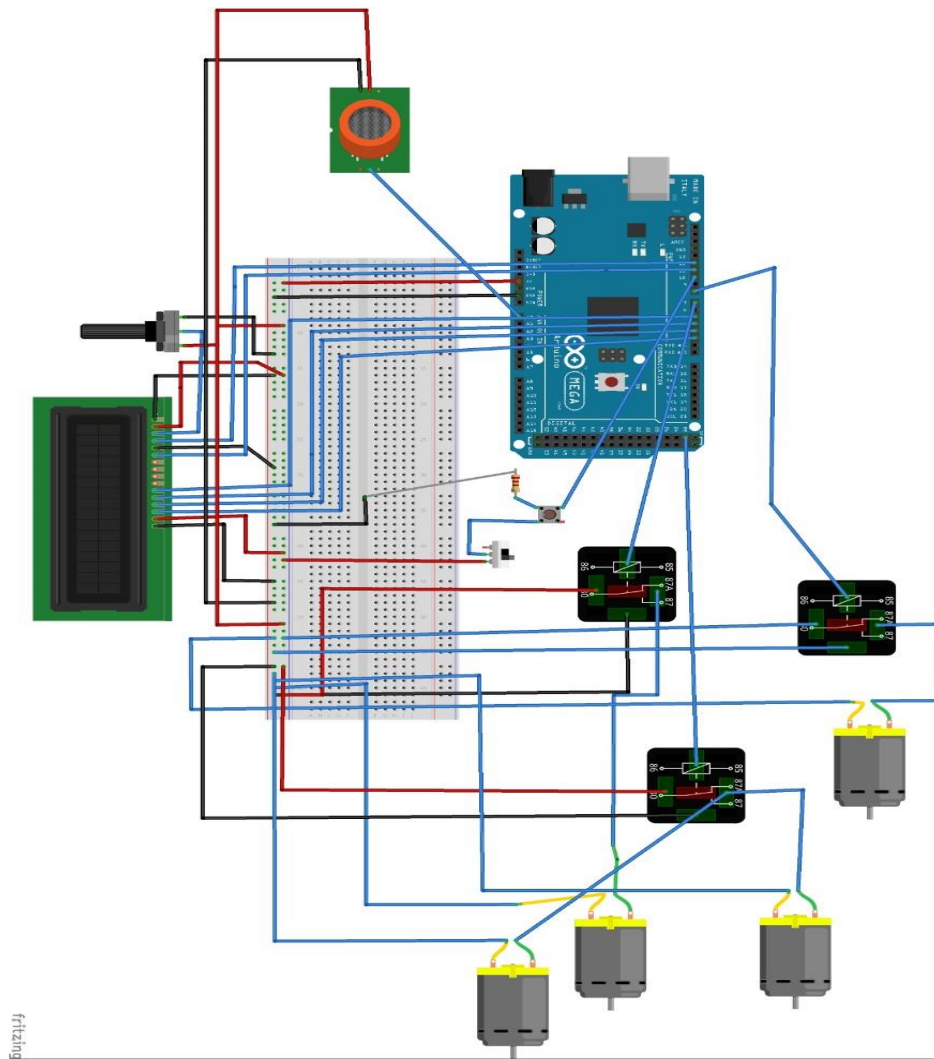
#### 5.4 CIRCUITO DE CONTROL

En este apartado se dará a conocer el diseño del sistema de control, como ser el circuito esquemático del sistema, el montaje simulado en protoboard y la simulación del sistema en el software Kicad, todo con el fin de garantizar el funcionamiento de manera óptima del sistema de control y evitar riesgos para los usuarios.



**Ilustración 31. Diagrama de Bloques del sistema**

Fuente: Elaborada por autor



**Ilustración 32. Montaje en Protoboard**

Fuente: Elaborada por autor

El montaje que se muestra en la ilustración solo representa las conexiones en caso de querer simular solamente los elementos eléctricos del sistema de control. En este caso, los cuatro motores representan actuadores importantes de dicho sistema, los cuales son el generador de ozono, el electroimán de seguridad, la fan de extracción del ozono, el servo motor de la rejilla de ventilación. En los anexos, la ilustración 37 representa las conexiones del sistema de control con todas sus partes. El diagrama simboliza todos los elementos que conforman el circuito de control los cuales son:

- Pantalla LCD 2x16

- Relays
- Sensor MQ-313
- Fan
- Generador de ozono
- Electroimán
- SW\_reed
- Push Dual
- potenciómetro

Los cuales son accionados y regidos por el microcontrolador en este caso un Arduino Mega, el cual mediante código de programación aplica condiciones a cada actuador para que estos hagan que el sistema funcione. Acciones como al presionar el Push Dual si el SW\_reed no está cerrado, hace que la señal no viaje hasta la entrada del microprocesador, por ende no puede iniciar un ciclo de desinfección.



## VI. CONCLUSIONES

- Las dosis recomendadas de ozono para la inactivación de microorganismos se encuentran entre 5-12 ppm incluyendo virus y bacterias, con el cuidado siempre de no exponer a ningún usuario a los  $200\mu\text{g}/\text{m}^3$  que puede provocarle irritación.
- El método de generación de ozono más recomendado es por efecto corona (alta tensión) debido a que se produce una mayor cantidad de ozono en menos tiempo, tal es el caso del generador seleccionado.
- La cabina diseñada consta de tres partes: el sistema eléctrico, el cual incluye el generador y el circuito de control que regula la concentración de ozono dentro de la recámara y la seguridad del usuario al no permitir apertura de la cabina durante el tiempo de exposición; la cabina como tal donde se introduce el material con un volumen de 36 litros y el sistema de extracción que incluye un catalizador de ozono.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- Realizar pruebas de validación con asesoramiento de un microbiólogo que pueda verificar el porcentaje de eliminación de microorganismos del ozono.
- Desarrollar un diseño en conjunto con lámparas UV para incrementar la eficacia de desinfección del material.
- No utilizar el ozono sin una cámara Hermética ya que este puede causar daños en las vías respiratorias.

## **VIII. APLICABILIDAD**

El presente diseño de cámara de desinfección puede ser utilizado en hospitales, clínicas, centros de salud y otro tipo de centros de atención médica en los cuales muchos equipos, instrumentales y diferentes elementos necesitan de una desinfección rápida. Puede ser de gran utilidad ante la necesidad de reutilización de equipo de protección personal ante la crisis sanitaria actual.

Así mismo, podría utilizarse en distintas empresas y establecimientos de negocios para la desinfección de distintos materiales internos, como medida de bioseguridad ante la pandemia del COVID-19.

## **IX. EVOLUCIÓN DE TRABAJO ACTUAL /TRABAJO FUTURO**

El ozono es una opción de desinfección bastante viable para evitar daños en la integridad de un sinfín de materiales que pueden verse afectados por otros métodos. Sin embargo, es de suma importancia que se tenga precaución ante las concentraciones de ozono generadas internamente en la cámara, para así evitar que las vías respiratorias del usuario puedan verse afectadas, en vista de que como se menciona anteriormente, después de cierto rango de concentración puede volverse tóxico.

Actualmente existen cabinas de desinfección de ozono de forma casera, mediante cajas de plástico acondicionadas para un proceso adecuado de exposición. El presente diseño es más elaborado en cuanto a su estructura y acondicionamiento, sin embargo, para resultados más fidedignos es necesaria la prueba del sistema de control de forma física con todos los componentes, así como el acoplamiento de los mismos en la estructura ya fabricada. La construcción de la estructura debe asegurar que no exista ningún tipo de fuga o espacio abierto de la cámara.

## X. BIBLIOGRAFÍA

- 1 Bataller, M. O. (2010). *EFICIENCIA Y SOSTENIBILIDAD DEL EMPLEO DEL OZONO EN LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS*. 11.
- 2 Dennis, R., Cashion, A., Emanuel, S., & Hubbard, D. (2020). Ozone Gas: Scientific Justification and Practical Guidelines for Improvised Disinfection using Consumer-Grade Ozone Generators and Plastic Storage Boxes. *The Journal of Science and Medicine*, 2(1). <https://doi.org/10.37714/josam.v2i1.35>
- 3 *Dispositivos médicos. Aplicación de la gestión de riesgos a los dispositivos médicos.*, ISO, 109 (2014).
- 4 EarthWalk. (2020). Ozone for Decontamination. *Earthwalk*. <https://www.earthwalk.com/ozone-for-decontamination/>
- 5 Elvis, A. M., & Ekta, J. S. (2011). Ozone therapy: A clinical review. *Journal of Natural Science, Biology, and Medicine*, 2(1), 66-70. <https://doi.org/10.4103/0976-9668.82319>
- 6 Escobedo, F. L. M. (2007). *Adaptacion del concepto de Hiperozonizacion a una hidrolavadora y construccion del prototipo* [Universidad de las Américas Puebla.]. [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lim/martinez\\_e\\_fl/](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/martinez_e_fl/)
- 7 García-Chamizo, J. M., Alcañiz-Lucas, S., Ferrández, F. J., Maciá, J. J. P., Madrid, D. S., & Pérez, M. G. (2020). *Revisión de las Aplicaciones del Ozono y su Generación para el Uso en Mascarillas contra Patógenos. Versión Preliminar*. 14.
- 8 Herbold, K., Flehmig, B., & Botzenhart, K. (1989). Comparison of ozone inactivation, in flowing water, of hepatitis A virus, poliovirus 1, and indicator organisms. *Applied and*

*Environmental Microbiology*, 55(11), 2949-2953.  
<https://doi.org/10.1128/AEM.55.11.2949-2953.1989>

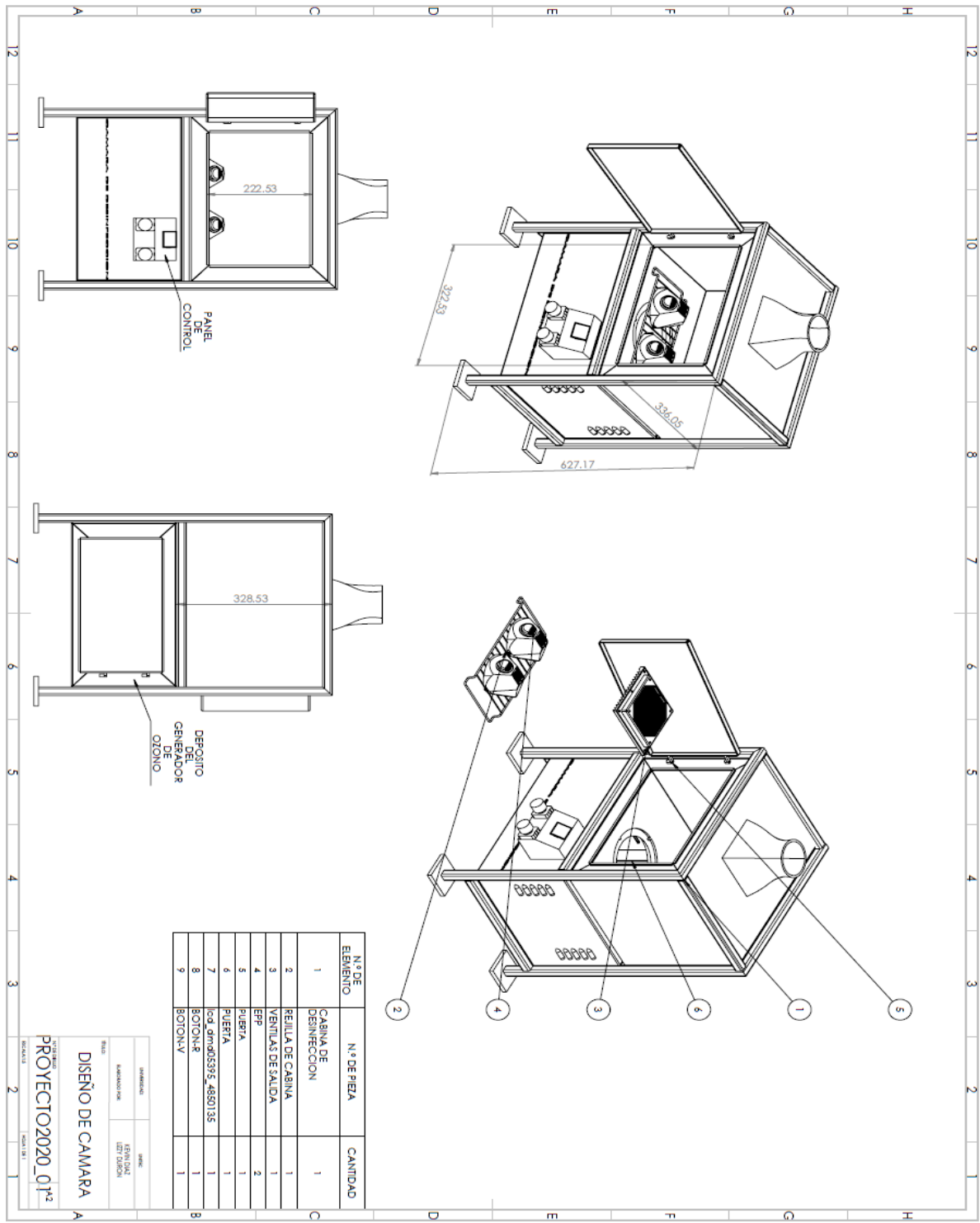
- 9 K. K. LAM, K. (2003). *Use of ozone for air disinfection*.
- 10 Lee, J., Bong, C., Bae, P. K., Abafog, A. T., Baek, S. H., Shin, Y.-B., Park, M. S., & Park, S. (2020). *Fast and easy disinfection of coronavirus-contaminated face masks using ozone gas produced by a dielectric barrier discharge plasma generator* [Preprint]. Public and Global Health. <https://doi.org/10.1101/2020.04.26.20080317>
- 11 Mingarro, I. (2020, marzo 23). *Coronavirus: Conociendo al enemigo*. The Conversation. <http://theconversation.com/coronavirus-conociendo-al-enemigo-134489>
- 12 MORENO, D. (2011). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR DE OZONO PARA APLICACIONES MEDICAS POR TECNOLOGÍA DE EFECTO CORONA Y UV* [INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE BIOTECNOLOGÍA]. <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/23458/1/Moreno%20Rojero%20Mariano%20Daniel.pdf>
- 13 Moreno Rojero, M. D. (2011). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR DE OZONO PARA APLICACIONES MEDICAS POR TECNOLOGÍA DE EFECTO CORONA Y UV* (p. 121). INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE BIOTECNOLOGÍA.
- 14 New Jersey Department of Health and Senior Services. (2003). *LÍMITES DE EXPOSICIÓN LABORAL*. 1996, 6.

- 15 O'Donnell, C., Tiwari, B. K., Cullen, P. J., & Rice, R. G. (Eds.). (2012). Front Matter. En *Ozone in Food Processing* (pp. i-xii). Wiley-Blackwell.  
<https://doi.org/10.1002/9781118307472.fmatter>
- 16 Parzanese, M. (2017). *Tecnologías para la Industria Alimentaria Ozono en alimentos*. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca.  
[http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/revista/ediciones/54/articulos/r54\\_13\\_Ozono.pdf](http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/revista/ediciones/54/articulos/r54_13_Ozono.pdf)
- 17 Pérez-Calvo, M., & L.J. Ruiz Martín-Peñasco. (2012). *LA DESINFECCIÓN CON OZONO EN SEGURIDAD ALIMENTARIA Claves para la Eliminación de Entéricos (Salmonella, Lysteria, E.coli), y fitosanitarios en alimentos frescos*.  
<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4129.2243>
- 18 Rakovsky, S., Anachkov, M., & Zaikov, G. (2009). *FIELDS OF OZONE APPLICATIONS*. 3, 23.
- 19 Rodríguez, M. J., & Rodríguez, G. (2007). *Subproductos de la desinfección del agua potable: Formación, aspectos sanitarios y reglamentación*. 32, 9.
- 20 SOLIDWORKS. (2020). SOLIDWORKS. *SolidBI*. <https://solid-bi.es/solidworks/>
- 21 Tseng, C.-C., & Li, C.-S. (2006). Ozone for Inactivation of Aerosolized Bacteriophages. *Aerosol Science and Technology*, 40(9), 683-689.  
<https://doi.org/10.1080/02786820600796590>
- 22 United States Environmental Protection Agency. (1999). *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Desinfección con ozono*.

23 Venta, M. B., Lorenzo, E. V., García, L. A. F., Castro, H., Torres, I. F., Alvarez, C. A., & Sánchez, E. (2005). *Determinación de Parámetros de Diseño Y Desinfección con Ozono de un Efluente Municipal*. 36, 8.



# XI. ANEXOS



Anexo 1. Plano del diseño de la cámara.

Fuente: Elaborada por autor

## MQ131 Ozone Gas Sensor (High Concentration)

### Profile

Sensitive material of MQ131 gas sensor is semiconductor metallic oxide, which with high conductivity in clean air. When the ozone gas exists, the sensor's conductivity gets lower along with the gas concentration rising. Users can convert the change of conductivity to correspond output signal of gas concentration through a simple circuit.

MQ131 ozone gas sensor has high sensitivity to ozone, and also has sensitivity to strong oxide such as  $Cl_2$ ,  $NO_2$  &etc. It responds oppositely to organic interference gases.

### Features

It has good sensitivity to ozone in wide range, and has advantages such as long lifespan, low cost and simple drive circuit &etc.

### Main Applications

It is widely used in domestic ozone concentration alarm, industrial ozone concentration alarm and portable ozone concentration detector.

### Technical Parameters Stable.1

Model			MQ131
Sensor Type			Semiconductor
Standard Encapsulation			Bakelite, Metal cap
Target Gas			Ozone
Detection range			10~1000ppm Ozone
Standard Circuit Conditions	Loop Voltage	$V_c$	$\leq 24V$ DC
	Heater Voltage	$V_H$	$5.0V \pm 0.1V$ AC or DC
	Load Resistance	$R_L$	Adjustable
Sensor character under standard test conditions	Heater Resistance	$R_H$	$31\Omega \pm 5\Omega$ (room temp.)
	Heater consumption	$P_H$	$\leq 900mW$
	Sensitivity	$S$	$R_S(\text{in } 200ppm \text{ O}_3) / R_S(\text{in air}) \geq 2$
	Output Voltage	$\Delta V_S$	$\geq 1.0V$ (in 200ppm $O_3$ )
Standard test conditions	Concentration Slope	$\alpha$	$\leq 0.6 (R_{10ppm} / R_{100ppm} \text{ O}_3)$
	Tem. Humidity		$20^\circ C \pm 2^\circ C$ ; $55\% \pm 5\% RH$
	Standard test circuit		$V_c: 5.0V \pm 0.1V$ $V_H: 5.0V \pm 0.1V$
	Preheat time		Over 48 hours

NOTE: The change of Output voltage( $\Delta V_S$ ) is the difference value between  $V_{RL}$  in test environment and

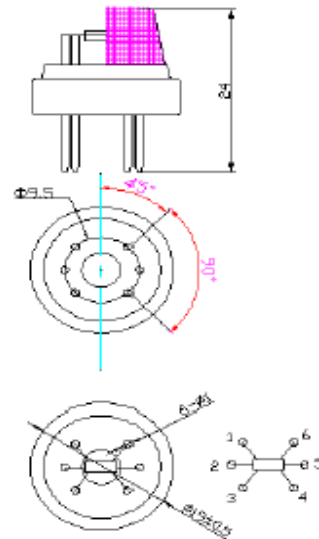


Fig1.Sensor Structure  
Unit: mm

## MQ131 Ozone Gas Sensor (Low Concentration)

### Profile

Sensitive material of MQ131 gas sensor is  $WO_3$ , which with lower conductivity in clean air. When the ozone gas exists, the sensor's conductivity gets lower along with the gas concentration rising. Users can convert the change of conductivity to correspond output signal of gas concentration through a simple circuit. MQ131 ozone gas sensor has high sensitivity to ozone, and also has sensitivity to strong oxide such as  $Cl_2$ ,  $NO_2$  &etc. It responds oppositely to organic interference gases.



### Features

It has good sensitivity to ozone in wide range, and has advantages such as long lifespan, low cost and simple drive circuit &etc.

### Main Applications

It is widely used in domestic ozone concentration alarm, industrial ozone concentration alarm and portable ozone concentration detector.

### Technical Parameters Stable.1

Model		MQ131	
Sensor Type		Semiconductor	
Standard Encapsulation		Plastic cap	
Target Gas		Ozone	
Detection range		10~1000ppb Ozone	
Standard Circuit Conditions	Loop Voltage	$V_c$	$\leq 24V$ DC
	Heater Voltage	$V_H$	$5.0V \pm 0.1V$ AC or DC
	Load Resistance	$R_L$	Adjustable
Sensor character under standard test conditions	Heater Resistance	$R_H$	$34\Omega \pm 3\Omega$ (room tem.)
	Heater consumption	$P_H$	$\leq 900mW$
	Sensitivity	$S$	$R_S(\text{in } 200ppb \text{ O}_3) / R_S(\text{in air}) \geq 2$
	Output Voltage	$\Delta V_S$	$\geq 1.0V$ (in 200ppb $O_3$ )
	Concentration Slope	$\alpha$	$\leq 0.6(R_{500ppb} / R_{100ppb} \text{ O}_3)$
Standard test conditions	Tem. Humidity	$20^\circ C \pm 2^\circ C$ ; $55\% \pm 5\% RH$	
	Standard test circuit	$V_c: 5.0V \pm 0.1V$ ; $V_H: 5.0V \pm 0.1V$	
	Preheat time	Over 48 hours	

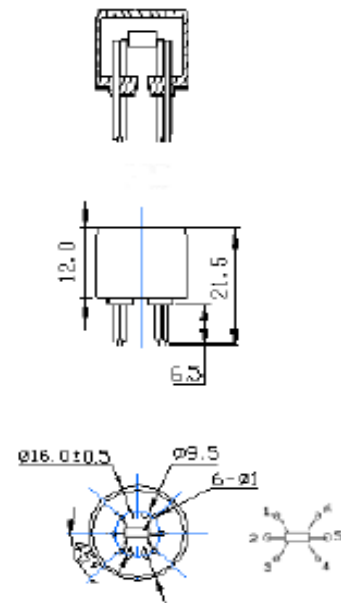
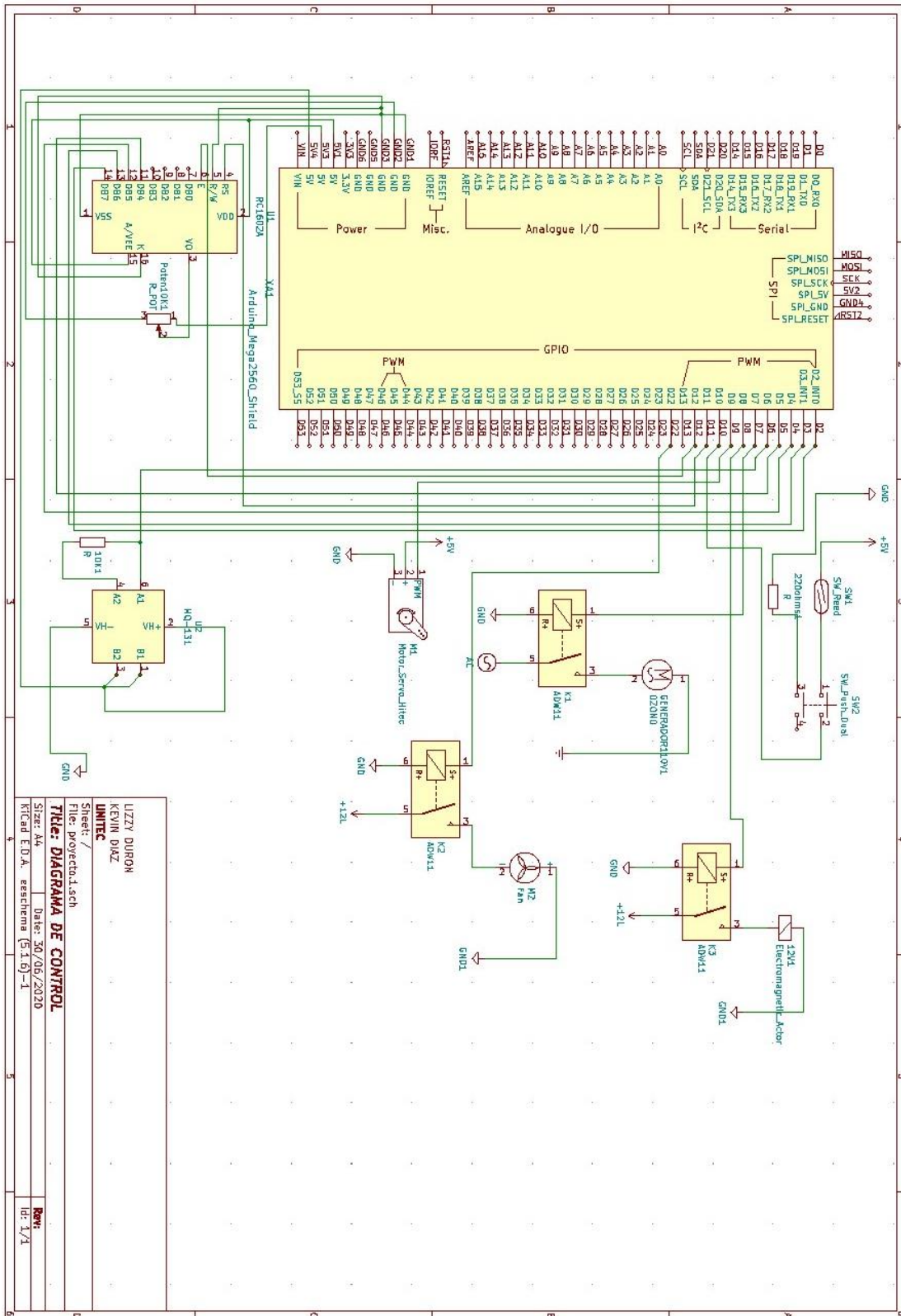


Fig1.Sensor Structure  
Unit: mm

NOTE: The change of Output voltage( $\Delta V_S$ ) is the difference value between  $V_{RL}$  in test environment and  $V_{RL}$  in clean air .



LUZZY DURON	
KERIM DAKZ	
UNITEC	
Sheets: /	
File: proyecto1.sch	
<b>Titulo: DIAGRAMA DE CONTROL</b>	
Sheet: A4	Date: 30/06/2020
Created E.O.A. resschema (5.1.5)-1	
Rev:	Id: 1/1

Anexo 3. Circuito de control esquemático.

```

#include <LiquidCrystal.h>
#include <TimerOne.h>

int mql31= 6; //Representa el sensor de ozono.
int rele= 7; //Relé que controla el generador de ozono.
int senspuerta= 8; //Electroimán que asegura la puerta de la cabina.
int push=10; //Botón de inicio
int fan=22; //Fan que mueve el ozono hacia el catalizador.
int concent; //Valor de la concentración de ozono leída por el sensor.
volatile long int tiempo=0; //Variable para el timer.
int activopush=0; //Variable
int estadoant=0;
volatile long int tiempo2=0;

LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);

void setup() {
pinMode(mql31, INPUT);
pinMode(rele, OUTPUT);
pinMode(senspuerta, OUTPUT);
pinMode(push, INPUT);
pinMode(fan, OUTPUT);
Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.print("Bienvenido");
}
void loop() {
if(digitalRead(push)==HIGH && (estadoant==LOW)){
  activopush=1-activopush;
  lcd.clear();
}
  estadoant=activopush;

if (activopush==1){ //Si se presiona el botón y hay paso de corriente
  digitalWrite(senspuerta, HIGH); //a través del sensor magnético, se energiza el
  lcd.print("Comenzando..."); //electroimán de la puerta y comienza el ciclo.
  concent=digitalRead(mql31);
}
else{
  digitalWrite(senspuerta,LOW); //Si no hay paso de corriente a través del sensor
  lcd.print("Cierre la puerta"); //magnético que está antes del botón de inicio,
} //se pide que se cierre la puerta.

  if (concent<5.7){ //Cauano la concentración de ozono es menor a 5.7
    digitalWrite(rele, HIGH); //el generador se activa para alcanzar el valor
    lcd.print("Cargando de ozono"); //adecuado.
  }

  else{
    if (concent==5.7){ //Una vez que la concentración es igual a 5.7
      Timer1.initialize(1000000); //comienza el timer para contar el tiempo de
      Timer1.attachInterrupt(temp); //exposición.
    }
    if (concent>5.7){ //Si el valor de la concentración aumenta,
      digitalWrite(rele,LOW); //el generador se apaga.
    }
    else{
      digitalWrite(rele,LOW);
    }
  }
}

void temp(void){

  tiempo++;
  lcd.setCursor(0,0); //Muestra el tiempo en la pantalla.
  lcd.print("Desinfectando...");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Tiempo: ");
  lcd.setCursor(7,1);
  lcd.print(tiempo);
  lcd.setCursor(11,1);
  lcd.print("s");

  if (tiempo>1200 && tiempo<2100) { //Si el tiempo llega a sus 20 mins
  lcd.clear(); //se muestra en la pantalla ciclo
  lcd.print("Ciclo terminado"); //terminado y comienza el tiempo
  lcd.setCursor(0,1); //de extracción de ozono.
  lcd.print("Espere...");
  digitalWrite(fan,HIGH);
}
if (tiempo>=2100){ //Cuando se alcanza el tiempo de
  lcd.clear(); //extracción de ozono se muestra el
  lcd.print("Ciclo terminado"); //mensaje ciclo terminado y se desenergiza
  lcd.setCursor(0,1); //el electroimán una vez es seguro.
  lcd.print("Abra la puerta");
  digitalWrite(fan, LOW);
  digitalWrite(senspuerta, LOW);
}
}
}

```

## Anexo 4. Programa de arduino.