

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE OZONIFICACIÓN
ELECTRÓNICO QUE APORTE A LA DISMINUCIÓN DE MICROORGANISMOS
PRESENTES EN EL AGUA

SAIDY LORENA MARTÍNEZ PINEDA
JAHN CARLO CUBIDES AGUILAR

UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
VILLAVICENCIO
2018

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE OZONIFICACIÓN
ELECTRÓNICO QUE APORTE A LA DISMINUCIÓN DE MICROORGANISMOS
PRESENTES EN EL AGUA

SAIDY LORENA MARTÍNEZ PINEDA
JAHN CARLO CUBIDES AGUILAR

Trabajo de grado en modalidad estudiante participante en investigación (EPI)

Director: Javier Andrés Vargas Guativa, especialista en Mecatrónica Industrial,
Esp. En Pedagogía y docencia Universitaria, Msc Administración Educativa

UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
VILLAVICENCIO
2018

Nota de aceptación:

PhD. Javier Andrés Vargas Guativa
Jurado

Villavicencio, 13 de abril del 2018

Les dedico este logro a mis padres, por ser el pilar fundamental en mi formación, por su esfuerzo y sus buenos consejos para hacer de mí una mejor persona. A mis hermanos por ser el ejemplo por seguir y a mis sobrinos. A mis compañeros de universidad, a Jahn, y especialmente a Fabián por ser mi compañía y apoyo, por hacer de este proceso un recuerdo inolvidable. Muchas gracias a todos.

Lorena M.

Les dedico este logro a mis abuelos Gabriela y Ernesto por su apoyo incondicional, porque gracias a su esfuerzo y dedicación puedo cumplir una meta más en mi vida. A mis compañeros de universidad, en especial a Lorena, Fabián y Jairo con quienes compartí durante este proceso. A todos y cada uno de ustedes mil gracias por todo.

Jahn C.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestro director de proyecto ingeniero Javier Vargas por el apoyo contante y acompañamiento en todo el proceso, a todas las personas que de una u otra manera intervinieron para hacer esto posible, compañeros de la carrera, amigos y familia, al ingeniero Alexander Cucaita que aportó su conocimiento y nos colaboró durante el proyecto, a todos ellos muchas gracias.

Contenido

TABLA DE ILUSTRACIONES	8
GLOSARIO.....	10
RESUMEN	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
2. OBJETIVOS:.....	13
2.1 Objetivo general	13
2.2 Objetivos específicos	13
3. JUSTIFICACIÓN.....	14
4. MARCO CONTEXTUAL	15
4.1 ANTECEDENTES	15
5. MARCO TEORICO	19
5.1 Ozonización	19
5.1.1 Aplicaciones del Ozono en el tratamiento de aguas	20
5.2 Ozonizador Eléctrico	21
5.2.1 Modelo Matemático.....	22
5.3 Efecto Corona.	22
5.3.1 Tensión crítica disruptiva	23
5.3.2 Tensión crítica visual	23
5.4 Visualización del efecto corona.....	25
5.4.1 Arco Eléctrico.....	25
5.4.2 Descargas Parciales.....	26
5.5 Flyback.....	27
5.5.1 Funcionamiento.	27
5.5.2 Modo de conducción discontinua.....	28
5.5.3 Modo de conducción continua	29
5.6 Transistor de potencia.....	29
5.6.1 Corriente	30
5.6.2 Voltaje de compuerta	31
5.6.3 Temperatura	31
5.7 Oscilador	31
5.7.1 Esquema de conexión modo estable.....	32

5.8 Microcontrolador	33
5.8.1 Arduino	34
5.9 Instrumentación.....	34
5.9.1 Medición de Alto Voltaje	34
5.9.2 Sonda de alto voltaje	35
5.9.3 Divisores de voltaje.....	35
5.10 Aislamiento.....	36
5.10.1 Aislamiento Eléctrico.....	36
5.10.2 Aislamiento óptico.....	36
5.11 Disipación del calor.....	37
5.11.1 Especificaciones térmicas de semiconductores.....	39
6. DISEÑO METODOLÓGICO	40
6.1 Fase 1. Diseño estructural	40
6.1.1 Tanque de agua.....	40
6.1.2 Caja de almacenamiento de ozono.....	40
6.2 Fase 2. Sistema Generador de Arco Eléctrico	41
6.2.1 Etapa 1. Variación de la tensión – Circuito de control.....	41
6.2.2 Etapa 2. Circuito de Potencia	42
6.2.3 Etapa 3. Sonda de alta tensión.....	44
6.2.4 Etapa 4. Prueba de generación de ozono.....	45
6.3 Fase 3. Pruebas Fisicoquímicas	48
6.4 Fase 4. Pruebas microbiológicas	49
6.5 Fase 5. Resultados	50
6.5.1 Resultados Pruebas de Circuitos.....	50
6.5.2 Relación: Frecuencia oscilador – Resistencia	51
6.5.3 Relación: Voltaje de salida (Flyback) – Resistencia en alcance máximo.....	51
6.5.4 Relación: Frecuencia del oscilador – Voltaje en la salida (Flyback).....	52
6.5.5 Resultados pruebas fisicoquímicas.....	52
6.5.6 Resultado Pruebas Microbiológicas.....	59
6.5.7 Cantidad de ozono producido en partes por millón PPM	60
7. ANALISIS	61
8. Referencias.....	63

9. ANEXOS.....	67
----------------	----

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Formación de Ozono	20
Ilustración 2 Patógenos destruidos por el ozono.....	21
Ilustración 3 Ejemplo de efecto corona línea de transmisión de alta tensión	23
Ilustración 4 pérdidas de voltaje por efecto corona	24
Ilustración 5 Arco eléctrico	25
Ilustración 6 Tipos de descargas parciales.....	26
Ilustración 7 Circuito Flyback.....	28
Ilustración 8 Mosfet - Tipo de agotamiento de canal n y canal p.....	30
Ilustración 9 Curva de voltaje en conducción versus corriente del Mosfet	30
Ilustración 10 Datasheet integrado Lm555	31
Ilustración 11 Esquema de conexión oscilador	33
Ilustración 12 Estructura genérica de un microcontrolador.....	34
Ilustración 13 Esquema de entradas y salidas	34
Ilustración 14 Sonda de alto voltaje.....	35
Ilustración 15 Divisor de Voltaje	35
Ilustración 16 Esquema Eléctrico Optoacoplador.....	37
Ilustración 17 Curva de depreciación de la potencia máxima en función de la temperatura ambiente	39
Ilustración 18 Circuito oscilador – NE555.....	42
Ilustración 19 Circuito de Potencia	43
Ilustración 20 Montaje en Baquela	43
Ilustración 21 Disipador de temperatura.....	44
Ilustración 22 Ventilador usado	44
Ilustración 23 Simulación Sonda de alto voltaje	45
Ilustración 24 Montaje de Sonda de alta tensión.....	45
Ilustración 25 Diagrama del sistema generador de ozono.....	46
Ilustración 26 Generación de ozono con arco eléctrico, Frecuencia 10 kHz	47
Ilustración 27 Generación de ozono con arco eléctrico, frecuencia a 12kHz	47
Ilustración 28 Modelo del tanque de agua - Solid Works	40
Ilustración 29 Modelo de compartimiento y el tanque - Solid Works	41
Ilustración 30 Inyección de ozono en tanque de agua	49
Ilustración 31 Comportamiento de la frecuencia en función de la resistencia	51
Ilustración 32 Comportamiento del voltaje (Kv) en función de la resistencia (kOhm) del oscilador	51
Ilustración 33 Comportamiento del voltaje de salida en el Flyback y la frecuencia del oscilador	52
Ilustración 34 Comportamiento de la conductividad ante la presencia de ozono en el agua.....	53

Ilustración 35 Comportamiento de los sólidos disueltos totales ante la presencia de ozono en el agua.....	53
Ilustración 36 Comportamiento de la conductividad ante la presencia de ozono en el agua con sal – 10kHz	54
Ilustración 37 Comportamiento de la cantidad de sólidos disueltos totales ante la presencia de ozono en el agua - 10kHz	55
Ilustración 38 Comportamiento de la conductividad ante la presencia de ozono en el agua con sal – 12kHz	56
Ilustración 39 Comportamiento de la cantidad de sólidos disueltos totales ante la presencia de ozono en el agua – 12kHz	57
Ilustración 40 Comportamiento de la conductividad ante la presencia de ozono en el agua con sal – 15kHz	58
Ilustración 41. Comportamiento de la cantidad de sólidos disueltos totales ante la presencia de ozono en el agua – 15kHz	58
Ilustración 42. Comportamiento del voltaje generado por el Flyback y el ozono producido por el arco eléctrico	60
Ilustración 43. Comportamiento de la cantidad de ozono en relación con el voltaje generado linealizado.	60

GLOSARIO

OZONO: El ozono (O_3) es una sustancia cuya molécula está compuesta por tres átomos de oxígeno, formada al disociarse los dos átomos que componen el gas de oxígeno, es un estado alotrópico del oxígeno producido por la electricidad.

ARCO ELÉCTRICO. Descarga eléctrica que se forma entre dos electrodos sometidos a una diferencia de potencial y colocados en el seno de una atmósfera gaseosa enrarecida, normalmente a baja presión, o al aire libre.

EFEECTO CORONA. Fenómeno eléctrico que se produce en los conductores de las líneas de alta tensión y se manifiesta en forma de halo luminoso a su alrededor.

RESUMEN

En este proyecto se espera diseñar e implementar un sistema electrónico de ozonificación que tenga la capacidad de reducir el número de microorganismos presentes en 30 litros de agua, observando el déficit en el desarrollo de técnicas que permiten el aprovechamiento de aguas residuales procedente, en su mayoría, con restos de materia orgánica. El sistema está basado en el método de ozonificación (Massechelein, 1982), creado a partir de un sistema eléctrico con dos electrodos separados por una capa aisladora y un espacio de aire capaz de producir ozono dependiendo directamente del voltaje y la frecuencia a la cual opere el generador, el proceso fisicoquímico producido es denominado efecto corona que se presenta cuando el potencial de un conductor en el aire se eleva hasta valores tales que sobrepasen la rigidez dieléctrica del aire que rodea el conductor. Se espera determinar la calidad del agua de pozo través de la prueba de tres grupos contaminantes de agua; bacterias coliformes totales, bacterias coliformes fecales y *Pseudomonas aeruginosa*, cuya importancia se debe a las enfermedades (patógenos) que causan en el organismo humano.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Colombia es un país con una riqueza hídrica extensa, además del agua que fluye por los ríos, quebradas y bajo la superficie territorial, existen ventajas climáticas que benefician diferentes zonas del país. En ríos, lagos y acuíferos se dispone cerca de 1.125.000 millones de metros cúbicos/año, mientras que el agua almacenada en el suelo, base del 90% de la agricultura, equivale aproximadamente a 1.221.000 millones de metros cúbicos/año (IDEAM, 2014).

El departamento del Meta cuenta con una hidrografía muy compleja que depende del comportamiento estacional en las precipitaciones, además con el cambio climático el impetu del verano es más fuerte y los tiempos de sequía traen escasez de agua potable a lo largo del territorio llanero, de acuerdo al IRCA promedio anual reportado a través del ente sanitario de mayor autoridad al SIVICAP se obtuvo que un 51% de la población consumió agua **Sin Riesgo**, 16% agua con **Riesgo Bajo**, 18% agua con **Riesgo Medio**, 11% **Alto Riesgo**, 2 % **Inviabile Sanitariamente** y del 2% la autoridad **No Reportó** información, correspondiente al municipio de Puerto Rico y zonas urbanas de 16 municipios (MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL , 2014).

El nivel de contaminación generado en las diferentes fuentes hídricas ha ido creciendo con respecto al incremento de la población a nivel mundial, en el caso de los residuos de origen doméstico se representa en gran cantidad por la materia orgánica y microorganismos de origen fecal. En la transmisión hídrica se presentan agentes como bacterias, protozoos y virus, causantes de enfermedades como disentería, diarrea, hepatitis o en casos graves fiebre tifoidea que requieren, en algunos casos, muestras de laboratorio para comprobar el diagnóstico (Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua, 2005).

Las zonas rurales de nuestro país son las más afectadas debido al pobre abastecimiento en redes de alcantarillado, la mayoría de los sistemas que existen en el mercado tienen como objetivo el tratamiento de agua subterránea mientras que para Colombia es necesario diseñar y desarrollar sistemas que permitan potabilizar el agua superficial en las zonas más alejadas del territorio nacional.

2. OBJETIVOS:

2.1 Objetivo general

- Diseñar e implementar un sistema electrónico de ozonificación con el método de efecto corona para la eliminación parcial o completa de los microorganismos presentes en el agua.

2.2 Objetivos específicos

- Validar el funcionamiento y la puesta a punto del sistema para obtener un mejor rendimiento.
- Aumentar la alimentación inicial con el fin de elevar el voltaje 110 V a 21Kv.
- Calcular y cuantificar la cantidad de ozono producido en relación con la potencia proporcionada.

3. JUSTIFICACIÓN

La realización de este proyecto tiene importancia tanto a nivel regional como nacional, a pesar del esfuerzo de diferentes organizaciones cuyo principal objetivo ambiental es el cuidado y consumo eficiente de agua en las poblaciones más olvidadas por el estado (Censat Agua Viva, 2016), es insuficiente el desarrollo tecnológico que permita el tratamiento del preciado líquido en la mayor parte de la geografía colombiana, el agua residual originado desde las zonas residenciales y los vertimientos agropecuarios en la mayoría de los casos tiene como desembocadura los ríos, humedales y represas causando daños ambientales de gran magnitud.

Según el informe nacional de la calidad de agua para consumo humano del año 2013 una de las recomendaciones con mayor énfasis es la búsqueda de mecanismos de intervención en factores que contribuyen la aparición de microorganismos en las diferentes comunidades indígenas, y en población menor a un año, además de la participación de autoridades para el mejoramiento del saneamiento básico y actividades de educación con amplia cobertura. [1]

Una posible solución a la crisis en la potabilización de agua en Colombia es la tecnificación de procesos a través de sistemas que brinden métodos innovadores y puedan usar energías renovables para su funcionamiento. Por ende es esencial una técnica como la ozonificación que aplica un enriquecimiento de oxígeno y aprovecha los procesos desinfectantes con mayor eficiencia microbicida con tiempos de contacto bastante cortos, caso contrario del cloro que deja rastro de olor, color y sabor siendo menos potente en comparación al ozono.

4. MARCO CONTEXTUAL

El consumo de agua potable contribuye un vector importante de enfermedades denominadas hídricas y en ocasiones un aporte diario de diversos tipos de contaminantes. El decreto 140/2003 (Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano., 2003) establece los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. Este abarca desde la calidad del agua, conducción del agua, sustancias para el tratamiento, potabilización y distribución entre otras. Se establece la obligación de tratar y controlar las aguas destinadas al consumo humano. Por esta razón, el cloro es el agente desinfectante más empleado, pero no el único ni el mejor. [2]

El poder desinfectante del ozono es más rápido, es un oxidante muy enérgico utilizado como tal en la desinfección del agua, como oxidante en las etapas previas del tratamiento, es una alternativa a considerar para mejorar la calidad del agua y a su vez minimizar los riesgos generados en la desinfección con cloro u otros químicos. [3]

El ozono tiene capacidades de inactivar a las esporas de algunos microorganismos bajo condiciones de esterilización clínica. Sin embargo, no se reportan exactamente el mecanismo de actuación sobre ellas. En el caso del tratamiento de materiales orgánicos disueltos en agua, reaccionan muy rápido con el ozono, la turbidez del agua se elimina a través de una oxidación química y neutralización de carga. Las partículas coloidales [4] que causan turbidez son mantenidas en suspensión gracias a las cargas negativas que son neutralizadas por el ozono.

La oxidación de las materias orgánicas, sulfuros y sustancias extrañas, produce la supresión de olores y sabores extraños que el agua puede contener, así dando una mejor calidad y aspecto del agua, la dosis de desinfección aplicada en el agua está relacionada con un factor de concentración total "CT" que es la multiplicación de la concentración residual (mg/l) por el tiempo en el que está en contacto (min). En Europa contemplan un CT=1.6 sin embargo, en los estados unidos de América señala un CT=0.72 aplicados al agua a 20°C es suficiente desactivar 99.9% de los microorganismos. [5]

4.1 ANTECEDENTES

Actualmente existe un creciente interés por los contaminantes emergentes (CE), ya que son compuestos de distinto origen y naturaleza química, cuya presencia en el medioambiente, o las posibles consecuencias de la misma, han pasado en gran

medida inadvertidas, causando problemas ambientales y de riesgo para la salud [6] CENIC, Revista de ciencias químicas publicó un artículo en donde muestra como el uso indiscriminado del río "Almendares" (Cuba) como vertedero natural para aguas contaminadas ha originado cambios bruscos en su apariencia, buscan con la investigación hacer modelos matemáticos para que la calidad del agua mejore haciendo uso del ozono. [7]

Avances en Ciencias e Ingeniería, hizo público el artículo en donde *Bernal-Martínez, Lina A.* trabajaron en la remoción de contaminantes de un efluente de aguas residuales municipales, mediante tratamientos fisicoquímicos de coagulación-floculación, sedimentación, filtración, oxidación química mejorando la calidad del agua en la mayoría de los parámetros evaluados. [8]

Los procesos de oxidación avanzada se están empleando recientemente para la degradación parcial de materia orgánica en aguas residuales, los procesos de oxidación avanzada implican la generación de oxidantes químicos. [9] Estos procesos de oxidación han sido reportados entre los de mayor potencial en el tratamiento de los contaminantes del agua.[10] A pesar de esto no ha sido considerada una de las soluciones totales, es por esto que se han creado técnicas de oxidación avanzadas, estos pueden ser aplicados tanto en el aire, agua y el suelo. El ozono puede reaccionar con la mayoría de los contaminantes, la oxidación de las especies químicas presentes en el agua por parte del ozono es de especial interés para el tratamiento de agua potable y el manejo de agua de desecho. [11]

La capacidad germicida del ozono está ampliamente reconocida, la cual está dada por su elevado poder oxidante y su rápida velocidad de reacción con diferentes moléculas biológicas, al reaccionar con los microorganismos. [12] Por lo tanto, la búsqueda de información y alternativas resulta importante. Respecto a la ozonización de aguas, los iones bromato son el único subproducto regulado; se forman cuando las aguas contienen determinada concentración de iones bromuro, los iones bromato son considerados potencialmente carcinogénicos; no obstante, se han realizado estudios importantes para el control de su formación y se reportan alternativas aplicables en las plantas de tratamiento. [13]

El ozono es una molécula muy inestable con tres átomos de oxígeno, se encuentra en las capas más altas de la naturaleza, es esencial para la vida ya que reduce considerablemente los efectos de los rayos ultravioleta. La reacción oxidante del ozono consiste en la interacción con otras moléculas, este proceso se le denomina ozonólisis y tiene propósitos directos en las reacciones directas con grupos aminos, sulfuro y aromáticos. [14]

La producción de ozono necesita de tres moléculas de oxígenos que al ser bombardeadas por electrones libres se realiza un proceso de transformación en dos moléculas de ozono que al desasociarse forma tres moléculas de oxígeno puro, es un ciclo repetitivo si existen electrones libres.

El ozono en concentraciones mayores es un gas bastante tóxico. Debido a las ventajas de la aplicación de la tecnología del ozono, puede acoplarse bien con otros desinfectantes en una estrategia combinada para prevenir las infecciones nosocomiales. [15]

El concepto de efecto corona se refiere al fenómeno eléctrico que se produce por la ionización del fluido que rodea a un conductor cargado, ocurre espontáneamente en las líneas de alta tensión.

Profundizando en el tema de la ruptura dieléctrica y el efecto corona, el entendimiento de este es parte de una serie de investigaciones propuestas en la Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca en Ecuador, donde el Ingeniero eléctrico Pedro Francisco Rodas Rivera publicó los avances en la acumulación de grandes cargas provenientes de los campos magnéticos externos que producen el efecto corona.

La utilidad del efecto corona en procesos que vinculen al medio ambiente se demuestra en la patente desarrollada por el grupo corporativo ACCENTUS PLC, con el objetivo de realizar el diseño y construcción de un reactor con descargas de efecto corona aplicado en medios gaseosos. [16] Se desarrolló un generador de ozono para fines germicidas basados en el PWM enviado desde un microcontrolador que permite el funcionamiento de un elevador el voltaje. [17]

La ozonización de aguas y aguas residuales se ha convertido en un método atractivo, debido al poder oxidante y bactericida del ozono, por lo que su combinación con otros procesos tales como la coagulación–floculación, significaría un aumento en la eliminación de la carga orgánica, inorgánica y microbiológica de las aguas residuales, además de aumentar las concentraciones de oxígeno disuelto en las aguas tratadas, lo que posibilitaría su reúso, El Centro de Investigaciones del Ozono presentó la evaluación a escala de laboratorio de la eficiencia de dos procesos de tratamiento de aguas residuales municipales, coagulación–floculación y ozonización (cada uno por separado y con la combinación de ambos) con el fin de obtener aguas con características físico químicas y microbiológicas, que permitan su vertimiento seguro o su reúso. Este estudio determinó para las dosis y condiciones de operación evaluadas los procesos de coagulación-floculación y ozonización por sí solos pueden ser empleados para mejorar la calidad de las aguas residuales para su vertimiento. [18]

En el 2007 Frida Lizbeth Martínez y Montserrat Rubio Duarte, licenciados en Ingeniería mecánica, desarrollaron la adaptación al concepto de hiperozonización a una hidrolavadora y construcción del prototipo donde aplicaban los conceptos teóricos del efecto corona en la potabilización del agua.[19]

Del mismo modo, Horticultura Internacional indican que la eficiencia del ozono no se ve reducida sustancialmente por la presencia en la solución de contenidos de

materia orgánica similares a los hallados en el agua de las líneas de manipulación de cerezas. [20] Entre las ventajas y desventajas se tienen, que en la comparación respecto al tiempo necesario para que una concentración de desinfectante residual torne inactivo a un microorganismo la hace más rápido el ozono, respecto al cloro, y dióxido de cloro.

El efecto del ozono en los gérmenes como lo son bacterias, virus, algas y esporas es oxidando la membrana citoplásmica con lo que se abre un pequeño “orificio” en esta, al penetrar ozono dentro del germen oxida las moléculas de sus compuestos, incluyendo su ADN (Ácido Desoxirribonucleico) y ARN (Ácido Ribonucleico), alterando el contenido genético y provocando que no se reproduzca más o en el mejor de los casos que muera el germen [21]

En cuanto al costo de tratar agua residual con los diferentes métodos (ozono, cloro), el más reducido a usar es el cloro, pero el costo del ozono comparado con otras tecnologías es relativamente bajo. Debido a las ventajas de la aplicación de la tecnología del ozono, puede acoplarse bien con otros desinfectantes en una estrategia combinada para prevenir las infecciones nosocomiales.[22] Debido a que el ozono determina las bacterias rápidamente en un proceso llamado lisis celular, estos microorganismos no pueden desarrollar capas resistentes, así evitando que puedan cambiar periódicamente.[23] Como el ozono es un oxidante fuerte, este hace más rápido la degradación el caucho, pintura, tapicería, y otros materiales. Es por esto que cuando se utiliza en áreas no ocupadas, los generadores de ozono pueden causar daños a los materiales de construcción y aparatos electrónicos.

Entre las aplicaciones directamente relacionadas con este proyecto se tiene la construcción de un ozonizador por descarga corona que es considerada como una descarga parcial en un arreglo de electrodos que permitan un manejo mayor a 20kV/cm [24], también se desarrolló un sistema generador de ozono adecuado para el estudio de la esterilización del suelo, entre los resultados más sobresalientes se tiene que la energía eléctrica se incrementa con la expansión del espacio de descarga a través del uso de electrodos exteriores divididos. [25]

5. MARCO TEORICO

5.1 Ozonización.

Este método es basado en el proceso de las aguas, potables y residuales, por medio de la descarga de efecto corona la cual se denomina ozonización.[26] El ozono influye en la eliminación de compuestos orgánicos e inorgánicos reduciendo algunos factores evidentes como el olor, sabor, color y turbidez, además sustancias tóxicas y compuestos farmacéuticos. Es un desinfectante muy eficaz debido a su alta reactividad y su eficiencia en la reducción que tiene como contraparte el alto costo y generación "in situ". [27]

Los procesos de oxidación que involucran la generación de radical hidroxilo en cantidad suficiente para interactuar con los compuestos orgánicos del medio son también llamados Procesos de Oxidación Avanzada (AOPs), entre estos el proceso de ozonificación. El ozono es una molécula en forma alotrópica triatómica del oxígeno termodinámicamente inestable, descomponiéndose espontáneamente a oxígeno. [28]El ozono es un oxidante muy fuerte que se produce por dos maneras: las reacciones directas (selectivas), atacan enlaces dobles y algunos grupos funcionales; y las reacciones indirectas que son el resultado del accionar de los radicales hidroxilos resultantes de la descomposición del ozono en el agua.

El método más utilizado para la generación de ozono aplicado en el tratamiento de aguas son las descargas en corona, consiste en atravesar oxígeno en forma gaseosa por dos electrodos distanciados por un dieléctrico y un hueco de descargas. Se utiliza alto voltaje en los electrodos, causando que un electrón fluya a través del hueco de descargas. Esos electrones abastecen de energía para descomponer las moléculas de oxígeno, formándose así la formación de ozono.[28]

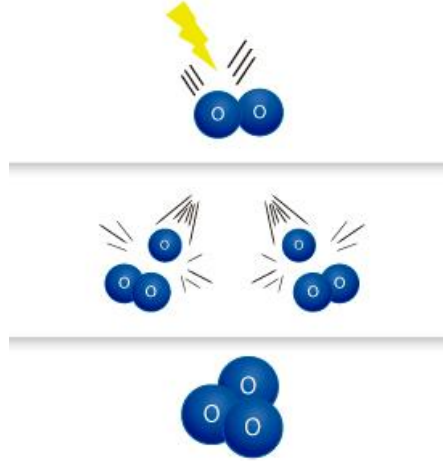


Ilustración 1 - Formación de Ozono

Fuente: Adelo (Asociación Argentina de Oxígeno)

5.1.1 Aplicaciones del Ozono en el tratamiento de aguas

- En el agua potable, el ozono es usado como medida de precaución en el control de algas, bacterias y virus, y como oxidación intermedia eliminando compuestos que proveen factores como sabor, olor y color. También se usa para la reducción de turbidez, iones metálicos, trihalometanos (THM) y precursores orgánicos. [29]
- En el proceso de potabilización de las aguas residuales, el ozono se utiliza en la desinfección, además es efectivo en la eliminación de compuestos orgánicos e inorgánicos y la erradicación de partículas disueltas como sólidos. [24]
- En la actualidad, una de las aplicaciones más trascendentales del ozono es su uso en la erradicación de contaminantes como desechos farmacéuticos (POPs, PTBs, PPCP).



Ilustración 2 Patógenos destruidos por el ozono

Fuente: <https://www.flickr.com/photos/99004333@N08/10177761273/>

Amebas y protozoos, así como virus son eliminados en cuestión de minutos a través de tratamientos de ozonización que alcanzan una calidad del agua adecuada, para así acomodarse a las necesidades solicitadas en función del uso que se le quiera proporcionar.[30]

Al igual que en los procesos biológicos, el ozono reduce otro tipo de polución, de tipo físico o químico. Exceptuando aquellos casos donde existe una contaminación extraordinaria que requiera medidas de mayor proporción, el resultado es satisfactorio al finalizar el proceso, se presenta un tipo de agua libre de bacterias, con niveles de turbidez mucho menores a los iniciales, distinción del sabor y olor característico. Esto quiere decir que las propiedades físicas del agua serán idóneas para el fin buscado, potabilización de agua residual. [29]

De hecho, no se requerirá el mismo nivel de pureza para un agua residual que deseemos potabilizar que para usos industriales que precisen un menor nivel de calidad. Otros usos muy demandados se orientan al tratamiento del agua residual que vaya a devolverse a la naturaleza tras su uso o para su utilización agrícola como agua de riego. Aunque cada caso es distinto, en general puede afirmarse que la aplicación del ozono para la desinfección bacteriana del agua residual obtiene unos estándares de calidad establecidos por la legislación vigente.[28]

5.2 Ozonizador Eléctrico.

El sistema que produce ozono por medio de descargas eléctricas denominadas efecto corona se denomina ozonizador, se compone esencialmente de dos partes, el generador de ozono y el módulo de enfriamiento. Este aparato tiene como función romper la rigidez dieléctrica del aire, con esto se pretende formar

moléculas compuestas por tres átomos de oxígeno (inestable). La distribución básica son dos electrodos separados por una capa aisladora y un espacio de aire. Se aplica una corriente alterna de voltaje elevado. [24] El espacio de aire se llena de un fulgor difuso llamado descarga ozonizadora. Para obtener la descarga es necesaria la capa aisladora ya que sin ella solo se produciría una chispa o un arco.

Las cargas de electrones se recogen durante el semiciclo, la producción del ozono depende de dos variables en el sistema, el voltaje en la descarga y la frecuencia de en el que opere el oscilador. El enfriamiento es absolutamente necesario ya que el ozono se descompone térmicamente en oxígeno, es decir, a altas temperaturas, el ozono se destruye. Es necesario en esta parte hacer pasar una corriente de aire que extraiga el ozono. [17]

5.2.1 Modelo Matemático

$$G1 = 9.67 CdVsf \left[V_o - \left(\frac{Cd + Cg}{Cd} \right) V_s \right] \quad (1)$$

en donde Cd = capacitancia del dieléctrico, Vs = voltaje máximo al cual se forma el arco, Vo = voltaje pico de la señal de entrada, f = frecuencia, Cg = capacitancia de la capa del gas. La importancia del modelo matemático es que nos permite tener un comportamiento teórico del sistema global y sobre el cual pueden hacer referencia las mediciones y las pruebas empíricas que se hagan una vez terminado el generador. Resumiendo, la Fig. 2 es un diagrama a bloques del sistema global.[31]

5.3 Efecto Corona.

Fenómeno eléctrico que se produce en los conductores de alto voltaje, el cual se manifiesta por luminiscencia alrededor de la línea de alta. Debido a la ionización del aire que circula por el conductor a causa de los altos niveles de voltaje se produce el efecto, estos iones son repelidos y atraídos por el conductor a velocidades muy grandes, produciendo nuevos iones por colisión; estas moléculas de aire tienen la capacidad de conducir la corriente eléctrica y algunos de los electrones que circulaban por la línea pasan a circular por el aire, donde la temperatura del gas aumenta y se torna de color rojizo para casos leves o azulado para casos severos, además va acompañada de olor de ozono y un sonido silbante.[32]

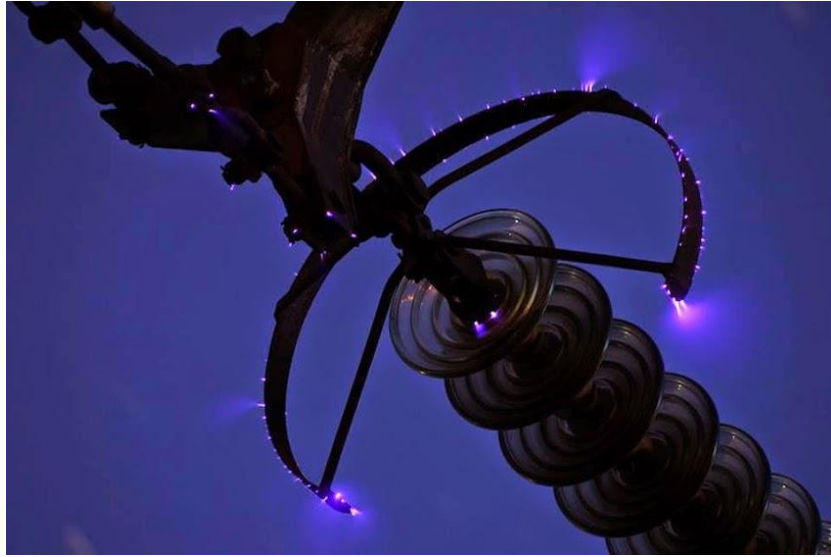


Ilustración 3 Ejemplo de efecto corona línea de transmisión de alta tensión

Fuente: SectorElectricidad

El ingeniero norteamericano F.W. Peek observó que la aparición del efecto era función del campo superficial, del radio del conductor y de la densidad del aire, desarrollando así, dos modelos matemáticos: cálculo de la tensión crítica disruptiva, que es la ecuación, para la iniciación del efecto corona en la superficie del conductor, y cálculo para la tensión crítica visual (la energía de los iones es tal, que empieza producirse fotones visibles), que es la ecuación (2), el cual se muestra a continuación. [33]

5.3.1 Tensión crítica disruptiva

$$V_d = m_d \cdot \delta \cdot \epsilon_{ra} \cdot r \cdot \ln \frac{D}{r} \quad (2)$$

5.3.2 Tensión crítica visual

$$V_v = m_v \cdot \delta \cdot \epsilon_{ra} \cdot r \cdot \left(1 + \frac{k}{\sqrt{r \cdot \delta}} \right) \ln \frac{D}{r} \quad (3)$$

Dónde:

V_d : Tensión crítica disruptiva (kv / cm).

V_v : Tensión crítica visual (kv / cm).

m_d : 1 para cilindro; 0,98/0,93 hilos comerciales; 0,87/0,83 cables.

m_v : 1/0,93 para hilos; 0,72 para corona parcial cables; 0,82 para corona total.

ϵ_{ra} : Rigidez dieléctrica del aire=21,1 kv/cm.

r : Radio del conductor (cm).

D : Distancia equivalente entre conductores (cm).

$k = 0,308$ para geometría coaxial; 0,301 para conductores paralelos.

δ : Factor de corrección de la densidad del aire y, la obtenemos de:

$$\delta = \frac{3,921 \cdot H}{273 + t} \quad (4)$$

Siendo:

t : Temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$)

H : Presión atmosférica ($\text{cm} \cdot \text{Hg}$)

En caso de mal tiempo:

$$V'_d = 0,8 V_d \text{ (tormenta)} \quad (5)$$

$$V'_v = 6,4 \cdot r \left(1 + \frac{0,815}{\sqrt{r}} \right) \ln \frac{D}{r} \text{ (conductor totalmente mojado)} \quad (6)$$

Las pérdidas se inician con V_d aumentando rápidamente con la tensión; como se indica en la figura 1.

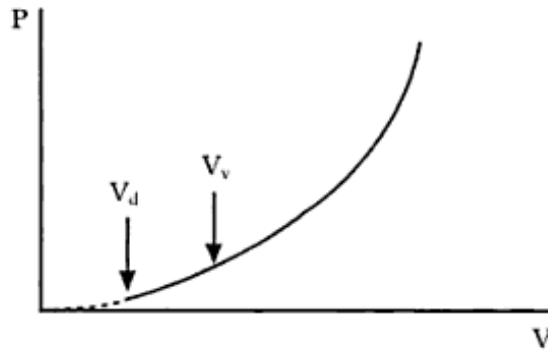


Ilustración 4 pérdidas de voltaje por efecto corona

Fuente: Pérdidas de Voltaje por efecto corona. Transporte de energía eléctrica.
La ecuación de pérdidas por efecto corona que da Peek es la ecuación (7):

$$p = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D}} (V_x - V_d)^2 \cdot \frac{10^{-5} \text{ kW}}{\text{km}} \quad (7)$$

(con mal tiempo, sustituir V_d por $0,8V_d$).

f = frecuencia.

V_x = tensión simple considerada.

Esta ecuación de pérdidas no es válida para valores de V_x próximos a V_d , ya que se obtendría resultados en general demasiado elevados para pequeños conductores y bajos para grandes diámetros.[34]

5.4 Visualización del efecto corona.

Observar el efecto corona es bastante difícil debido a que la radiación que emite es muy débil dentro del espectro Ultravioleta. La emisión de corona en el aire está en el espacio de onda alrededor de 300 a 400 nm, así mismo la energía irradiada por el sol en este campo espectral es mucho mayor que la corona, haciendo que sea invisible para el ser humano. Hay una parte del espectro donde la emisión de corona es más débil y la radiación solar es nula, esta región está entre 240 y 280 nm, la cual se denomina zona de apantallamiento solar o zona ciega a la luz solar; en esta zona se presentan fotocátodos sensibles a longitudes de onda superiores, los cuales permiten con mayor facilidad hacer detección del efecto. [34]

5.4.1 Arco Eléctrico.

También conocido como "arco voltaico" es la descarga eléctrica que se forma debido a un cortocircuito sostenido transportado por el aire. Este es causado por eléctrico entre una parte energizada y otra a otro potencial. Usualmente se produce cuando existe una falla o mala operación en los equipos eléctricos, al ponerse en contacto conductores vivos entre sí o con la tierra, lo que ocasiona un flashover de corriente eléctrica que se extiende a través del aire.[35] El riesgo de este fenómeno se debe a que ocasiona un calor excesivo, una gran explosión, un gran efecto lumínico y una elevada onda expansiva.



Ilustración 5 Arco eléctrico
Fuente: Wikipedia

Entre las precauciones que se deben tener durante la generación de arco eléctrico es el aumento desmedido de la temperatura que puede alcanzar hasta 20.000°C, la capacidad de destrucción es tan alta que es capaz de destruir barras de metales como el cobre y el aluminio. Los niveles de sonido producidos por la frecuencia son superiores a 120dB.

5.4.2 Descargas Parciales. Es un fenómeno de rotura eléctrica que está ubicado en la zona de medio aislante (aire), se disponen dos conductores separados y con diferente potencial sobre cada uno. El campo de descarga puede aumentar o disminuir debido a cambios repentinos en la naturaleza del aislante (Temperatura, presión, etc.), comúnmente es provocado por vacuolas en un material solido o espacios de gas entre las zonas aislantes con un conductor u otro aislante. [36]

Las descargas parciales se pueden caracterizar en tres tipos dependiendo de las propiedades del medio existente entre los electrodos:

Descargas parciales externas: Son aquellas que se producen en los gases cerca de las puntas agudas en el cual la concentración del campo eléctrico es lo bastante alta para provocar ruptura parcial del gas circundante. [37] Ver figura 1(a).

Descargas parciales superficiales: se generan en el momento que existe un componente del campo paralelo a una superficie dieléctrica, como en los extremos de cables. Ver figura 1(b).

Descargas parciales internas: ocurren en oclusiones de baja rigidez dieléctrica, usualmente en cavidades llenas de gas. Ver ilustración 1(c).

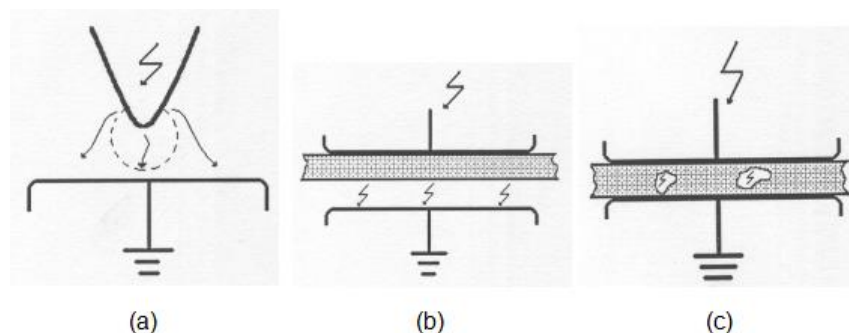


Ilustración 6 Tipos de descargas parciales

Fuente: Descargas parciales pdf.

5.5 Flyback

5.5.1 Funcionamiento.

Transformador especial que, junto con el transistor y circuitos de salida y deflexión horizontal, tiene la función de elevar el voltaje de la fuente de poder, a 10kV a 30 KV DC para actuar sobre un tubo de rayos catódicos (TRC), utilizado en monitores de computador y televisores convencionales.

Suministra, además, en su configuración otras tensiones más bajas para otros circuitos. Contiene un circuito rectificador que transforma los pulsos de alto voltaje en corriente continua que luego el capacitor formado en el TRC filtra.[38] El bobinado es directamente proporcional a la cantidad de voltaje en la salida, es posible generar alto voltaje con una gran cantidad de espiras o con un multiplicador de voltaje conformado por un diodo y un condensador.

Los transformadores Flyback se diferencian del transformador común por el diseño y la aplicabilidad, mientras el Flyback es diseñado para guardar energía en un circuito magnético el transformador común tiene el propósito de transferir energía del primario al secundario con un umbral pequeño de energía almacenada.

El Flyback naturalmente está configurado para que la corriente fluya en su primario o en el secundario, pero nunca en ambos al mismo tiempo. El circuito magnético con el que cuenta un Flyback posee una reluctancia mucho mayor a la de un transformador común debido al espacio de aire calculado para acumular (almacenar) energía. La tensión aplicada a un Flyback en el primario, la mayoría de los casos, son pulsos de onda cuadrada, mientras que los transformadores regulares normalmente tienen entradas de tensión en forma sinusoidal. La corriente que circula en este tipo de transformadores crece o disminuye en forma de diente sierra, mientras que en un transformador regular la corriente fluye en forma sinusoidal. Finalmente, debido a las propiedades de los materiales que conforma el núcleo, el Flyback opera entre los rangos de 1kHz a 1Mhz, es decir tienen la ventaja de contar con mayor espacio de frecuencias que un transformador regular. [39]

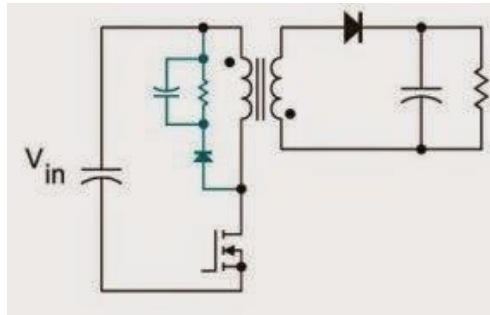


Ilustración 7 Circuito Flyback

Fuente: <https://leifrautn.blogspot.com.co/2014/10/rcd-snubber-para-convertidor-flyback.html>

El entrehierro del núcleo de los transformadores Flyback es utilizado como almacenador de energía, está diseñado como un sistema compacto que disminuye considerablemente la inductancia de fuga, pérdidas en el devanado y pérdidas del núcleo. La inductancia de fuga es la inductancia primaria que no se acopla a la inductancia secundaria.

Es importante mantener la inductancia de fuga lo más baja posible porque reduce la eficiencia del transformador y puede causar picos en el drenaje del transistor. La inductancia de fuga puede verse como parte de la energía almacenada en el transformador que no será transferida al secundario ni a la carga.[40] Esta energía necesita ser disipada en el lado del primario por medio de una red externa Snubber. Cuando el MOSFET está ON, y un voltaje es aplicado en el devanado primario, la corriente primaria incrementa linealmente.

El cambio de la corriente de entrada está determinado por el voltaje de entrada, la inductancia del transformador primario, y el periodo de tiempo ON del MOSFET. Durante este tramo de tiempo, la energía es almacenada en el núcleo del transformador, la salida del diodo D1 está polarizada inversamente y la energía no es transferida a la carga. Cuando el MOSFET está OFF, el campo magnético empieza a reducirse, lo que invierte la polaridad a través del bobinado primario y secundario. [41]

5.5.2 Modo de conducción discontinua

Un convertidor Flyback, como otras topologías, tiene dos modos diferentes de trabajo, continuo y discontinuo. Un circuito diseñado para el modo discontinuo pasará a modo continuo cuando la corriente de salida supere cierto valor. En el

modo discontinuo, toda la energía almacenada en el primario durante el tiempo de ON es completamente transferido al secundario y a la carga antes del siguiente ciclo. También hay un tiempo muerto entre el instante en que la secundaria alcanza cero y el inicio del siguiente ciclo.[39]

5.5.3 Modo de conducción continua

En el modo continuo aún hay energía restante en el secundario al comienzo del siguiente ciclo. El convertidor Flyback puede operar en ambos modos, pero con características diferentes. El modo discontinuo tiene picos de corriente más elevados, por lo que tiene elevados picos de tensión de salida durante el cambio OFF. Por otro lado, tiene una respuesta de carga transitoria más rápida, menor inductancia en el primario, y por lo tanto el transformador puede ser de menor tamaño. El tiempo de recuperación inverso del diodo no es crítico, ya que la tensión directa es cero antes de que el voltaje inverso incida. El ruido producido por las interferencias electromagnéticas es reducido en el modo discontinuo porque el transistor se sitúa en el estado ON con una corriente de colector de cero[41]

5.6 Transistor de potencia

Los transistores de potencia son dispositivos diseñados para resistir las altas tensiones, intensidades y, por lo tanto, las altas potencias a disipar. Su funcionamiento y uso es muy semejante a los transistores de baja potencia, con especialidades de control en corte y saturación o como elementos de conmutación. [42]

Estos transistores se pueden catalogar de manera general en cuatro clases:

- Transistores bipolares de juntura (BJT)
- Transistores semiconductores de metal de óxido de efecto de campo (MOSFET)
- Transistores de inducción estática (SIT)
- Transistores bipolares de compuerta aislada (IGBT)

Un transistor MOSFET de potencia es controlado por voltaje, donde solo requiere de una pequeña corriente de entrada; la velocidad de conmutación es muy alta, ya que los tiempos en los que conmuta están en el orden de los nanosegundos. Es un transistor que tiene tres terminales, los cuales son: fuente (S), drenado (D),

compuerta (G) también posee un problema de descarga electrostática y es difícil protegerlos bajo situaciones de falla por corto circuito.[40]

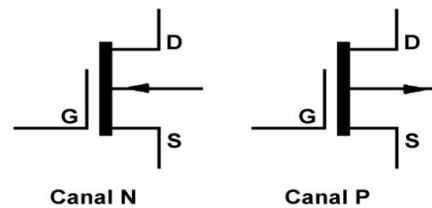


Ilustración 8 Mosfet - Tipo de agotamiento de canal n y canal p

Fuente: Electrónica de Potencia. Circuitos, dispositivos y aplicaciones.

5.6.1 Corriente

Durante la conducción, un MOSFET puede ser modelado como una resistencia controlada por voltaje, llamada $R_{DS(on)}$; esto es posible dado que el voltaje de drenaje a fuente aumenta a partir de cero casi linealmente con la corriente. $R_{DS(on)}$ es el inverso de la pendiente en la curva de la corriente versus el voltaje en conducción, y aumenta levemente con la corriente, según se observa en la curvatura leve de las curvas de voltaje en conducción del MOSFET (figura 1) para un pulso de disparo de 100 μ s, 1 ms y 10 ms. [43]

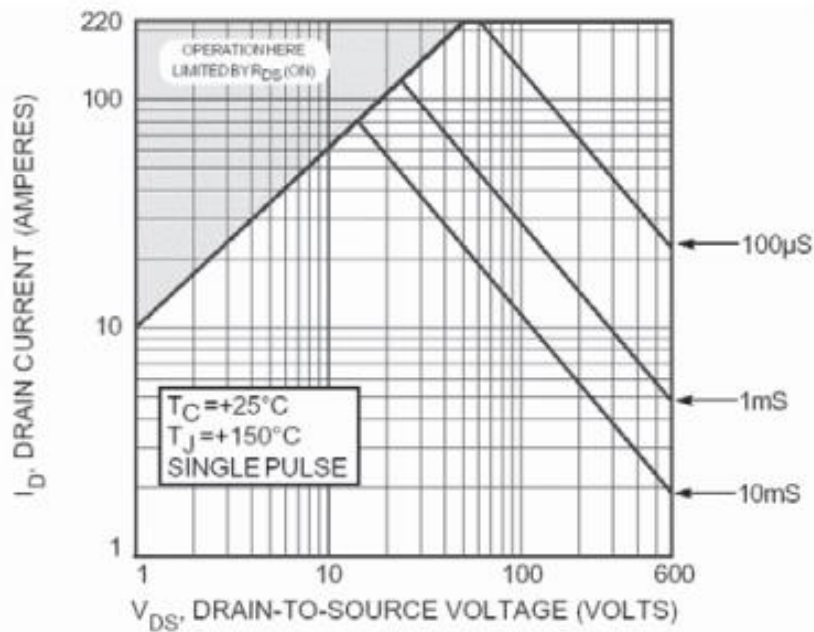


Ilustración 9 Curva de voltaje en conducción versus corriente del Mosfet

Fuente: Advanced Power Technology, hoja de datos técnicos para el MOSFET

5.6.2 Voltaje de compuerta

Para MOSFET, el voltaje en conducción depende del voltaje de compuerta. Con un alto voltaje de compuerta se obtiene un bajo voltaje en conducción a determinada corriente; este efecto es pequeño para los MOSFET de alto voltaje, con voltajes de compuerta significativamente superiores a los nominales, debido a que la sensibilidad de voltaje del canal resistivo es pequeña comparada con la resistencia de la región de drift o región de arrastre

5.6.3 Temperatura.

El voltaje en conducción del MOSFET a 125 °C se incrementa cerca de un 9% es decir, llega a los 9,8 V, mientras que a la misma temperatura y corriente el voltaje en conducción.[43]

5.7 Oscilador

El temporizador IC **555** es un circuito integrado (chip) que se utiliza en la generación de temporizadores, pulsos y oscilaciones. El 555 puede ser utilizado para facilitar retardos de tiempo, como un oscilador, y como un circuito integrado flip flop. Sus derivados facilitan hasta cuatro circuitos de sincronización en un solo paquete.

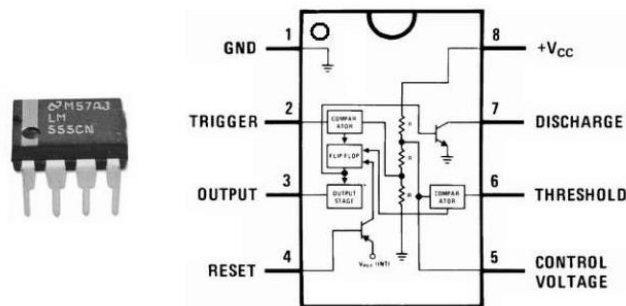


Ilustración 10 Datasheet integrado Lm555

Fuente: Texas Instruments

A pesar de no ser un oscilador electrónico tal y como se ha definido antes, la primera oscilación a tener en cuenta es la producida por un alternador, el cual, al estar compuesto por una espira que gira alrededor de su eje longitudinal en el interior de un campo magnético, produce una corriente eléctrica inducida en los terminales de la espira. Esta corriente eléctrica, si el campo magnético es homogéneo, tiene forma senoidal. Así, si la espira gira a 3000 rpm, la frecuencia de la corriente alterna inducida es de 50 Hz.

En un oscilador electrónico lo que se pretende es obtener un sistema de oscilación que sea estable y periódico, manteniendo una frecuencia y una forma de onda constante. Para ello se aprovecha el proceso natural de oscilación amortiguada que poseen los circuitos compuestos por elementos capacitivos o inductivos. Estos elementos tienen la capacidad de almacenar carga eléctrica en su interior y descargarse cuando la carga que los alimentaba ha desaparecido. [44]

- **GND** (normalmente la 1): es el polo negativo de la alimentación, generalmente tierra (masa).
- **Disparo** (normalmente la 2): Es donde se establece el inicio del tiempo de retardo si el 555 es configurado como monoestable. Este proceso de disparo ocurre cuando esta patilla tiene menos de $1/3$ del voltaje de alimentación. Este pulso debe ser de corta duración, pues si se mantiene bajo por mucho tiempo la salida se quedará en alto hasta que la entrada de disparo pase a alto otra vez.
- **Salida** (normalmente la 3): Aquí veremos el resultado de la operación del temporizador, ya sea que esté conectado como monoestable, estable u otro. Cuando la salida es alta, el voltaje será el voltaje de alimentación (V_{cc}) menos 1.7 V.
- **Control de voltaje** (normalmente la 5): Cuando el temporizador se utiliza en el modo de controlador de voltaje, el voltaje en esta patilla puede variar casi desde V_{cc} (en la práctica como $V_{cc} - 1.7$ V) hasta casi 0 V (aprox. 2 V menos).
- **Descarga** (normalmente la 7): Utilizado para descargar con efectividad el condensador externo utilizado por el temporizador para su funcionamiento.
- **Voltaje de alimentación (VCC)** (normalmente la 8): es el terminal donde se conecta el voltaje de alimentación que va de 4.5 V hasta 16 V.

5.7.1 Esquema de conexión modo astable.

Está conformada por un circuito oscilador, un integrado NE555N, el cual tiene una configuración multivibrador astable, que se caracteriza por tener una salida continua de onda cuadrada a una frecuencia específica deseada. Esta frecuencia varía de acuerdo con el valor de resistencia que entrega un potenciómetro con la

suma de dos resistencias más para ser conectados entre los pines descarga y disparo del integrado.[44]

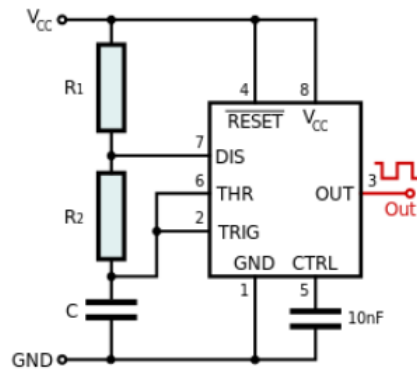


Ilustración 11 Esquema de conexión oscilador

Fuente: Manual de prácticas de laboratorio de osciladores sinusoidales y aplicaciones del circuito integrado 555.

5.8 Microcontrolador

Circuito integrado programable, apto para ejecutar las órdenes inscritas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales efectúan una tarea determinada. [45]Un microcontrolador incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida. Algunas características son:

- Velocidad del reloj u oscilador
- Tamaño de palabra
- Memoria: SRAM, Flash, EEPROM, ROM, etc..
- I/O Digitales
- DAC
- Buses
- UART

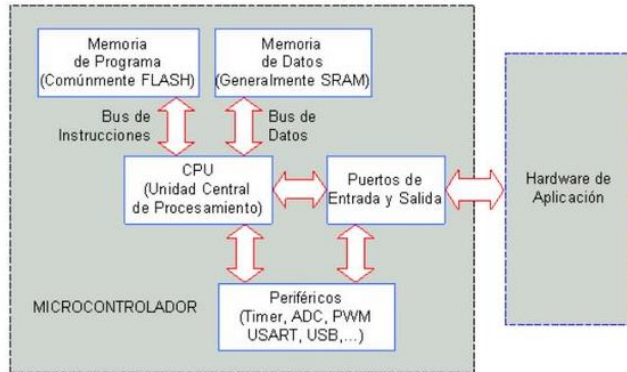


Ilustración 12 Estructura genérica de un microcontrolador
Fuente: Arduino.com

5.8.1 Arduino

Es una plataforma libre de computación de bajo coste basada en una placa de entrada-salida y en un entorno de desarrollo IDE que implementa el lenguaje Processing/WiringHardware.

Hardware: Son los elementos de la placa y en donde se encuentra el circuito impreso instalado el microprocesador, la memoria, las conexiones de entrada y salida y la conexión para el puerto USB.

Comunicación Arduino-Ordenador. Efectúa las instrucciones almacenadas en el programa.

Entradas y Salidas. El microcontrolador toma información de las entradas (read), la procesa y escribe un 1 o un 0 (5v ó 0v) en las salidas (Write), operando sobre el dispositivo que tenemos conectado.[45]



Ilustración 13 Esquema de entradas y salidas
Fuente: Arduino.com

5.9 Instrumentación

5.9.1 Medición de Alto Voltaje.

Por lo general la mayoría de los multímetros o tester solo pueden medir tensiones del orden de los 1000 o 1200 V como máximo. Por eso para poder medir altos voltajes se tiene que utilizar voltímetros electrostáticos o reduciéndolo a través de

divisores resistivos de gran potencia o transformadores para su posterior medición.[46]

5.9.2 Sonda de alto voltaje.

A través de divisores resistivos se puede crear una sonda de alto voltaje, la cual permite reducir en un porcentaje determinado la tensión aplicada, para que pueda ser medida por un voltímetro o multímetro de uso común, como se muestra en la figura 1.

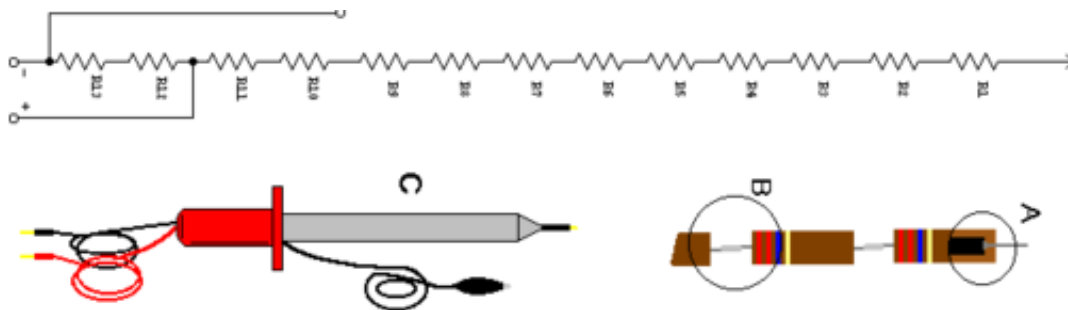


Ilustración 14 Sonda de alto voltaje.

Fuente: <http://www.comunidadelectronicos.com/proyectos/sonda-AV.htm>

5.9.3 Divisores de voltaje.

Es una configuración de circuito que divide la tensión de la fuente en una o más impedancias conectadas en serie. La figura 2 muestra el divisor de voltaje se emplea cuando el voltaje es grande y existe la necesidad de dividir tal voltaje. Con sólo dos resistencias en serie y un voltaje de entrada, se puede obtener un voltaje de salida equivalente a una fracción del de entrada.[47]

Los voltajes y resistencias se calculan utilizando la ecuación (1):

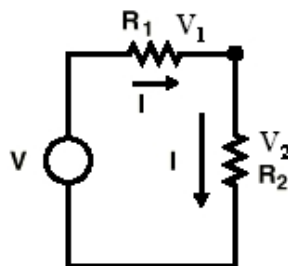


Ilustración 15 Divisor de Voltaje

Fuente: Autor del Proyecto.

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V \quad V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V \quad (1)$$

5.10 Aislamiento

5.10.1 Aislamiento Eléctrico

Cuando se desea manejar tensiones muy altas con valores de tensión bajas o medir esos voltajes elevados, es indispensable tener un medio de protección que aislé la etapa de alta potencia de la etapa de baja potencia. Este aislamiento consiste en una separación física y eléctrica donde se eliminan los circuitos a tierra de dos sistemas eléctricos y tiene como funciones principales prevenir la formación de circuitos a tierra, rechazar el voltaje de modo común y proporcionar seguridad.

Los aislantes eléctricos tienen una conductividad eléctrica demasiado baja que se puede ignorar la corriente que pasa por él. Esta corriente se conoce como corriente de fuga. El vacío es el único aislante perfecto ya que tiene una conductividad nula y no circulan corrientes de fuga por allí. [48]

5.10.2 Aislamiento óptico

Es generalmente utilizado en sistemas de aislamiento digital. Teniendo en cuenta que muchos sistemas digitales controlan a otros sistemas o realizan funciones de control tales que deben ser interconectados a una etapa de potencia, es preferible que entre la etapa de potencia y la digital se utilice un medio de acoplamiento que permita aislar eléctricamente los dos sistemas. [49] Esto se logra utilizando un optoacoplador, mediante el cual se obtiene el acoplamiento óptico como se muestra en la figura 13.

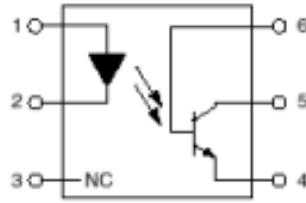


Ilustración 16 Esquema Eléctrico Optoacoplador
 Fuente: <http://www.unet.edu.ve/~ielectro/5-Aislamiento.pdf>

Un optoacoplador une dos dispositivos semiconductores: fotoemisor y fotorreceptor habiendo entre ellos un camino por donde se transmite la luz. La principal ventaja de un optoacoplador es el aislamiento eléctrico entre los circuitos de entrada y salida. Por medio del optoacoplador, el único contacto que existe entre ambos circuitos es un haz de luz. Esto se convierte en una resistencia de aislamiento entre los dos circuitos del orden de miles de mega ohmios.[49] Dichos aislamientos son apropiados en aplicaciones de alta tensión en las que los potenciales de los dos circuitos pueden diferir en varios miles de voltios.

5.11 Disipación del calor.

Debido al tamaño relativamente reducido de los transistores y otros semiconductores de potencia, en general no son capaces de disipar toda la potencia que producen sin calentarse excesivamente, con el consiguiente riesgo de destrucción. Por este motivo es necesario acompañarlos de algún elemento que facilite la eliminación de esa potencia.[50]

El calor se transfiere de una zona del espacio a otra básicamente por tres mecanismos: conducción, convección y radiación. La conducción es la difusión del calor dentro de un medio material sin que haya desplazamiento de materia. Es el mecanismo predominante en los sólidos. Responde a la ecuación:

$$P = -kA \frac{dT}{dx}$$

donde P es la potencia, o calor transferido por unidad de tiempo, K la conductividad térmica, A el área de la sección transversal al flujo de calor, y $\partial T / \partial x$ el gradiente térmico, que en general se supone constante, o se determina a partir de la conservación de potencia. La convección consiste en la propagación del calor por desplazamiento de porciones de materia a distinta temperatura. Es el mecanismo predominante en los líquidos y gases.[50]

El desplazamiento de materia puede realizarse espontáneamente debido a los cambios de densidad que experimenta por variación de temperatura, o puede producirse artificialmente, como al revolver un líquido o utilizar un ventilador. En el primer caso se tiene la convección libre y en el otro la convección forzada. La convección libre desde una lámina a temperatura T_1 al aire a temperatura T_2 es:

$$P = hA(T_1 - T_2)^{1,25}$$

donde h es una constante, A el área de la superficie, y P la potencia o calor transferido por unidad de tiempo. La radiación es la emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas de diversas longitudes de onda. Este mecanismo tiene vigencia en el vacío y en los medios transparentes, como los gases en su mayoría. [51]

La energía radiada por unidad de tiempo desde una superficie a una temperatura absoluta T_1 al ambiente a una temperatura absoluta T_2 es:

$$P = eA\sigma(T_1^4 - T_2^4)$$

donde $\sigma = 5,67 \text{ W}/((\text{m}^2)(\text{K}^4))$, A es el área y e el poder emisivo. El mayor poder emisivo corresponde al cuerpo negro ideal, que tiene $e = 1$. Las superficies blancas y espejadas tienen escaso poder emisivo.

5.11.1 Especificaciones térmicas de semiconductores.

Los fabricantes especifican las características térmicas de sus dispositivos (transistores, diodos, circuitos integrados) a través de diversos parámetros y gráficas. A continuación, se describirán los más frecuentemente encontrados. [51]

a) Potencia máxima P_{\max} a una determinada temperatura ambiente T_a . Este dato se especifica en general para transistores de baja potencia que van a utilizarse sin disipador. b) Curva de depreciación (derating) sin disipador en función de la temperatura ambiente T_a (figura 2) También es un dato típico para transistores de baja potencia. [52]

Esta curva tiene dos zonas. Para $T_a > T_1$ responde a la ecuación

$$P_{\max} = \frac{T_{j\max} - T_a}{R_{Tja}}$$

es decir, representa la potencia que hace que la temperatura de juntura sea la máxima. Para $T_a < T_1$ la potencia queda limitada por la máxima potencia que puede disipar el dispositivo. En lugar de esta curva se suele dar su pendiente, que no es otra cosa que $-1/R_{Tja}$. En general se la expresa en $mW/^\circ C$. [52]

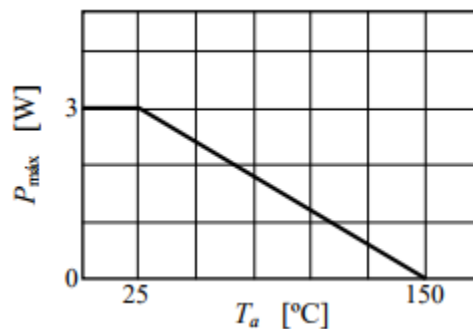


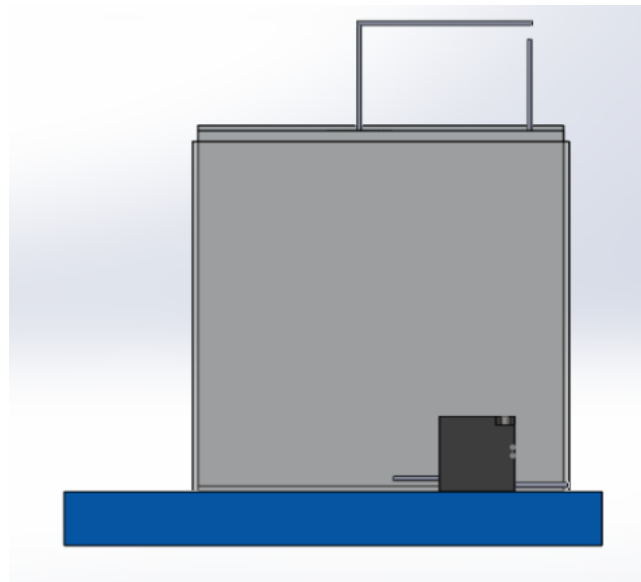
Ilustración 17 Curva de depreciación de la potencia máxima en función de la temperatura ambiente

6. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1 Fase 1. Diseño estructural

6.1.1 Tanque de agua

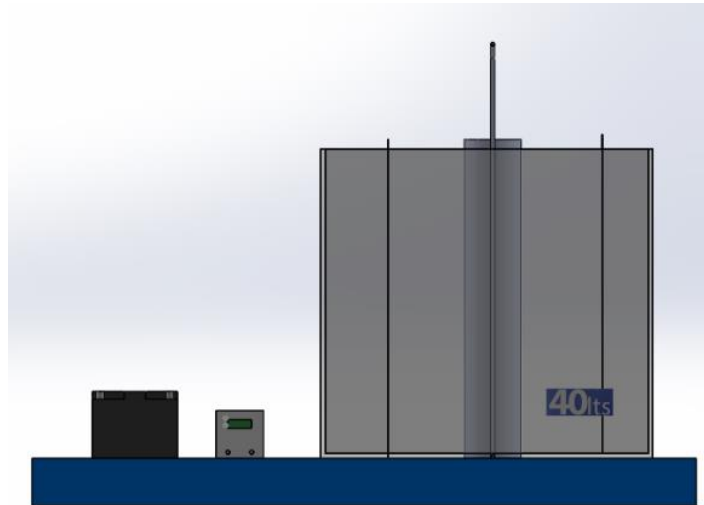
Se diseñó un tanque en material acrílico para el almacenamiento del agua con una capacidad de 30 litros. Tiene una llave para la entrada y otra para la salida del agua que hacen referencia a los otros dos procesos que se están manejando (Electrofloculación y Luz ultravioleta). En este tanque se realizará la inyección del ozono al agua y será distribuida con una bomba de agua sumergible.



*Ilustración 18 Modelo del tanque de agua - Solid Works
Fuente: Autores*

6.1.2 Caja de almacenamiento de ozono

Se diseñó una pequeña caja en material acrílico que tiene como fin acumular el ozono para luego ser distribuido en el tanque de agua. Tiene cuatro cavidades, dos de ellas son para introducir el electrodo y el cable que genera efecto corona y los otros dos para la circulación del aire a ionizar por medio de un pequeño sistema de ventilación compuesto por un motor dc.



*Ilustración 19 Modelo de compartimiento y el tanque - Solid Works
Fuente: Autores*

6.2 Fase 2. Sistema Generador de Arco Eléctrico.

Se diseñó un circuito (control y potencia) que conforma la generación de arco eléctrico, los parámetros que se tuvieron en cuenta son:

- Variación del voltaje en la salida de Flyback
- Configuración adecuada en los parámetros que influyen en la generación (frecuencia, temperatura, resistencia de compuerta).
- Diseño y cálculo de la configuración para la sonda de alto voltaje.
- Visualización del voltaje en la salida del Flyback, cantidad de ozono en ppm y frecuencia utilizada.

Teniendo claro los aspectos que participan en el diseño del circuito, es factible dividir el sistema en etapas que se desarrollarán a continuación:

6.2.1 Etapa 1. Variación de la tensión – Circuito de control

Se realizó un control sobre la salida del voltaje en el Flyback a partir de un oscilador diseñado como multivibrador astable elaborado con un circuito integrado NE555, la salida de este es una señal cuadrada con frecuencia variable controlada por la resistencia de un potenciómetro que se conecta al pin de descarga y disparo del integrado. El rango de frecuencias utilizado está entre 2kHz y 16kHz, por esta razón se escogió el Mosfet capaz de conmutar a frecuencias hasta de 30kHz, así mismo se realizó un circuito de aislamiento entre el circuito de control y el de potencia utilizando un optoacoplador 4n25.

6.2.2 Etapa 2. Circuito de Potencia

La etapa de potencia, ilustrada en la figura 19, está conformada por una señal que viene desde el optoacoplador, una resistencia de activación de 100Ω y una bobina que energiza el Flyback. El transistor Mosfet IRF4550n se configuró de corte y saturación que permite la variación del voltaje en función de la frecuencia de la señal cuadrada que llega al GATE. El propósito de esta etapa es abrir y cerrar el paso entre DRAIN y SOURCE, al tener estas variaciones la reactancia inductiva cambiará de manera proporcional al voltaje, en este caso el Flyback elevará el voltaje hasta los 12Kv.

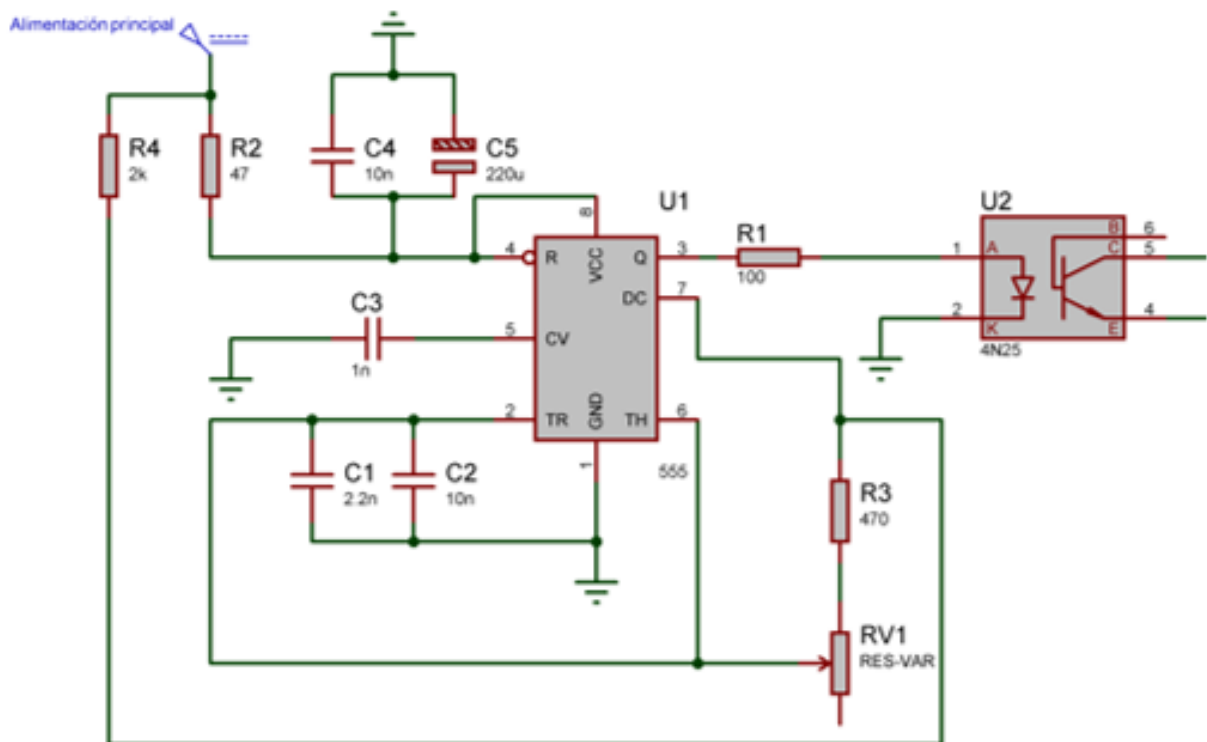


Ilustración 20 Circuito oscilador – NE555
Fuente: Autores

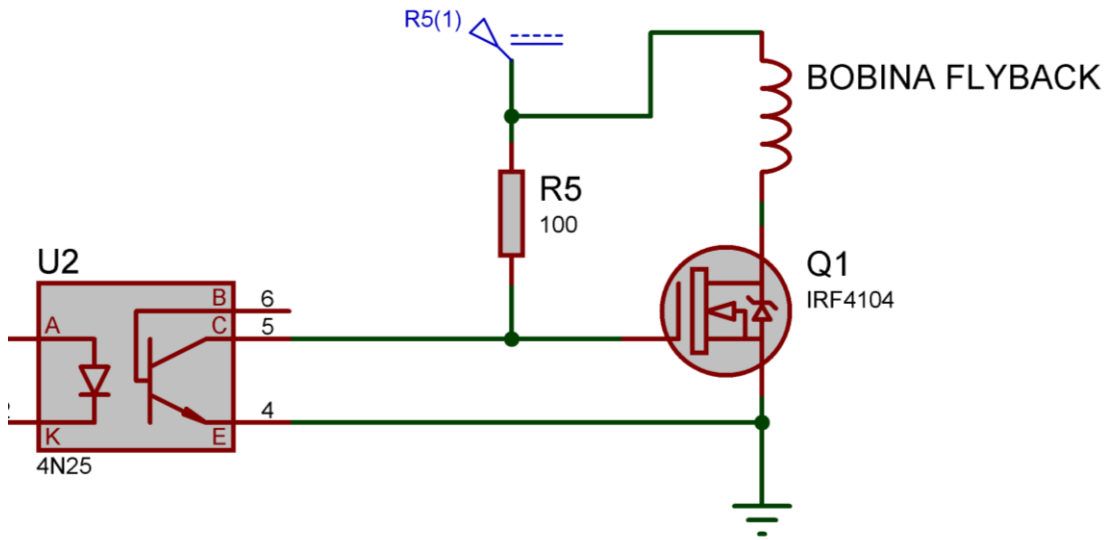


Ilustración 21 Circuito de Potencia
Fuente: Autores

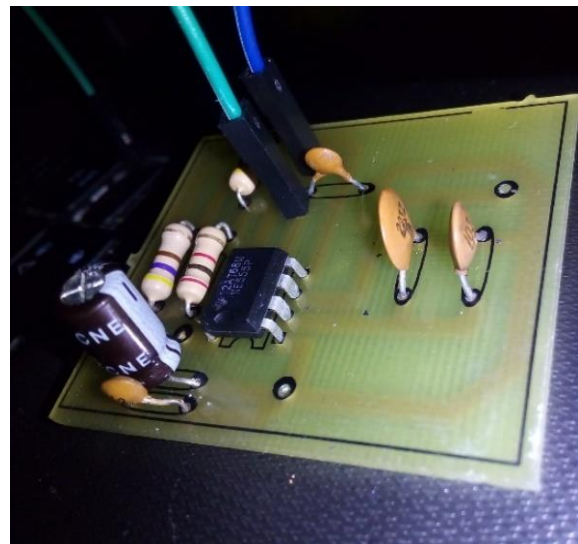
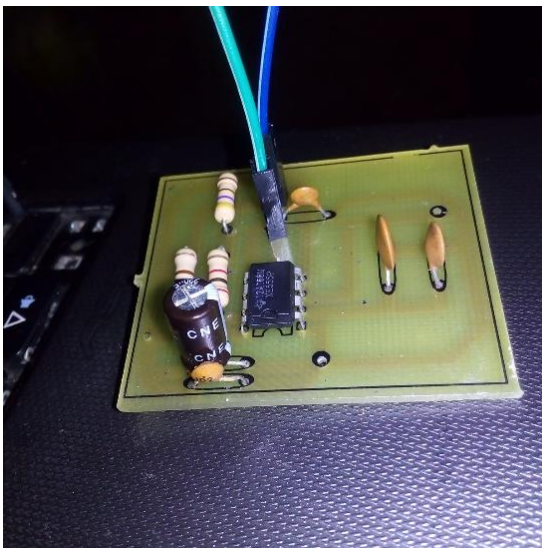


Ilustración 22 Montaje en Baquela
Fuente: Autor

La disipación de temperatura en el Mosfet es un factor muy importante en el buen funcionamiento del sistema, en el transistor hay un paso de corriente mayor a 3 amperios, esto sumado a la frecuencia tan alta en la conmutación genera temperaturas muy altas. Por esta razón fue necesario utilizar un disipador que sea muy superior al siguiente valor calculado:

Rda: Resistencia térmica entre el disipador y el ambiente

Rjc: Resistencia térmica entre la juntura y la carcasa
Rcd: Resistencia térmica entre la carcasa y el dissipador
Tj: Temperatura de la juntura
Ta: Temperatura ambiente
Pd: Potencia disipada

$$Rda \ll \left(\frac{Tj - Ta}{Pd} \right) - Rjc + Rcd$$

$$Rda \ll \left(\frac{150C^\circ - 36C^\circ}{30w} \right) - 0,7c^\circ/w + 1c^\circ/w$$

$$Rda = 1.14^\circ C/W$$

El dissipador tiene una resistencia térmica aproximada de 1.14°C/W

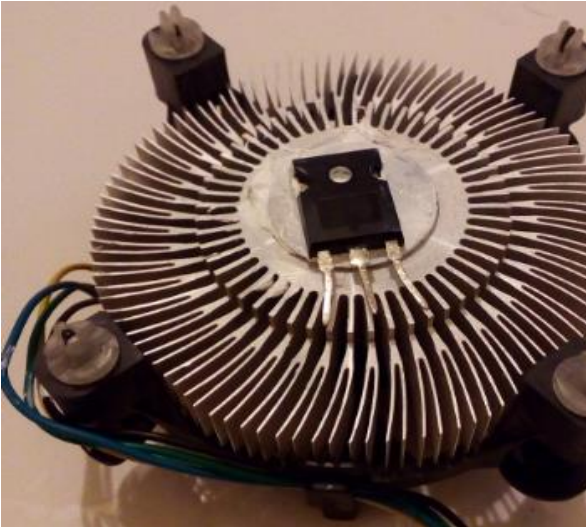


Ilustración 23 Dissipador de temperatura
Fuente: Autores

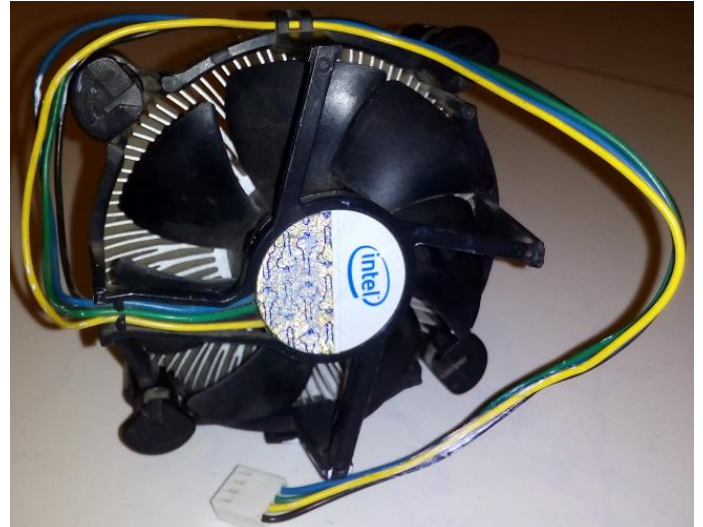


Ilustración 24 Ventilador usado
Fuente: Autores

6.2.3 Etapa 3. Sonda de alta tensión

Está conformado por un divisor de voltaje y un rectificador de media onda como se muestra en la figura 11. El divisor de voltaje se diseñó por una resistencia de 50 mega-ohmios y una de 18 kilo-ohmios. La resistencia más grande se formó con 25 resistencias en serie de 2 mega-ohmios cada una, el rectificador de media onda se realizó con un diodo 1N4148 en serie con un capacitor de 220 nanofaradios. La tierra de la sonda debe estar conectada a la tierra del circuito de potencia. La sonda se realizó con el fin de recibir un voltaje proporcional en el microcontrolador y por ende visualizarlo en una pantalla de cristal líquido (LCD) de 16x2.

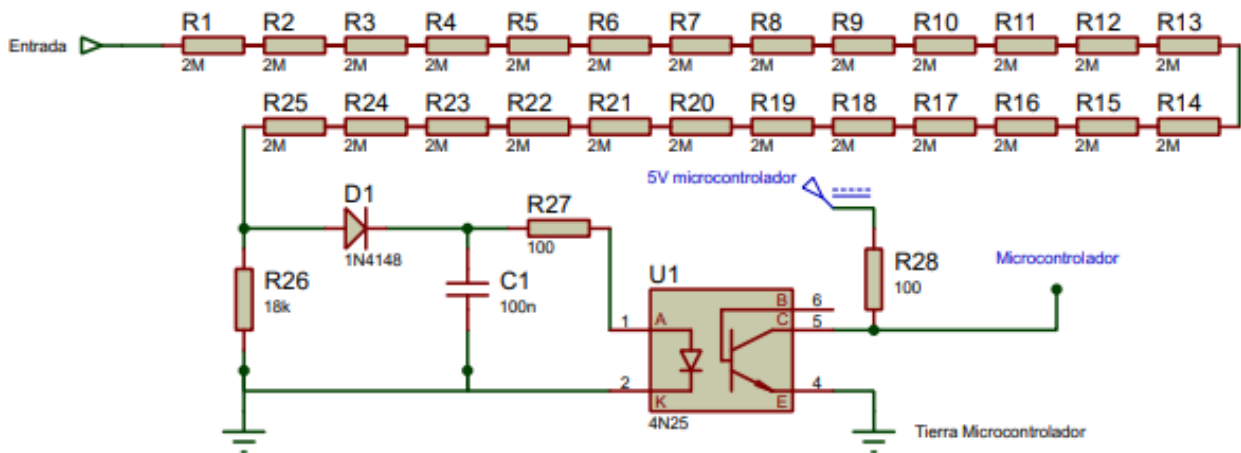


Ilustración 25 Simulación Sonda de alto voltaje
Fuente: Autores

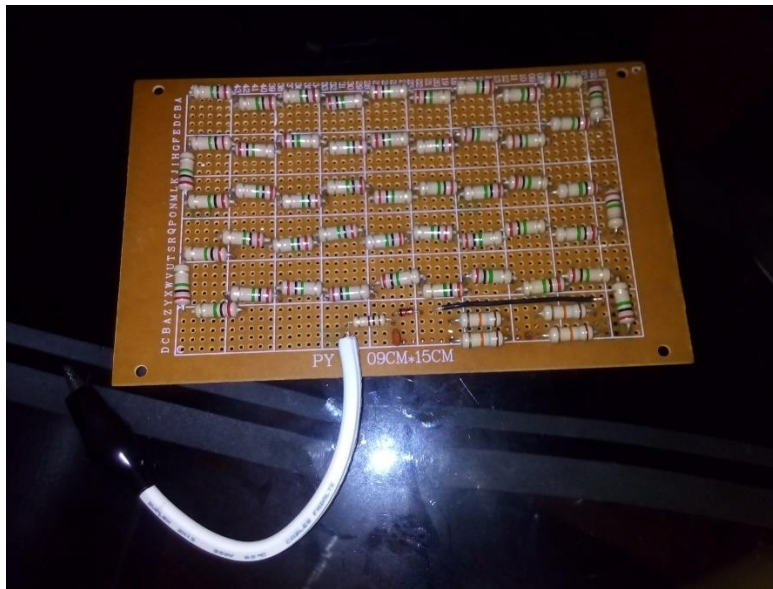


Ilustración 26 Montaje de Sonda de alta tensión
Fuente: Autores

6.2.4 Etapa 4. Prueba de generación de ozono

La medida del ozono inyectado es muy importante para encontrar la relación entre la tensión generada por el arco eléctrico y la cantidad de ozono (ppm), las pruebas se realizaron entre periodos de 5 minutos cada una en el laboratorio de electrónica de la universidad de los llanos que cuenta con una temperatura aproximada de 24° Celsius. El diagrama del sistema es el siguiente:

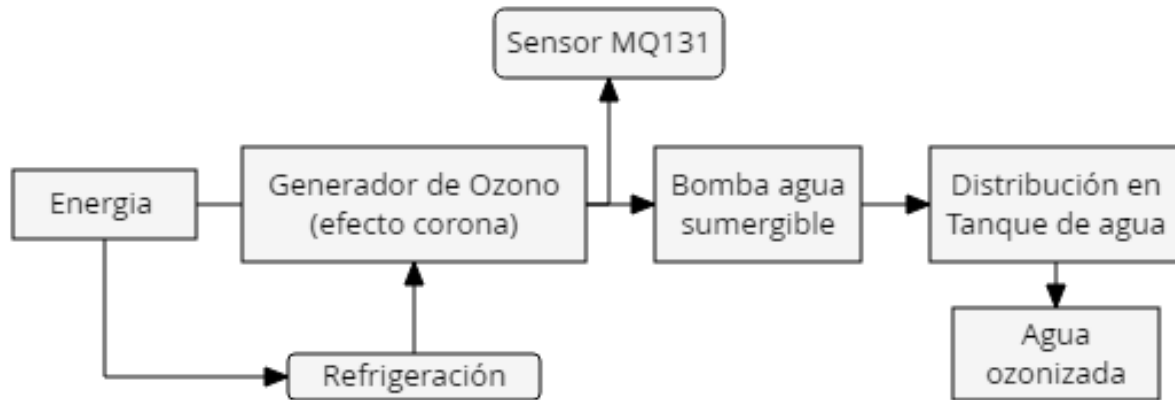


Ilustración 27 Diagrama del sistema generador de ozono
Fuente: Autores

El ozono inyectado se midió a través del sensor MQ 131, los parámetros más importantes se visualizan en la Tabla 1:

Tabla 1 Especificaciones Sensor MQ131

Modelo	MQ131
Tipo de sensor	Semiconductor
Concentración	10–1000 ppm O ₃
Resistencia de carga (R _I)	Ajustable
Resistencia de calentador (R _h)	31Ω ± 3Ω
Resistencia de detección (R _s)	50k Ω - 500k Ω
Sensibilidad	R(air)/R _s (ppmO ₃)

Fuente: Autores

El parámetro más importante para el cálculo es R_s, que se obtiene a partir de la señal en voltios del sensor.

$$V = (\text{Valor análogo} * 5) / 1024$$

A partir de esta ecuación es posible encontrar la resistencia:

$$R_s = (5 - v) / v$$

Según el datasheet, es posible generar una ecuación que relacione la concentración de ozono (O₃) en ppm con R₀/R_s. Partiendo del primer gráfico se obtiene, con un coeficiente de determinación de 1:

$$\log(\text{ppm}) = -1,1428 * (R_0/R_s) + 1,3859$$

$$\text{ppm} = 10^{((-1,1428) * \log(R_0/R_s) + 1,3859)}$$

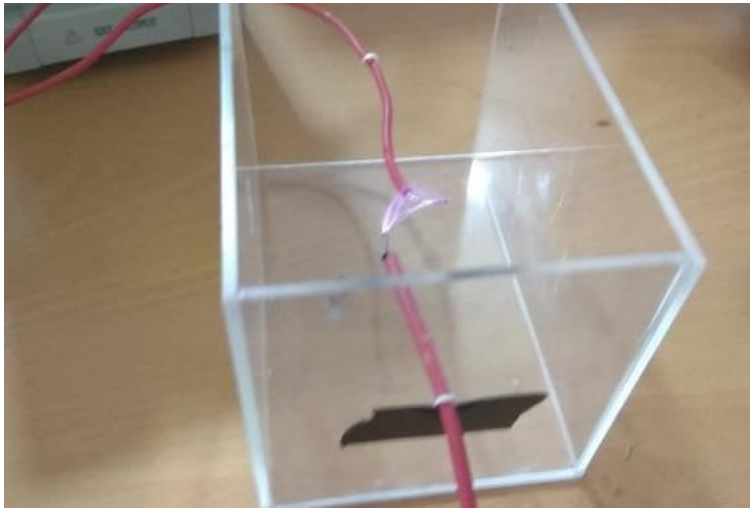


Ilustración 28 Generación de ozono con arco eléctrico, Frecuencia 10 kHz
Fuente: Autores

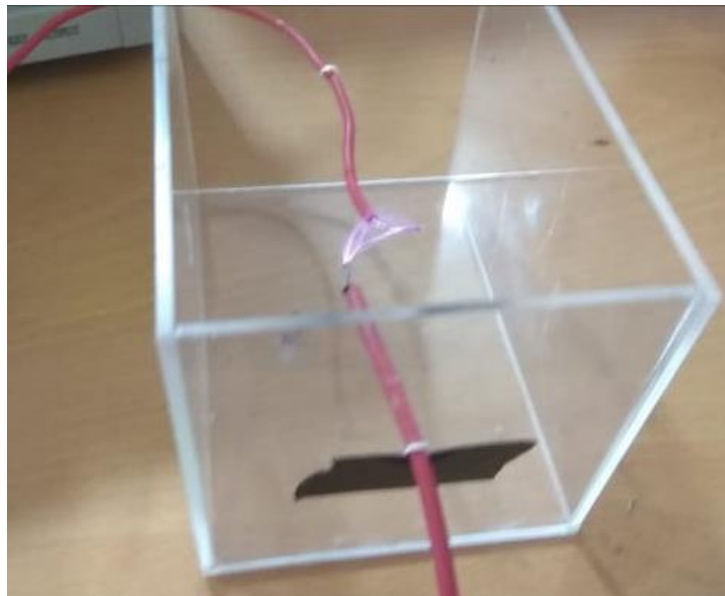


Ilustración 29 Generación de ozono con arco eléctrico, frecuencia a 12kHz
Fuente: Autores

6.3 Fase 3. Pruebas Fisicoquímicas

Con la estructura y los circuitos terminados, se efectuó la medición de variables como la acidez (PH), conductividad (Ec) y solidos totales disueltos (ppm), las cuales tienen relación directa con la potabilización del agua, por esto se decidió verificar el comportamiento ante la presencia de ozono en diferentes cantidades. El instrumento que se empleó para las mediciones fue el HI 9813-6, es un equipo portátil completo, versátil y diseñado a prueba de agua con una precisión alta. Las especificaciones del instrumento son las siguientes:

Tabla 2 Especificaciones Hanna 9813-6

Rango	
pH	0.0 a 14.0 pH
Ec	0.00 a 4.00
TDS	0 a 1999(mg/L)

Resolución	
pH	0.1 pH
Ec	0.01 ms/cm
TDS	1 ppm

Precisión	
pH	± 0.1 pH
Ec	$\pm 2\%$ escala
TDS	$\pm 2\%$ f.s

Fuente: Autores

Las pruebas fisicoquímicas realizadas tienen como objetivo encontrar la relación que existe entre las variables de este tipo y la ozonificación en el agua. El desarrollo se llevó a cabo en el laboratorio de electrónica de la Universidad de los llanos, la cantidad de muestras que se tomaron fue de 16 por cada proceso con una variación del voltaje en el Flyback en función de la frecuencia, indispensable ya que determina la cantidad de ozono en la medición de cada variable, finalmente fueron cuatro procesos distintos que se muestran a continuación:

Tabla 3 Frecuencias en los 4 procesos

Proceso	1	2	3	4
Frecuencia (kHz)	5	10	12	15
Intervalo de tiempo (Min)	15	15	10	10

Fuente: Autores

6.4 Fase 4. Pruebas microbiológicas

El objetivo principal de realizar la ozonificación del agua es el de generar la oxidación necesaria para la destrucción de microorganismos (virus y bacterias) con un potencial aproximado de 2.07 voltios. La universidad de los llanos cuenta con un laboratorio especializado para el análisis microbiológico de diferentes sustancias, en él se realizó el análisis de tres muestras de agua tomadas de un depósito superficial de agua sin tratamiento alguno. En el análisis realizado determina la calidad del agua en relación con la presencia de tres tipos de bacterias:

- Bacterias coliformes totales
- Bacterias coliformes fecales
- Pseudomonas aeruginosa



Ilustración 30 Inyección de ozono en tanque de agua

Fuente: Autores

Cada una de las muestras de agua se tomó en un tiempo aproximado de una hora y con diferente frecuencia cada una, la temperatura ambiente en el lugar fue de 29° Celsius.

Prueba	1°	2°	3°
Frecuencia	10kHz	12kHz	15kHz
Tiempo (min)	60	60	60

*Tabla 4. Frecuencias de trabajo Prueba microbiológica
Fuente: Autores*

El transistor Mosfet que se utilizó tiene entre sus parámetros capacidad reducida para la disipación de potencia, por esto mientras se realizaba a más de 10 kHz fue necesario realizar pausas momentáneas para generar un “descanso” en el componente, debido a que puede producir fallas.

6.5 Fase 5. Resultados

6.5.1 Resultados Pruebas de Circuitos.

Con instrumentos de medición como la sonda de voltaje, el óhmetro y el osciloscopio se realizó la relación entre la tensión, la resistencia y la frecuencia que se muestra a continuación:

<u>Resistencia</u>	<u>Frecuencia</u>	<u>Voltaje</u>
0	2.77	4.4
0.5	2.98	4.8
1	3.02	5
1.5	3.21	5.3
2	3.36	5.6
2.5	3.571	6.2
3	3.788	6.3
3.5	4.02	6.49
4	4.33	6.7
4.5	4.63	7.01
5	5.065	7.4
5.5	5.46	7.6
6	6.048	7.9
6.5	6.7	8.3
7	7.6	8.8
7.5	8.53	10
8	10.09	10.5
8.5	11.72	10.81
9	14.95	11.3
9.5	17.8	11.8

*Tabla 5. Resistencia (Kohm) – Frecuencia (kHz) – Voltaje (kV)
Fuente: Autores*

Como se suponía desde un comienzo el voltaje de salida en el Flyback es directamente proporcional a la frecuencia aplicada en la onda cuadrada del

oscilador, estos datos permiten generar una regresión por medio de la teoría de los métodos numéricos. La medición del voltaje se realizó con una sonda de alta tensión cuya proporción en la salida es de 1000 a 1.

6.5.2 Relación: Frecuencia oscilador – Resistencia

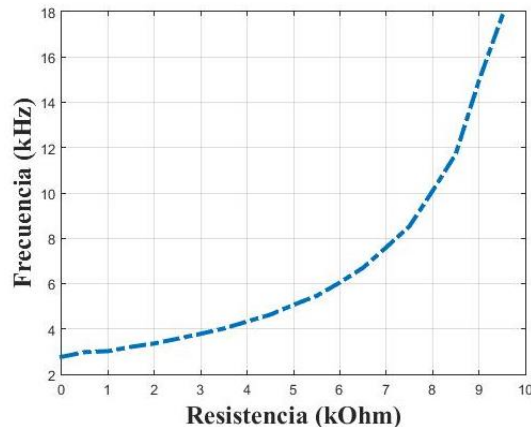


Ilustración 31 Comportamiento de la frecuencia en función de la resistencia
Fuente: Autores

El comportamiento entre la frecuencia y la resistencia es directamente proporcional y tiene una respuesta cuantitativa modelada con una función polinomial de orden 2 tomando la frecuencia como variable dependiente. La ecuación tiene un coeficiente de determinación (R^2) de 0,964.

$$y = 0,2582(x^2) - 1,2447x + 4,5097$$

6.5.3 Relación: Voltaje de salida (Flyback) – Resistencia en alcance máximo

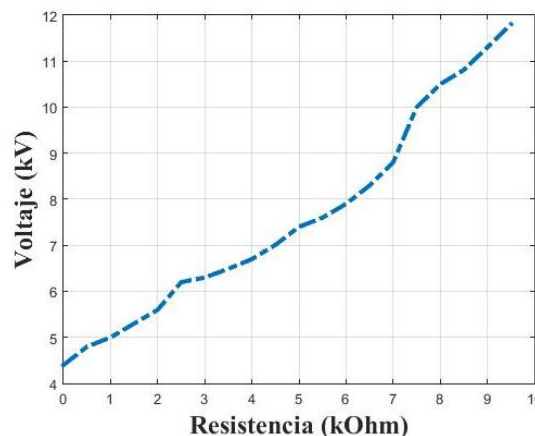


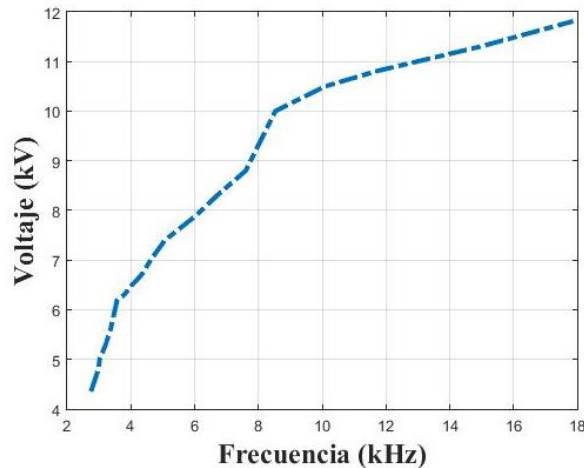
Ilustración 32 Comportamiento del voltaje (Kv) en función de la resistencia (kOhm) del oscilador
Fuente: Autores

La ilustración 32 indica el comportamiento lineal creciente que tiene el voltaje con respecto a la resistencia en el oscilador, por esto se determinó el uso de la regresión lineal con el fin de generar una ecuación estándar en el sistema.

$$y = 0,7546x + 4,0263$$

Como resultado se obtiene un coeficiente de determinación (R^2) del 0,9656.

6.5.4 Relación: Frecuencia del oscilador – Voltaje en la salida (Flyback)



*Ilustración 33 Comportamiento del voltaje de salida en el Flyback y la frecuencia del oscilador
Fuente: Autores*

En La ilustración 33 se observa que el voltaje y la frecuencia son variables directamente proporcionales que pueden ser interpretadas con una regresión polinomial a través de la siguiente ecuación:

$$y = -0,041(x^2) + 1,2774x + 1,7449$$

La ecuación tiene una afinidad del 98.38% en relación con el gráfico de la ilustración 33.

6.5.5 Resultados pruebas fisicoquímicas

Cada prueba se realizó en intervalos de 10 minutos, en total se evidenciaron cuatro procesos distribuidos así (Se eliminó las muestras del PH debido a que la ozonización no afecta dicha variable):

1. Se extrajo agua de un pozo subterráneo de una vivienda aledaña a la universidad de los llanos y se le suministró ozono a una frecuencia de 15kHz, el resultado se evidencia en la tabla 6.

Conductividad	PPM
2.74	97
2.73	92
2.68	90
2.64	89
2.57	81
2.53	82
2.51	78
2.39	81
2.42	79
2.32	78
2.27	79
2.23	69
1.99	74
2.01	68
2.03	69
1.94	72

Tabla 6. Resultados primer proceso -Pruebas Fisicoquímicas

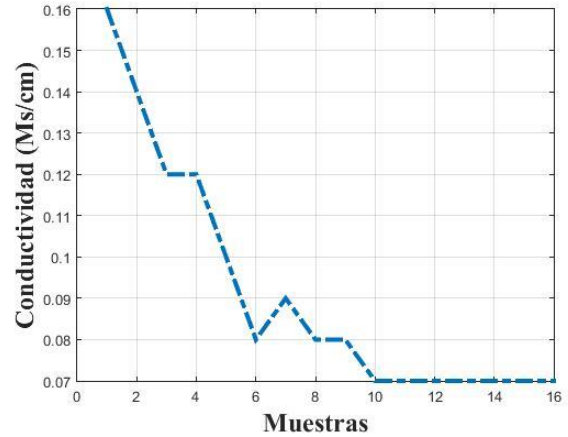


Ilustración 34 Comportamiento de la conductividad ante la presencia de ozono en el agua. Fuente: Autores

Es la ilustración 34 se observa la disminución considerable de la conductividad eléctrica del agua cuando se inyecta ozono en el líquido, después de la décima prueba se logró una constante de 0,07 Ms/cm, esta variable puede ser comparada con la cantidad de solidos disueltos en agua (ilustración 35) debido a que ambas son medidas de actividad iónica.

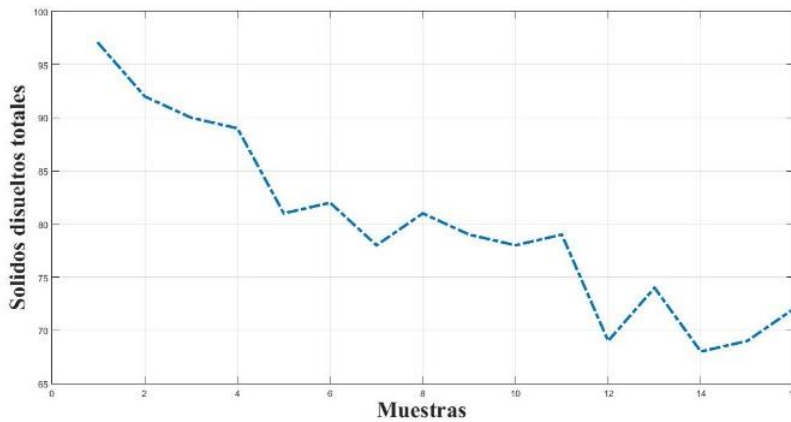


Ilustración 35 Comportamiento de los sólidos disueltos totales ante la presencia de ozono en el agua Fuente: Autores

- La sal de mesa (NaCl) es un electrolítico que al ser disuelta en agua se convierte en iones de cloruro (Cl⁻) y iones de sodio (Na⁺) cada uno de estos cuerpos conduce electricidad, por esta razón se decidió agregar sal al agua de pozo subterráneo ya que este componente mejora la conductividad y aumenta la cantidad de solidos disueltos en el agua, finalmente se inyectó ozono a una frecuencia de 10kHz.

Conductividad	PPM
2.74	1623
2.73	1605
2.68	1611
2.64	1609
2.57	1602
2.53	1607
2.51	1597
2.39	1601
2.42	1594
2.32	1589
2.27	1593
2.23	1582
1.99	1574
2.01	1580
2.03	1558
1.94	1521

Tabla 7. Resultados segundo proceso – Pruebas fisicoquímicas
Fuente: Autores

La conductividad eléctrica (Ms/cm) y los solidos disueltos totales (ppm) durante el proceso disminuyen con respecto al tiempo de inyección de ozono, con los datos se realizaron la regresión correspondiente con el objetivo de encontrar la ecuación del ciclo.

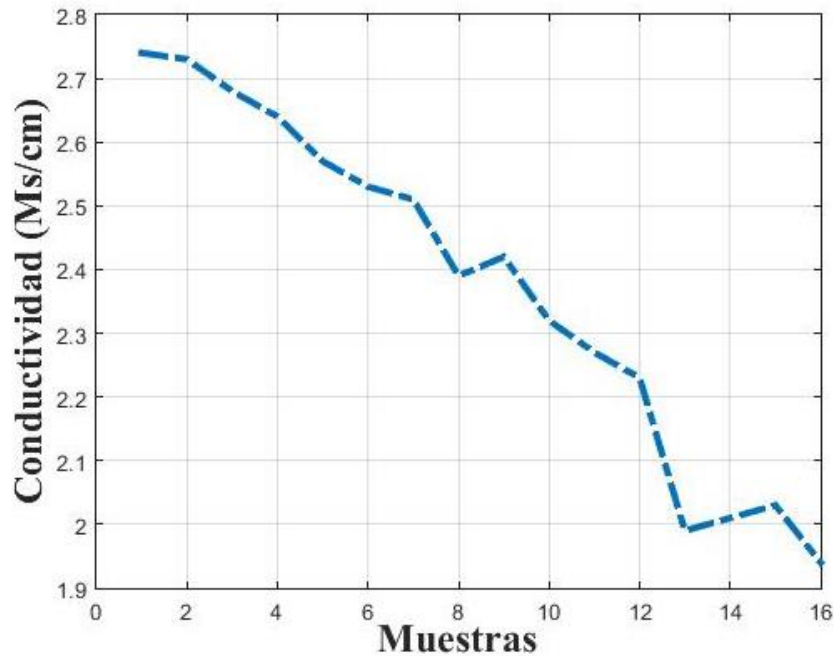


Ilustración 36 Comportamiento de la conductividad ante la presencia de ozono en el agua con sal – 10kHz
Fuente: Autores

Ecuación Característica – Regresión lineal

$$y = -0,0567x + 2,8568$$

$$R^2 = 0,9667$$

Los datos obtenidos y reflejados en las ilustraciones 36 y 37 explican la disminución de la conductividad eléctrica y la cantidad de solidos disueltos. Fue necesario realizar una regresión lineal (Conductividad) y polinómica (TDS) con el propósito de encontrar las ecuaciones que relacionen las variables.

La ilustración 36 registra la atenuación del valor de conductividad eléctrica en el agua en aproximadamente un 29%, esto quiere decir que la concentración de sales se redujo debido a la eliminación de los iones con carga negativa y positiva.

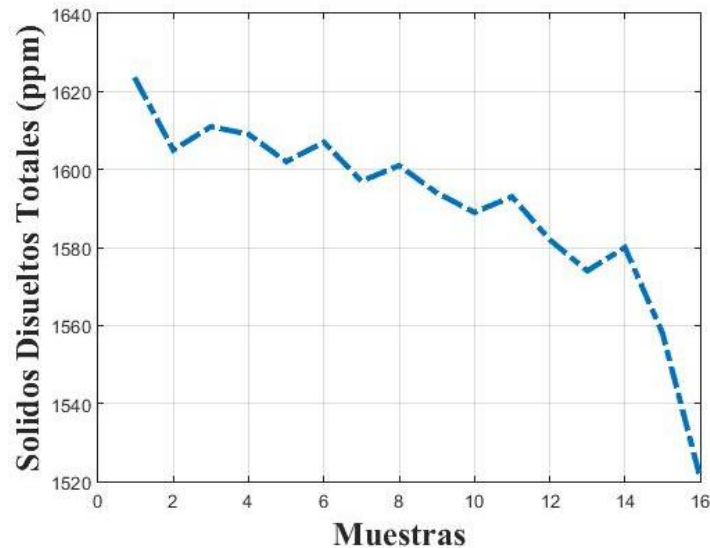


Ilustración 37 Comportamiento de la cantidad de solidos disueltos totales ante la presencia de ozono en el agua - 10kHz
Fuente: Autores

Ecuación característica – Regresión polinómica

$$y = -0,4002x^2 + 2,3359x + 1607,9$$

$$R^2 = 0,8607$$

La ilustración 37 evidencia una depreciación en la cantidad de solidos disueltos totales formados por la solución de agua con sal (NaCl), los electrolitos fuertes que se convierten en iones se reducen al ser oxidados cuando reaccionan con el ozono, si se observa las propiedades iniciales de la muestra (1623 ppm TDS) se logró disminuir en aproximadamente 100 partes por millón durante el proceso mediante el uso de la frecuencia de 10kHz.

3. Aplicando la misma cantidad de sal se aumenta la frecuencia de trabajo a 12kHz.

Conductividad	PPM
2.92	1528
3.01	1531
2.89	1523
2.84	1529
2.79	1514
2.82	1504
2.78	1508
2.61	1502
2.61	1486
2.42	1482
2.58	1469
2.53	1472
2.32	1453
2.13	1462
1.83	1464
1.92	1453

Tabla 8. Resultados tercer proceso – Frecuencia 12kHz
Fuente: Autores

Según la ecuación característica del voltaje en función de la frecuencia, es posible deducir que el voltaje generado a partir de 12 kHz es 11kV que en un total de 16 muestras se redujo la conductividad en 1.1 mS/cm. (Ilustración 38)

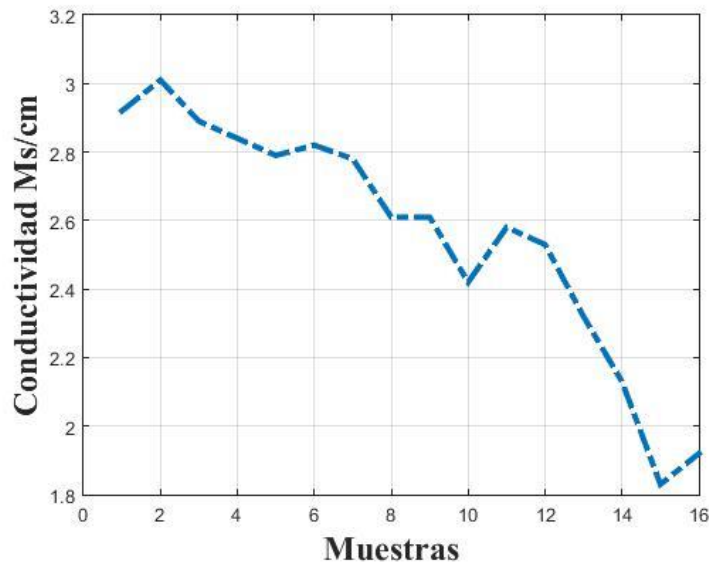


Ilustración 38 Comportamiento de la conductividad ante la presencia de ozono en el agua con sal – 12kHz
Fuente: Autores

Ecuación característica – Regresión polinómica:

$$y = -0,0046x^2 + 0,0083x + 2,9217$$

$$R^2 = 0,9363$$

La ilustración 39 demuestra la reducción de los sólidos totales disueltos que se componen de metales pesados como el plomo, cromo, cobre y selenio. La reducción de partes por millón se da en un 6% aproximadamente.

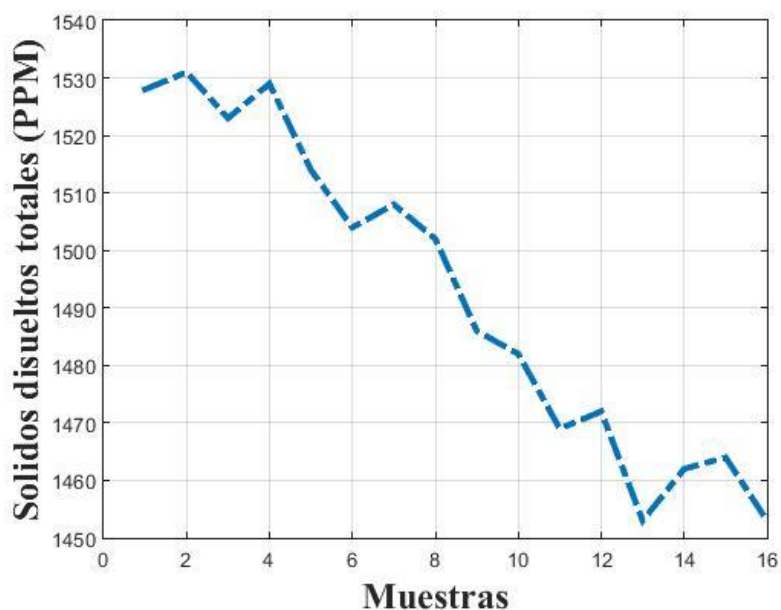


Ilustración 39 Comportamiento de la cantidad de sólidos disueltos totales ante la presencia de ozono en el agua – 12kHz
Fuente: Autores

Ecuación característica – Regresión Lineal

$$y = -5,7559x + 1541,4$$

$$R^2 = 0,9451$$

4. Se aumentó la frecuencia de ciclo a 15kHz (frecuencia máxima)

Conductividad	PPM
3.42	1691
3.42	1673
3.39	1662
3.4	1656
3.35	1649
3.25	1658
3.16	1630
3.13	1635
2.92	1637
2.69	1596
2.63	1573
2.56	1581
2.63	1573
2.47	1556
2.52	1527
2.54	1532

Tabla 9. Resultados cuarto proceso – Frecuencia 15 kHz
Fuente: Autores

Aplicando una frecuencia de 15kHz se tiene a la salida del Flyback una salida de aproximadamente 12kv, en la ilustración 40 la reducción de la conductividad eléctrica del agua es de más del 27% en un tiempo cercano a los 90 minutos.

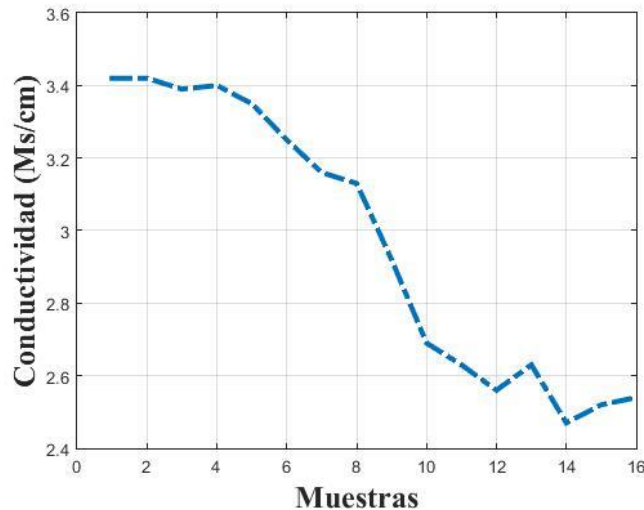


Ilustración 40 Comportamiento de la conductividad ante la presencia de ozono en el agua con sal – 15kHz
Fuente: Autores

Ecuación característica – Regresión lineal – Conductividad en presencia del ozono (frecuencia 12kHz)

$$y = -0,0768x + 3,62$$

$$R^2 = 0,924$$

La ilustración 41 se puede interpretar como un aumento en la eliminación de los metales presentes en el agua de un 7% utilizando 12kHz a un 10% con una frecuencia de 15kHz.

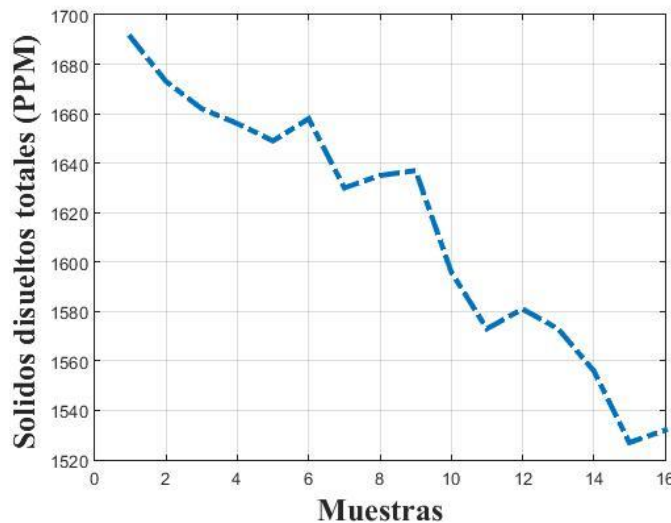


Ilustración 41. Comportamiento de la cantidad de solidos disueltos totales ante la presencia de ozono en el agua – 15kHz
Fuente: Autores

Ecuación característica – Regresión lineal

$$y = -10,584x + 1704,3$$
$$R^2 = 0,9452$$

6.5.6 Resultado Pruebas Microbiológicas

Las muestras de agua se realizaron el día 20 de noviembre del 2017, se utilizó agua de un pozo ubicado cerca de la Universidad de los llanos, la temperatura ambiente del día de muestreo era de 29° Celsius y se obtuvieron los siguientes resultados:

Muestra de entrada:

Resultado de microorganismos aeróbicos	< 630 ufc/ml
Resultado de coliformes totales	< 39/100ml
Resultado de coliforms fecales	<39/100 ml
Resultado de Pseudomonas aeruginosa	No aplica

Muestra de Salida:

Resultado de microorganismos aeróbicos	< 500 ufc/ml
Resultado de coliformes totales	< 9.1/100ml
Resultado de coliforms fecales	<9.1/100 ml
Resultado de Pseudomonas aeruginosa	No aplica

Observaciones: Agua apta para el consumo humano
Análisis garantizado solo para esta muestra

La eliminación de microorganismos aeróbicos es notoria, se redujo la cantidad en un 20% de su valor inicial.

Los coliformes (fecales y totales) se reducen en un 77% de su valor inicial, este dato es de vital importancia debido a que son patógenos que causan diarrea, vomitos, disentería o hasta polio y hepatitis.

6.5.7 Cantidad de ozono producido en partes por millón PPM

Voltaje	Ozono
4.4	0.027
4.8	0.027
5	0.028
5.3	0.03
5.6	0.03
6.2	0.03
6.3	0.03
6.49	0.031
6.7	0.03
7.01	0.032
7.4	0.034
7.6	0.035
7.9	0.035
8.3	0.04
8.8	0.05
10	0.051
10.5	0.053
10.81	0.053
11.3	0.055
11.8	0.056

Tabla 10. Relación voltaje producido por el Flyback y el ozono generado.
Fuente: Autores

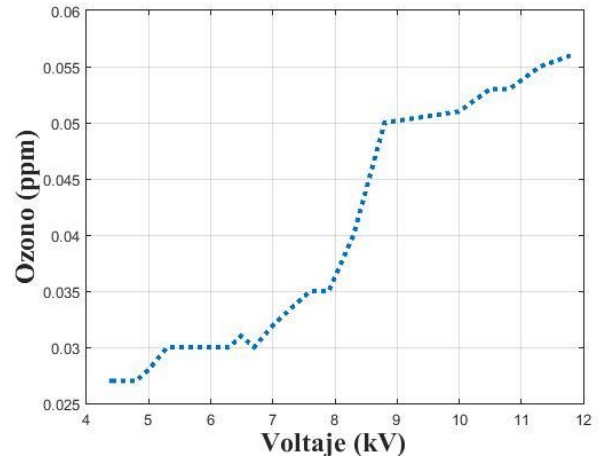


Ilustración 42. Comportamiento del voltaje generado por el Flyback y el ozono producido por el arco eléctrico
Fuente: Autores.

Se obtuvo en la linealización de la curva, con un coeficiente de determinación del 0,92, la siguiente ecuación:

$$y = 0,0045x + 0,0034$$

La inyección del ozono varía constantemente por variables como densidad, temperatura y presión que modifican los valores de ozono generados por el arco eléctrico y leídos por el sensor MQ131.

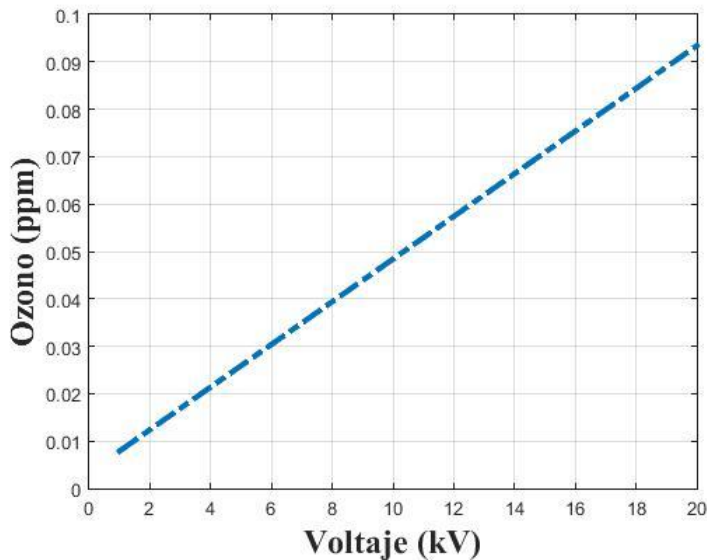


Ilustración 43. Comportamiento de la cantidad de ozono en relación con el voltaje generado linealizado.
Fuente: Autores

7. ANALISIS

En un principio, el mecanismo para la formación del arco eléctrico era por medio de una bobina de ignición, ya que también es un transformador especial que cuenta con un devanado común al lado primario y secundario, al hacer las pruebas suficientes con el oscilador y circuito de potencia, logramos observar que el voltaje de salida entregado no era lo suficientemente alto como para generar ozonización ya que los valores máximos de tensión se aproximaban a los 3000 voltios y la ionización del aire se veía limitada. El Flyback es un transformador con mejores índices en el trabajo, funciona como un inductor puro debido a que está diseñado para guardar energía en su circuito magnético, el voltaje que puede entregar según la frecuencia y voltaje de la onda cuadrada puede alcanzar los 20.000 voltios, por esto se decidió realizar un cambio en el transformador.

La instalación adecuada y el tipo de material de los electrodos son de suma importancia ya que nos garantiza el suministro de voltaje necesario para la formación del arco eléctrico, los primeros electrodos se construyeron en un material tipo aluminio en forma de malla con el inconveniente de que al generar el arco eléctrico sobre ellas no resistieron la potencia, tanto, así como para llegar al punto de fusión. Se modificó la estructura añadiendo dos conectores de Taser eléctrico, con el objetivo de que la potencia creada para romper la rigidez dieléctrica no afecte directamente el material.

Además, fue necesario regular la temperatura en el Mosfet con el propósito de que el sistema tenga una vida útil mucho mayor, se acopló un disipador para todo el transistor y se conectaron los terminales por medio de caimanes con un calibre de cable de 18AWG, el arco generado era menor al esperado y por esto se cambió por un calibre de 14AWG mejorando la circulación de la corriente y obteniendo una mejor respuesta por parte del sistema. La respuesta del MOSFET y su control fue el adecuado, no se evidencio problema alguno con su modo de operación.

El mecanismo de inyección del ozono presento algunas complicaciones, ya que no contamos con un extractor de mayor potencia haciendo que el proceso de flujo del ozono se demorara un poco más. La generación de ozono estuvo en el punto indicado, logrando un rango entre 0.023 y 0.056 ppm concentrado en el sistema.

El análisis fisicoquímico arrojó resultados interesantes, por ejemplo, el ozono redujo significativamente la cantidad de solidos disueltos totales en el agua, es decir que el proceso de oxidación de aquellos compuestos inorgánicos (Hierro, metales pesados, manganeso) fue efectiva. Así mismo se evidenció una disminución en la conductividad eléctrica que tiene una relación con los compuestos inorgánicos distribuidos en el agua.

El análisis microbiológico arrojó resultados interesantes, las bacterias que se analizaron pueden causar patógenos y son muy influyentes en la calidad del agua, para las muestras realizadas se evidenció una disminución de organismos

aeróbicos a solo 30 ufc/100ml es decir 30 unidades formadoras de colonias en 100 mililitros de agua.

8. CONCLUSIONES

- El ozono es un oxidante muy fuerte, se evidenció en la prueba de sólidos disueltos totales ya que al inyectar con ozono el agua, a medida que transcurría el tiempo las partes por millón disminuían, esto quiere decir que los materiales inorgánicos como hierro, manganeso, metales pesados, entre otros, sufren el proceso de oxidación.
- La cantidad de ozono permitida en el uso doméstico es máxima de 0,050 ppm, el sistema suministra un rango superior a dicho límite, por esto es necesario realizar una modificación en el circuito oscilador.
- Los parámetros de diseño fueron muy significativos en la elección de materiales y obtención de fórmulas para cálculos de la construcción del generador de ozono, desde su etapa inicial hasta su período de automatización y funcionamiento.
- El tiempo de funcionamiento del generador construido está entre los 35 y 40 minutos, ya que se requiere preservar los componentes internos evitando sobrecalentamientos, y porque los resultados mostraron que se logró un rango entre 0.023 y 0.056 ppm de ozono concentrado en el sistema.

8. Referencias.

- [1] “SUBSECRETARIA NACIONAL DE PROMOCIÓN DE LA SALUD E IGUALDAD Instructivo para la Gestión Integral de Desechos con contenido de Mercurio en los Establecimientos de Salud Quito – Ecuador Contenido,” 2015.
- [2] M. Romero, “Tratamientos Utilizados En La Potabilización De Agua,” *Bol. Electron. Fac. Ing. - Univ. Rafael Landívar*, no. 8, pp. 1–12, 2008.
- [3] A. Galves C, G. Aponte M, D. F. Echeverry I, M. I. González M, and D. A. Cardona Z, “Evaluación del funcionamiento de un Generador de Ozono a escala piloto en la desinfección de agua para consumo humano,” *Ing. y Compet.*, vol. 7, pp. 65–72, 2005.
- [4] U. Nacional, D. E. L. Centro, D. E. L. Perú, and M. C. O. N. Ozono, “ASESOR : Ms . VILCA MORENO , Orlando,” 2012.
- [5] H. Ramírez and J. Jaramillo, “Agentes Naturales como Alternativa para el Tratamiento del Agua,” *Rev. Fac. Ciencias Básicas*, vol. 11, no. 2, p. 136, 2016.
- [6] M. Janet *et al.*, “Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos Emerging contaminants in waters: effects and possible treatments Contaminantes emergentes em águas, efeitos e possíveis tratamentos,” *Prod. + Limpia*, vol. 7, no. 2, pp. 52–73, 2012.
- [7] J. D. Catasús, J. B. Portelas, and A. H. Garcés, “Calibración de modelos matemáticos de calidad de agua para valorar el impacto de estrategias de saneamiento del río ‘Almendares,’” *Rev. CENIC. Ciencias Químicas*, vol. 36, no. 2, pp. 98–105, 2005.
- [8] G. Vidal and H. Mansilla, “Avanzada Para El Tratamiento De Una Corriente De,” no. May 2017, pp. 9–13.
- [9] X. Domènech, W. F. Jardim, and M. Litter, “Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea,” *Procesos Av. oxidación para la Elimin. Contam.*, pp. 7–34, 2001.
- [10] I. Fernández-torres *et al.*, “Actividad antimicrobiana de los subproductos generados por la reacción del ozono con los microorganismos,” *Rev. CENIC. Ciencias Biológicas ISSN*, vol. 41, no. 2, pp. 121–125, 2010.
- [11] J. Forero, O. Ortiz, and F. Rios, “Aplicacion de Procesos de Oxidacion Avanzada como tratamiento de fenol en aguas residuales industriales de refineria,” *Ciencia, Tecnol. y Futur.*, vol. 3, pp. 97–109, 2005.
- [12] M. O. Bataller and L. A. Fernández, “Eficiencia y sostenibilidad del empleo del ozono en la gestión de los recursos hídricos,” vol. 26, no. 1, pp. 85–95, 2010.

- [13] A. G. Myers, "Control in Small Systems," no. C, 1990.
- [14] I. E. El-seesy, M. Kamel, N. Khattab, and S. A. Hassan, "Solar Disinfection of Drinking Water with Polyethylene Terephthalate Bottles Coated with Nano-Titanium Dioxide," vol. 6495, no. 7, pp. 76–79, 2016.
- [15] L. Franken, "The Application of Ozone Technology for Public Health and Industry," no. November, pp. 1–16, 2005.
- [16] M. D. E. Transferencia, D. E. L. Conocimiento, I. V Cant, P. Del, and E. Completo, "Universitat d'Alacant Universidad de Alicante IU Universitat d'Alacant Universidad de Alicante," 2014.
- [17] G. L. Pedro, "Generador de ozono por efecto corona para fines germicidas basado en un micro controlador con PWM," *Researchgate*, no. May, 2016.
- [18] E. Véliz Lorenzo, J. G. Llanes Ocaña, L. A. Fernández García, and M. Bataller Venta, "Evaluación de la eficiencia de los procesos de coagulación-floculación y ozonización a escala de laboratorio en el tratamiento de aguas residuales municipales," *Rev. CENIC. Ciencias Químicas*, vol. 41, no. 1, pp. 49–56, 2010.
- [19] "No Title," pp. 5–7.
- [20] P. Plaza, E. Bobillo, E. Costa, and J. Usall, "Eficacia del ozono en la desinfección de agua en centrales hortofrutícolas revista artículo," pp. 34–40, 2007.
- [21] D. Grisales, "Implementacion de ozono como tratamiento en aguas de origen hospitalario," 2012.
- [22] O. Del and A. Trimetoprim, "Evolución De La Toxicidad Durante La Degradación Ozonation of the Antibiotic Trimethoprim : Toxicity Evolution During the Degradation," vol. 76, no. 2, 2010.
- [23] Franken L., "The application of ozone technology for public health and industry," p. 16, 2005.
- [24] J. Carlos and P. Correa, "Informe final de trabajo de grado," 2013.
- [25] T. Fujishima, T. Kawaguchi, T. Amano, and T. Yamashita, "Ozone Generation Properties of Screw-type Electrode Ozonizer by Divided Outer Electrodes," *Proc. 3rd Int. Conf. Electr. Electron.*, vol. 3, no. Eeic, pp. 311–314, 2013.
- [26] Liangji Xu, "Full-Text," *Mundo Alimenatrio*, p. 13, 2008.
- [27] H. Kamihata *et al.*, "Implantation of bone marrow mononuclear cells into ischemic myocardium enhances collateral perfusion and regional function via side supply of angioblasts, angiogenic ligands, and cytokines," *Circulation*, vol. 104, no. 9, pp. 1046–1052, 2001.
- [28] Á. Llerena, R. Castaño, and C. Joaquín, "Relación De La Concentración Y

Frecuencia De Aplicación De Ozono Con El Nivel De Daño De La Sigatoka Negra En Banano. Diseño De Un Protocolo De Riego Con Agua Ozonificada,” *Alternativas*, vol. 16, no. 2, pp. 66–75, 2015.

- [29] T. Rodriguez, D. Botelho, and E. Cleto, “Tratamiento de efluentes industriales de naturaleza recalcitrante usando ozono, peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta,” *Rev. Fac. Ing.*, no. 46, pp. 24–38, 2008.
- [30] A. M. Almaguer, B. Á. Sartorio, I. A. Adeath, L. C. F, H. C. Guldberg, and L. S. Conzález, “Ciencia y Mañana,” vol. III, no. August, 1999.
- [31] D. Menéndez *et al.*, “Ozonizador Para Uso Terapeutico Ozomed 401,” vol. 5, no. c, 2001.
- [32] J. Rincón, “Pruebas Con Un Prototipo De Levitador Electrodinámico Experiments With an Electrodinamic Lifter Prototype,” vol. 164, pp. 12–7353, 2010.
- [33] Departamento de Ingeniería Eléctrica, “Análisis de Sobretensiones Transitorias Debidas a la Energización de Líneas de Transmisión Multiconductoras (PDF Download Available),” no. May, 2006.
- [34] E. S. D. E. Ingenier and C. Secci, “Instituto Politécnico Nacional,” 2008.
- [35] F. Issouribehere, J. L. Agüero, and P. E. Battaiotto, “Diseño de un STATCOM para la mitigación del flicker producido por hornos de arco eléctrico,” *XII ERIAC - Encuentro Reg. Ibero-americano del CIGRE*, pp. 1–8, 2007.
- [36] “6 Montaje de la prueba de descargas parciales como tecnica para el.pdf.” .
- [37] C. E. Flores, “Soldadura al Arco Eléctrico SMAW,” no. 8, p. 12, 2009.
- [38] R. Erickson, M. Madigan, and S. Singer, “Design of a simple high-power-factor rectifier based on the flyback converter,” *Fifth Annu. Proc. Appl. Power Electron. Conf. Expo.*, no. February 2014, pp. 792–801, 1990.
- [39] J. G. Lin, “L J (? V 9 O 1 J - d),” vol. 1, no. 12, 2005.
- [40] D. Hisamoto, J. Kedzierski, E. Anderson, H. Takeuchi, K. Asano, and J. Bokor, “A folded-channel MOSFET for deep-sub-tenth micron era,” *Int. Electron Devices Meet. 1998. Tech. Dig.*, vol. 38, no. January, pp. 1032–1034, 1998.
- [41] F. J. Primus, M. D. Goldenberg, and S. Hills, “United States Patent (19),” no. 19, 1991.
- [42] D. Graovac, M. Pürschel, and K. Andreas, “MOSFET Power Losses Calculation Using the Data- Sheet Parameters,” *Infineon Technol. AG*, no. July, pp. 1–23, 2006.

- [43] F. Assaderaghi and S. Parke, “5,559,368,” no. 4, pp. 845–849, 1996.
- [44] J. Vargas-Guativa, J. Andrés, L. Velásquez, and L. C. Cárdenas, “Sistema de Instrumentación y Control para Tanques de Almacenamiento de Agua Potable Instrumentation and Control System for Storage Tanks of potable Water,” *Ingeniare* , vol. 17, no. 17, pp. 69–85, 2014.
- [45] A. M. Gibb, “New Media Art, Design, and the Arduino Microcontroller: a Malleable Tool,” *History*, no. February, p. 70, 2010.
- [46] D. F. García and D. F. Rincón, “Diseño y construcción de un generador de impulso de voltaje de 10 KV,” *Tecnura*, vol. 12, pp. 4–13, 2009.
- [47] A. C. Rodríguez Arévalo, A. . C. Llanos, and J. I. Flores, “Diseño y construcción de los instrumentos de medición para un biorreactor prototipo,” *Rev. Mex. Ing. Biomédica*, vol. 24, no. 1, pp. 55–70, 2003.
- [48] W. Flores, E. E. Mombello, G. Rattá, and J. A. Jardini, “Vida de transformadores de potencia sumergidos en aceite: Situación actual. Parte I. Correlación entre la vida y la temperatura,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 5, no. 1, pp. 50–54, 2007.
- [49] J. Fariña, J. Marcos, E. Mandado, and C. Novas, “Sistema educativo para la formación práctica en amplificadores de aislamiento,” p. 4, 2002.
- [50] “15.pdf.” .
- [51] F. Miyara, “Disipación de potencia,” pp. 1–24, 2006.
- [52] U. Nogal Luis, “Análisis de las características térmicas en estructuras de dos capas,” p. 122, 2016.

9. ANEXOS

Manual instrumento de medición – Hanna HI 9813 -6



HI9813-6 (AGRICULTURA)

REVISIÓN PRELIMINAR.

Retire el instrumento del material de empaque y examínelo cuidadosamente para estar seguro de que no tenga algún daño que haya ocurrido durante el embarque. Si encuentra un daño notable, entonces notifíquelo a su distribuidor.

Cada instrumento se suministra con:

- Sonda combinada (HI1285-6) para pH/EC/TDS/°C con características CaI-Check, entrada DIN con 8 pins y 1 metro de cable.
- 1 paquete de solución de calibración para pH 7, HI70007, 20ml.
- 1 paquete de solución de calibración para Conductividad eléctrica para 1413 μ s/cm (1.413ms/cm), HI70031, 20ml.
- 1 paquete de solución de calibración para TDS para 1500ppm, HI70442, 20ml.
- 2 paquetes de solución de limpieza para aplicación en agricultura, HI700661, 20 ml.
- 2 paquetes de solución check, HI50021.
- Manual de instrucciones de uso.
- 1 batería alcalina de 9V.

Nota: *Conserve todo el material de empaque hasta que esté seguro que el instrumento funcione correctamente. Ningún artículo defectuoso debe ser regresado en el empaque original junto con los accesorios suministrados.*

DESCRIPCIÓN GENERAL.

El HI9813-6 es un equipo combinado, portátil completo, versátil y diseñado a prueba de agua con máxima precisión y simplicidad. El equipo provee mediciones de pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y temperatura, los cuales pueden ser fácilmente seleccionados usando el teclado enfrente del panel del equipo.

Las mediciones de conductividad son automáticamente compensadas por los cambios de temperatura con un sensor integrado de temperatura. El coeficiente de temperatura es estable a 2%/°C.

El equipo HI9813-6 es el modelo más completo, incluye la característica del Cal-Check la cual permite al usuario checar fácilmente el estatus de calibración de la sonda a cualquier tiempo.

DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DEL EQUIPO HI9813-6.

- 1) Entrada DIN para el conector de la sonda con 8 pins.
- 2) Pantalla de cristal líquida.
- 3) LED's rojo y verde para el Cal-check.
- 4) Tecla de selección para el rango de conductividad y sólidos totales disueltos. ms/cm/ppm.
- 5) Perilla de calibración para conductividad y sólidos totales disueltos. EC/TDS.
- 6) Perilla de calibración para pH.
- 7) Tecla de selección para el rango de Ph/ temperatura °C.
- 8) Tecla check.
- 9) Tecla de encendido y apagado.
- 10) Tecla de selección para conductividad eléctrica (ms/cm).

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

HI 9813-6		
Rango:	pH	0.0 a 14.0 pH
	EC (mS/cm-mmho/cm)	0.00 a 4.00
	TDS	0 a 1999 (mg/L)
	°C	0 – 60°C
Resolución:	pH	0.1 pH
	EC	0.01ms/cm
	TDS	1 ppm
	°C	0.1
Precisión (@20°C/68°F):	pH	±0.1 pH
	EC	±2% escala completa (f.s)
	TDS	±2% f.s.
	°C	±0.5
Desviación típica EMC	PH	±0.1

	TDS, ppm	$\pm 2\%$ f.s
	EC, ms/cm	$\pm 2\%$ f.s.
	°C	± 0.5
Calibración	pH	Manual a un punto
	EC/TDS	Manual a un punto
Compensación de temperatura	Solo para EC/TDS	Automática de 0 a 50 °C (32 a 122°F) con un coeficiente $\Delta = 2\%/^{\circ}\text{C}$
Factor de conversión		Variable, 0.56 a 0.72
Sonda incluida		HI 1285-6 pH/conductivity/TDS/°C con conector DIN y 1 m (3.3') cable
Batería / vida útil:		1 x 9V alcalina / 150 horas de uso continuo
Condiciones ambientales:		0 a 50°C (32 to 122°F); RH 95%
Dimensiones:		165 x 75 x 45 mm (6.5 x 3.0 x 1.8")
Peso:		250 g

GUÍA DE USO.

PREPARACIÓN INICIAL.

1. El equipo se suministra completo con una batería de 9V. Remueva la batería del compartimiento cubierto detrás del instrumento e instale la batería mientras presta atención en su polaridad.
2. Conecte la sonda en la entrada DIN del equipo cerciorándose que los pins entren correctamente en la entrada.
3. Remueva siempre la tapa protectora de la sonda antes de tomar cualquier medición, y asegúrese de que el equipo haya sido calibrado.
4. Encienda el equipo presionando la tecla ON/OFF.

MEDICIONES DE PH.

1. Si la sonda ha estado seca, sumerja la punta de la misma en la solución de almacenamiento HI70300 por unos pocos minutos para reactivarla.
2. Para tomar las mediciones de pH simplemente sumerja la punta de la sonda (aproximadamente 4cm) dentro de la muestra para ser examinada.

Datasheet Mosfet IRF250NP

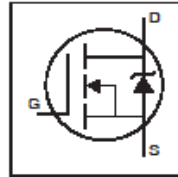
International
IR Rectifier

PD - 95007A

IRFP250NPbF

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements
- Lead-Free

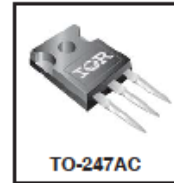


$V_{DS} = 200V$
 $R_{DS(on)} = 0.075\Omega$
 $I_D = 30A$

Description

Fifth Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-247 package is preferred for commercial-industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220 devices. The TO-247 is similar but superior to the earlier TO-218 package because of its isolated mounting hole.



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Max.	Units
I_D @ $T_C = 25^\circ\text{C}$	30	A
I_D @ $T_C = 100^\circ\text{C}$	21	
I_{DM}	120	
P_D @ $T_C = 25^\circ\text{C}$	214	W
	1.4	W/°C
V_{GS}	± 20	V
E_{AS}	315	mJ
I_{AS}	30	A
E_{ARS}	21	mJ
dv/dt	8.6	V/ns
T_J	-55 to +175	°C
T_{STG}		
	300 (1.6mm from case)	
	10 lb•in (1.1N•m)	

Thermal Resistance

Parameter	Typ.	Max.	Units
R_{JC}	—	0.7	°C/W
R_{CS}	0.24	—	
R_{JA}	—	40	

www.irf.com

1
08/18/10

Fuente: <https://www.infineon.com/dgdl/irfp250n.pdf?fileId=5546d462533600a40153562884b41fdc>

Instrucciones Sonda de alto voltaje FLUKE 80K-6

GARANTÍA LIMITADA Y LIMITACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Todo producto de Fluke está garantizado contra defectos en los materiales y en la mano de obra en condiciones normales de utilización y mantenimiento. El periodo de garantía es de un año a partir de la fecha de despacho. Las piezas de repuesto, las reparaciones y los servicios se garantizan por 90 días. Esta garantía se extiende sólo al comprador original o al cliente final de un revendedor autorizado por Fluke y no es válida para fusibles, baterías desechables ni para ningún producto que, en opinión de Fluke, haya sido utilizado incorrectamente, modificado, maltratado o sufrido daño accidental o por condiciones anormales de funcionamiento o manipulación. Fluke garantiza que el software funcionará sustancialmente de acuerdo con sus especificaciones funcionales durante 90 días y que ha sido grabado correctamente en un medio magnético sin defectos. Fluke no garantiza que el software estará libre de errores ni que funcionará sin interrupciones.

Los distribuidores autorizados de Fluke emitirán esta garantía para cualquier producto nuevo y sin utilizar a los clientes usuarios finales solamente, pero no tendrán autoridad alguna de emitir una garantía mayor o diferente en nombre de Fluke. El soporte técnico en garantía está disponible si el producto fue comprado a través de un centro de distribución autorizado por Fluke o si el comprador pagó el precio internacional correspondiente. Cuando un producto comprado en un país se envíe a otro país para su reparación, Fluke se reserva el derecho de facturar al Comprador los gastos de importación de las piezas de reparación o repuestos.

La obligación de Fluke de acuerdo con la garantía está limitada, a elección de Fluke, al reembolso del precio de compra, la reparación gratuita o el reemplazo de un producto defectuoso que sea devuelto a un centro de servicio autorizado de Fluke dentro del periodo de garantía.

Para obtener servicio de garantía, póngase en contacto con el centro de servicio autorizado de Fluke más cercano o envíe el producto, con una descripción del fallo, con los portes y el seguro prepagados (FOB destino), al centro de servicio autorizado de Fluke más cercano. Fluke no se hace responsable de los daños ocurridos durante el transporte. Después de la reparación de garantía, el producto se devolverá al Comprador con los fletes ya pagados (FOB destino). Si Fluke determina que la falla fue causada por uso indebido, modificación, accidente o condiciones anormales de operación o manipulación, Fluke proporcionará una estimación de los costos de reparación y obtendrá la autorización antes de comenzar el trabajo. Al concluir la reparación, el producto se devolverá al Comprador con los fletes ya pagados, facturándosele la reparación y los gastos de transporte (FOB en el sitio de despacho).

ESTA GARANTÍA ES EL ÚNICO Y EXCLUSIVO RECURSO DEL COMPRADOR Y SUBSTITUYE A TODAS LAS OTRAS GARANTÍAS, EXPRESAS O IMPLÍCITAS, INCLUYENDO, PERO SIN LIMITARSE A, TODA GARANTÍA IMPLÍCITA DE COMERCIABILIDAD O IDONEIDAD PARA UN PROPÓSITO DETERMINADO. FLUKE NO SERÁ RESPONSABLE DE CUALQUIER DAÑO ESPECIAL, INDIRECTO, INCIDENTAL O EMERGENTE NI POR CUALQUIER PÉRDIDA, INCLUIDAS LAS PÉRDIDAS DE DATOS, SEA QUE SURJAN POR INCUMPLIMIENTO DE LA GARANTÍA O QUE ESTÉN BASADAS EN EL CONTRATO, RESPONSABILIDAD, CONFIABILIDAD O EN CUALQUIER OTRA TEORÍA.

Como algunos países o estados no permiten la limitación de la duración de una garantía implícita ni la exclusión ni limitación de los daños contingentes o resultantes, las limitaciones y exclusiones de esta garantía pueden no regir para todos los Compradores. Si alguna cláusula de esta Garantía es considerada inválida o inaplicable por un tribunal de jurisdicción competente, tal decisión no afectará la validez o aplicabilidad de cualquier otra cláusula.

Fluke Corporation
P.O. Box 9090
Everett, WA 98206-9090
USA

Fluke Europe B.V.
P.O. Box 1186
5602 BD Eindhoven
Países Bajos

5/94

FINAL TEST
Rede de Instrumentos de Prueba y Medición

FLUKE

80K-6 High Voltage Probe

Hoja de instrucciones

Descripción

La 80K-6 es una sonda de alta tensión diseñada para ampliar la capacidad de medida de un voltímetro hasta un pico de 6000 voltios de sobretensión de CA/CC, de categoría I. Así pues, la sonda sólo se puede usar para realizar mediciones en circuitos de energía limitada y equipos determinados. Por ejemplo, en la alta tensión de televisiones o de fotocopiadoras. NO utilice esta sonda para medir altas tensiones en sistemas de distribución de energía. Un divisor de 1000:1 le proporciona una alta impedancia de entrada a la sonda. El divisor también le proporciona una alta precisión si se usa con un voltímetro que tenga una impedancia de entrada de 10 megohmios. El divisor se encuentra dentro de una carcasa de plástico moldeado y protege al usuario de la tensión que se desea medir.

Especificaciones

La 80K-6 alcanza su exactitud nominal cuando se usa con un voltímetro de CA/CC que cuente con una exactitud de 0,25% o superior, y una impedancia de entrada de 10 megohmios $\pm 10\%$. Especificaciones de la sonda:

Rango de tensión:	de 0 a 6 kV, CC o CA pico
Impedancia de entrada:	75 megohmios nominales
Relación de división:	1000:1
Exactitud:	
CC a 500 Hz:	$\pm 1\%$
De 500 Hz a 1 kHz:	$\pm 2\%$
Por encima de 1 kHz:	la lectura de la salida cae. Normalmente, -30% a 10 kHz

Temperatura:

Almacenamiento:	-20 a 60 C
En funcionamiento:	0 a 50 C

Coefficiente de temperatura: 100 ppm/C

Humedad relativa: 20 a 80%

Altitud: 2000 m

Resistencia a choques y vibraciones:

Impactos:	caída de 1 m
Vibraciones:	seno de barrido de 5 a 55 Hz con un máx. de 3 g 24,89 cm (9,8 pulg.) (cuerpo de la sonda), 5,10 cm (2 pulg.) máx. de ancho

Peso:

12,7 g (45 onzas)

Seguridad:

CAN/CSA C22.2 N° 1010 2.031-94 y IEC 1010-2-031:1993, tipo B, 6 kVDC o CA pico, 4,24 kV rms de CA, sobretensión Cat. I (tensión derivada de transformadores de energía limitados).

Consideraciones de medición

Antes de usar la 80K-6 debe leer y comprender los siguientes párrafos. Se debe prestar especial atención a la sección de seguridad del operario.

Seguridad del operario



Indica que el operario debe consultar una explicación del manual.



Indica los terminales en los que puede haber una tensión mortal.

(Spanish)

April 1981 Rev.6, 11/01

© 1981-2001 Fluke Corporation. All rights reserved.

All product names are trademarks of their respective companies.

⚠ Advertencia

- Para evitar daños materiales o personales, utilice el equipo bajo las cargas indicadas y en un entorno seco (sin condensación).
- Para evitar lesiones, el usuario de la 80K-6 debe estar familiarizado y ejercitar todas las prácticas de seguridad de alta tensión posibles. Al manejar la sonda, se deben tomar las siguientes precauciones adicionales:
 - Al realizar una medición, nunca esté en contacto con la punta de la sonda o con la parte roja. Sujete la sonda siempre por la parte negra.
 - Antes de realizar una medición, asegúrese de que la parte de conexión a tierra del conector de salida está conectada al terminal común del voltímetro.
 - El cable debe estar conectado a tierra.
 - No use la sonda si está deteriorada. Antes de usar la sonda, inspecciónela en busca de grietas o piezas de plástico que falten. Preste especial atención al cuerpo de la sonda, a la punta y al aislantes de los conectores.
 - Asegúrese de que la punta está correctamente sujeta al cuerpo.
 - Al dar servicio técnico, utilice solamente los repuestos especificados.
 - No use la sonda cerca de gases explosivos, vapores o polvo.
 - No use la sonda si funciona de forma anormal. Es posible que la protección esté afectada. En caso de duda, lleve la sonda a reparar.

Compatibilidad de voltímetros

La 80K-6 es compatible con cualquier voltímetro de CC o CC con una impedancia de entrada de 10 megaohmios $\pm 10\%$. En voltímetros con impedancias de entrada más altas, es necesario utilizar una derivación externa para obtener una medición precisa.

Utilice la siguiente fórmula para determinar el valor de la resistencia externa de derivación:

$$R_s = \frac{R_m \times 10}{R_m - 10}$$

Donde: R_s = Resistencia de derivación en megaohmios
 R_m = Impedancia de entrada del voltímetro en megaohmios (>10 megaohmios)

Carga del circuito

La 80K-6 representa un carga de aproximadamente 75 megaohmios al circuito que se desea medir (13 μ A por 1 kV). Vea la figura 1. Para determinar la resistencia de carga con más precisión, mida la resistencia de la 80K-6 en el conector del voltímetro y multiplique el valor medido por 1000.

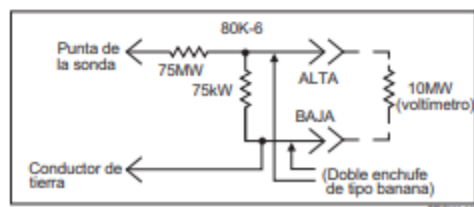


Figura 1. Esquema de conexión de la 80K-6

Funcionamiento

Siga el siguiente procedimiento para utilizar la 80K-6:

1. Inspeccione la sonda. (Vea la anterior advertencia.)
2. Conecte el cable de la sonda a un voltímetro compatible. (Vea la anterior advertencia.) Utilice una resistencia de derivación si es necesario.
3. Seleccione un rango de tensión apropiado (lectura de 1 voltio por 1000 voltios de entrada de la sonda).
4. Conecte el conductor de tierra de la sonda a una toma de tierra. (Vea la anterior advertencia.)
5. Sujete la sonda por la parte negra y conecte la punta de la sonda al circuito que desea medir. Vea la lectura del voltímetro.

Mantenimiento

Comprobación de desempeño

Compruebe la exactitud de la sonda midiendo una fuente de tensión de 5 kV de CC $\pm 0,25\%$. Si se usa con voltímetro de CC compatible, la sonda debe medir con exactitud la tensión de la fuente hasta $\pm 1\%$. No se proporcionan ajustes de calibración en la sonda.

Limpieza

Use un paño suave humedecido con agua destilada para limpiar la 80K-6. No use nunca disolventes o limpiadores abrasivos.

Desmontaje

Utilice el siguiente procedimiento para desmontar la sonda:

1. Desatornille la parte negra de la sonda y deslicela por el cable.
2. Desatornille una vuelta la punta de metal y presione la punta hasta liberarla de la carcasa. Saque la punta.
3. Retire los componentes internos de la sonda tirando del anillo metálico por encima de la rosca del cuerpo de la sonda.
4. De forma lógica, realice este procedimiento al contrario para volver a montar la sonda.

Precaución

Para evitar daños en la sonda después de una reparación, mida y, si es necesario, ajuste la distancia exterior entre el anillo y el acople de la sonda en los componentes internos antes de volver a montar el conjunto. La distancia debe ser de 4,910 $\pm 0,020$ pulg. Realice el ajuste con la conexión soldada de la parte trasera del acople metálico de la sonda.

Repuestos

Descripción	Nº de pieza de Fluke
Punta, alta tensión	536946
Cuerpo, sonda	580621
Acoplamiento, sonda	536961
Divisor, alta tensión	632091
Funda	580605
Cable de bus, sonda	617290
Hoja de instrucciones	613224
Adhesivo	587063
Pinza de conexión	306753
Manguito	217703

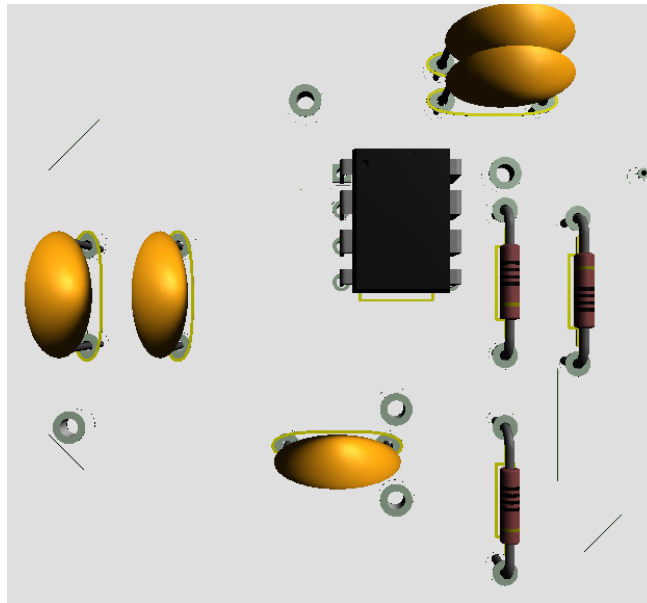
Para solicitar piezas de recambio, llame al 1-800-526-4731.

Fuera de EE.UU., póngase en contacto con su centro de servicio más cercano. Para obtener ayuda sobre aplicaciones u operaciones de los productos Fluke, visite el sitio web de Fluke en

Distribuido Por:
www.finaltest.com.mx
Calle del Eban #16625
Tijuana B.C. Mexico
Tel. (664)681-1130
Tel. 01800 027-4848
ventas@final-test.net

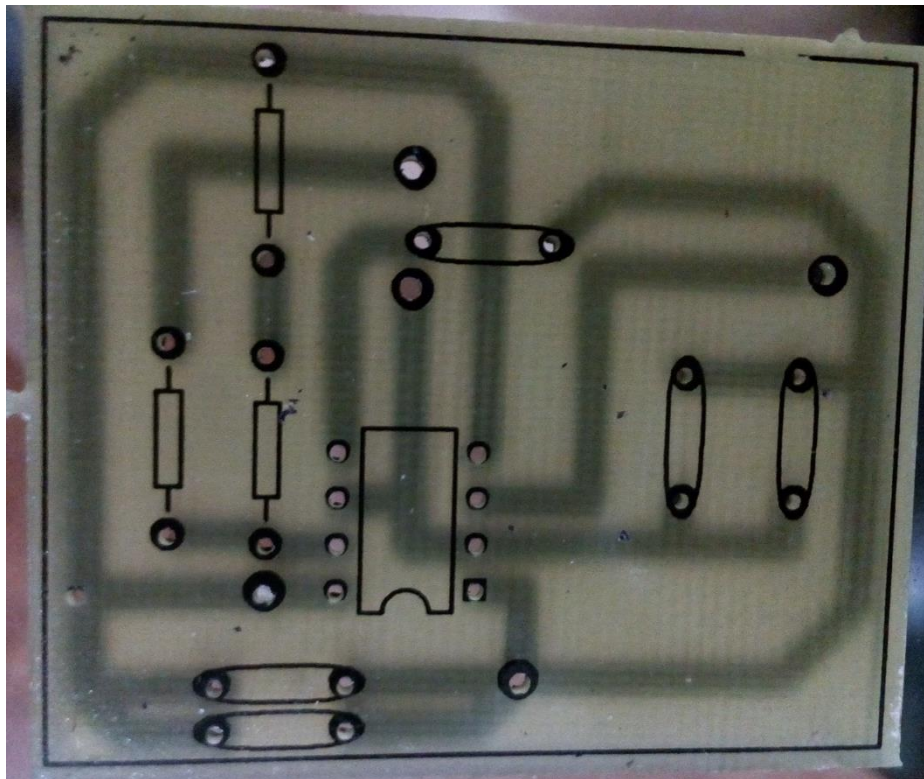
FINAL TEST™

Vista en 3D del circuito de variación de frecuencia y voltaje



Fuente: Autores

Circuito impreso en Baquelita



Fuente: Autores

Especificaciones Arduino Leonardo

Microcontroller	ATmega32u4
Operating Voltage	5V
Input Voltage (Recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	20
PWM Channels	7
Analog Input Channels	12
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega32u4) of which 4 KB used by bootloader
SRAM	2.5 KB (ATmega32u4)
EEPROM	1 KB (ATmega32u4)
Clock Speed	16 MHz
Length	68.6 mm
Width	53.3 mm
Weight	20 g

Fuente: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-leonardo-with-headers>

DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE OZONIFICACION ELECTRONICO QUE APORTE A LA DISMINUCION DE MICROORGANISMOS PRESENTES EN EL AGUA

Saidy Lorena Martínez Pineda
Saidy.Martinez@unillanos.edu.co
Jahn Carlo Cubides Aguilar
Jahn.Cubides@unillanos.edu.co

Programa Ingeniería Electrónica
Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería – Universidad de los Llanos

Resumen: En este proyecto se espera diseñar e implementar un sistema electrónico de ozonificación que tenga la capacidad de reducir el número de microorganismos presentes en 30 litros de agua. El sistema se basa en el método de ozonificación creado a partir de un sistema eléctrico con dos electrodos separados por una capa aisladora y un espacio de aire capaz de producir ozono dependiendo directamente del voltaje y la frecuencia a la cual opere el generador, el proceso fisicoquímico producido es denominado efecto corona que se presenta cuando el potencial de un conductor en el aire se eleva hasta valores tales que sobrepasen la rigidez dieléctrica del aire que rodea el conductor.

Introducción

Los procesos de oxidación avanzada se están empleando recientemente para la degradación parcial de materia orgánica en aguas residuales, los procesos de oxidación avanzada, implican la generación de oxidantes químicos. [1]

Estos procesos de oxidación han sido reportados entre los de mayor potencial en el tratamiento de los contaminantes del agua [2]. A pesar de esto no ha sido considerada una de las soluciones totales, es por esto que se han creado técnicas de oxidación avanzadas, estos pueden ser aplicados tanto en el aire, agua y el suelo. El ozono puede reaccionar con la mayoría de contaminantes, la oxidación de las especies químicas presentes en el agua por parte del ozono es de especial interés para el tratamiento de agua potable y el manejo de agua de desecho. [3]

La capacidad germicida del ozono está ampliamente reconocida, la cual está dada por su elevado poder oxidante y su rápida velocidad de reacción con diferentes moléculas biológicas, al reaccionar con los microorganismos [4].

Por lo tanto, la búsqueda de información y alternativas resulta importante. Respecto a la ozonización de aguas, los iones bromato son el único subproducto regulado; se forman cuando las aguas contienen determinada concentración de iones bromuro, los iones bromato son considerados potencialmente carcinogénicos; no obstante, se han realizado estudios importantes para el control de su formación y se reportan alternativas aplicables en las plantas de tratamiento [5].

El ozono en concentraciones mayores es un gas bastante tóxico [6]. Debido a las ventajas de la aplicación de la tecnología del ozono, puede acoplarse bien con otros desinfectantes en una estrategia combinada para prevenir las infecciones nosocomiales [7].

El aparato que produce ozono mediante descargas eléctricas se llama ozonizador [8]. El fenómeno eléctrico que se produce en los conductores de alta tensión, el cual se manifiesta por luminiscencia alrededor de la línea de alta.

El concepto de efecto corona se refiere al fenómeno eléctrico que se produce por la ionización del fluido que rodea a un conductor cargado, ocurre espontáneamente en las líneas de alta tensión. La utilidad del efecto corona en procesos que vinculen al medio ambiente se demuestra en la patente desarrollada por el grupo corporativo ACCENTUS PLC, con el objetivo de realizar el diseño y construcción de un reactor con descargas de efecto corona aplicado en medios gaseosos [9].

Ozonización. Este método es basado en el proceso de las aguas, potables y residuales, por medio de la descarga de efecto corona la cual se denomina ozonización [10]. El ozono influye en la eliminación de compuestos orgánicos e inorgánicos reduciendo algunos factores evidentes como el olor, sabor, color y turbidez, además sustancias tóxicas y compuestos farmacéuticos. Es un desinfectante muy eficaz debido a su alta reactividad y su eficiencia en la reducción que tiene como contraparte el alto costo y generación “in situ” [11].

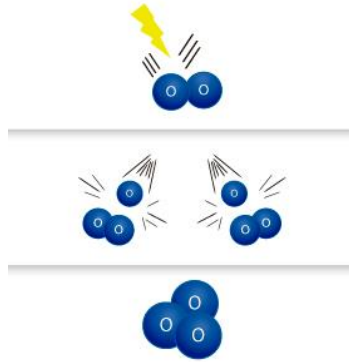


Figura 1. Formación del ozono
Fuente: Adelo (Asociación Argentina de Oxígeno)

Transistor de potencia. Los transistores de potencia son dispositivos diseñados para resistir las altas tensiones, intensidades, y por lo tanto, las altas potencias a disipar [12]. Su funcionamiento y uso es muy semejante a los transistores de baja potencia, con especialidades de control en corte y saturación o como elementos de conmutación.

Estos transistores se pueden catalogar de manera general en cuatro clases:

- Transistores bipolares de juntura (BJT)
- Transistores semiconductores de metal de óxido de efecto de campo (MOSFET)
- Transistores de inducción estática (SIT)
- Transistores bipolares de compuerta aislada (IGBT)

Un transistor MOSFET de potencia es controlado por voltaje, donde solo requiere de una pequeña corriente de entrada; la velocidad de conmutación es muy alta, ya que los tiempos en los que conmuta están en el orden de los nanosegundos. Es un transistor que tiene tres terminales, los cuales son: fuente (S), drenado (D), compuerta (G) también posee un problema de descarga electrostática y es

difícil protegerlos bajo situaciones de falla por corto circuito [13].

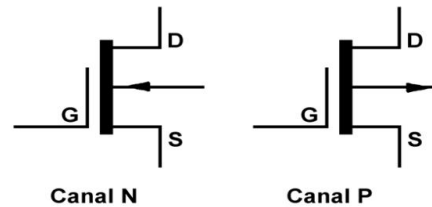


Figura 2. MOSFET tipo agotamiento de canal n y canal p
Fuente: Electrónica de Potencia. Circuitos, dispositivos y aplicaciones.

Efecto Corona. Es un fenómeno eléctrico que es producido por los conductores de alta tensión, los cuales se manifiestan por luminiscencia en torno a la línea de alta tensión. Con la ionización del aire que recorre el conductor a causa de los altos niveles de voltaje se produce dicho efecto, estos iones son repelidos y atraídos por el conductor a velocidades muy altas, así se crean nuevos iones por colisión; estas moléculas de aire tienen la capacidad de transportar la corriente eléctrica y algunos de los electrones que circulaban por la línea pasan a circular por el aire, la temperatura del gas aumenta, se vuelve de color rojizo para casos leves o azulado para casos fuertes, además va seguido del olor del ozono y un sonido silbante.

Oscilador. El temporizador IC 555 es un circuito integrado (chip) que se maneja en la generación de temporizadores, pulsos y oscilaciones. El 555 puede ser empleado para hacer más fáciles los retardos de tiempo, como un oscilador, y como un circuito integrado flip flop.

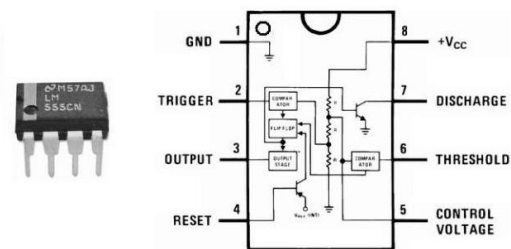


Figura 3. Datasheet integrado Lm555
Fuente: Texas Instruments

Microcontrolador. Un microcontrolador (abreviado μ C, UC o MCU) es un circuito integrado programable, apto para ejecutar las órdenes inscritas en su memoria. Está compuesto de varios bloques prácticos, los cuales cumplen una tarea específica.

Un microcontrolador incluye en su interior las tres unidades funcionales de un computador: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida.

Flyback . Es un transformador, junto con el transistor y circuitos de salida y deflexión horizontal, eleva el voltaje de la fuente de poder (usualmente AC), a 20kV a 30 KV DC para hacer funcionar un tubo de rayos catódicos (TRC) es un sistema propio de los monitores de computador y de los aparatos de televisor.

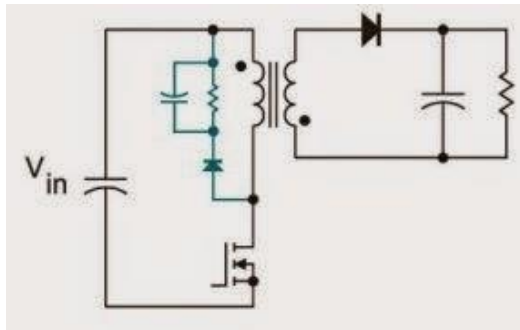


Figura 4. Esquema de un Flyback

Fuente: <https://leifrautn.blogspot.com.co/2014/10/rcd-snubber-para-convertidor-flyback.html>

Sistema de enfriamiento. Los disipadores de calor son necesarios a la hora de evacuar el calor del componente al que se le coloque, llevándolo hacia el aire que lo rodea. Esto trae como efecto que se reduce la temperatura en la que el dispositivo trabaja, ya que la cantidad de calor que se almacena en él, es menor que sin disipador.

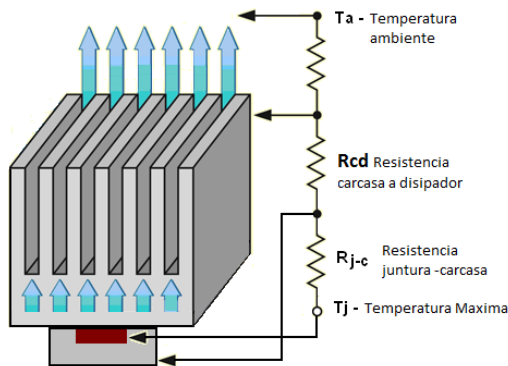


Figura 5. Esquema de los campos para el cálculo del disipador de calor.

Fuente: *Calculo de disipadores – Universidad de Malaga* - <http://ocw.uma.es>

Donde los campos son los siguientes

- **Pd** es la potencia disipada por el dispositivo electrónico.
- **Tj** es la temperatura máxima de junta.
- **Rjc** es la Resistencia Térmica Junta-Carcasa.
- **Rcd** es la Resistencia Carcasa al Disipador.
- **Rda** es la Resistencia del Disipador al exterior.

MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

El sistema de ozonificación que pretende eliminar los microorganismos presentes en el agua el efecto corona debe tener una serie de criterios y parámetros establecidos como lo son: el rango de frecuencia, tensión máxima, partes por millón de ozono, entre otros. Por esto es necesario establecer las fases en el proceso de elaboración.

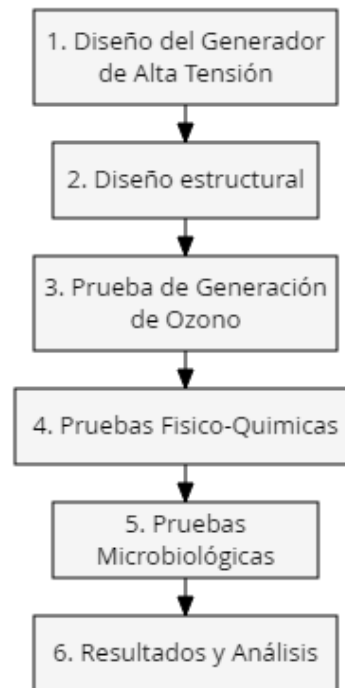


Figura 6. Metodología
Fuente: Autor

Fase 1. El generador de alta tensión está dividido en varias etapas:

Variación de la tensión – Circuito de control

Se realizó un control sobre la salida del voltaje en el Flyback a partir de un oscilador diseñado como multivibrador astable elaborado con un circuito integrado NE555, la salida de este es una señal

cuadrada con frecuencia variable controlada por la resistencia de un potenciómetro que se conecta al pin de descarga y disparo del integrado.

El rango de frecuencias utilizado está entre 2kHz y 16kHz, es por esto que se escogió el Mosfet

conmutado con una frecuencia máxima de 30kHz, así mismo se realizó un circuito de aislamiento entre el circuito de control y el de potencia utilizando un optoacoplador 4n25.

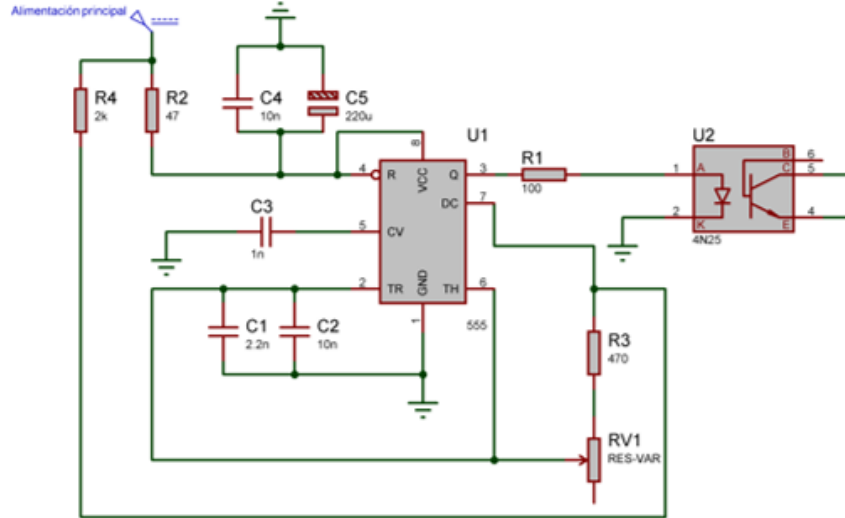


Figura 7. Circuito oscilador – NE555
Fuente: Autores

Circuito de Potencia

La etapa de potencia, ilustrada en la figura x, está conformada por una señal que viene desde el optoacoplador, una resistencia de activación de xxx y una bobina que energiza el Flyback. El transistor Mosfet IRF4550n se configuró de corte y saturación que permite la variación del voltaje en función de la frecuencia de la señal cuadrada que llega al GATE. El propósito de esta etapa es abrir y cerrar el paso entre DRAIN y SOURCE, al tener estas variaciones la reactancia inductiva cambiará de manera proporcional al voltaje, en este caso el Flyback elevará el voltaje hasta los 12Kv.

La disipación de temperatura en el Mosfet es un factor muy importante en el buen funcionamiento del sistema, en el transistor hay un paso de corriente mayor a 3A, esto sumado a la frecuencia tan alta genera temperaturas muy altas. Por esta razón fue necesario utilizar un disipador que sea superior al siguiente valor calculado:

$$R_{da} \ll \left(\frac{T_j - T_a}{P_d} \right) - R_{jc} + R_{cd}$$

$$R_{da} \ll \left(\frac{150^\circ\text{C} - 36^\circ\text{C}}{30\text{w}} \right) - 0,7^\circ\text{C}/\text{w} + 1^\circ\text{C}/\text{w}$$

$$R_{da} = 1.14^\circ\text{C}/\text{W}$$

El disipador tiene una resistencia térmica aproximada de 1.14°C/W

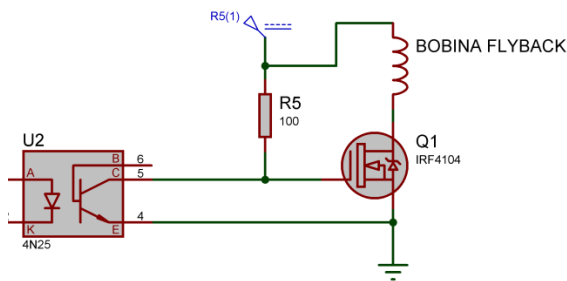


Figura 8. Circuito de Potencia
Fuente: Autores

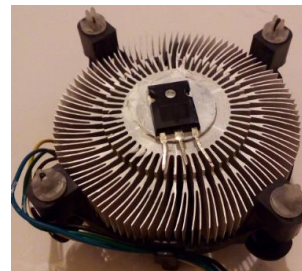


Figura 9. Disipador de temperatura

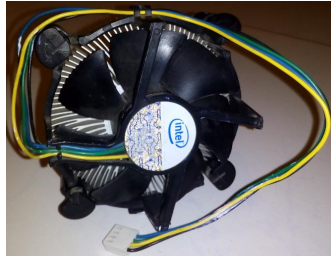


Figura 10. Ventilador utilizado

Sonda de alta tensión

Esta etapa se conforma por un divisor de voltaje y un rectificador de media onda como se muestra en la

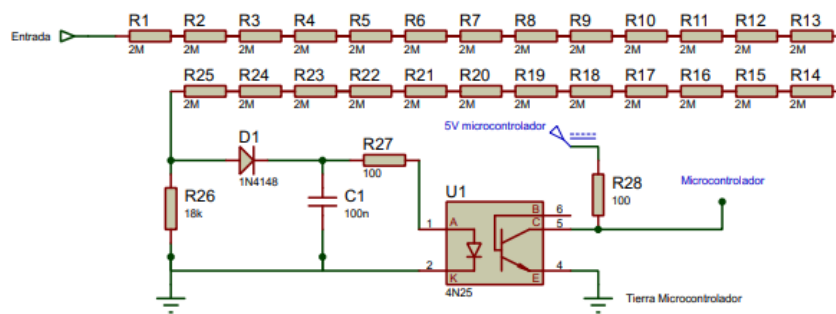


Figura 11. Simulación Sonda de alto voltaje

Fuente: Autores

Fase 2. El diseño estructural se divide en dos partes:

Tanque de agua

Se diseñó un tanque en material acrílico para el almacenamiento del agua con una capacidad de 30 litros. Tiene una llave para la entrada y otra para la salida del agua que hacen referencia a los otros dos procesos que se están manejando (Electrocoagulación y Luz ultravioleta). En este tanque se realizará la inyección del ozono al agua y será distribuida con una bomba de agua sumergible.

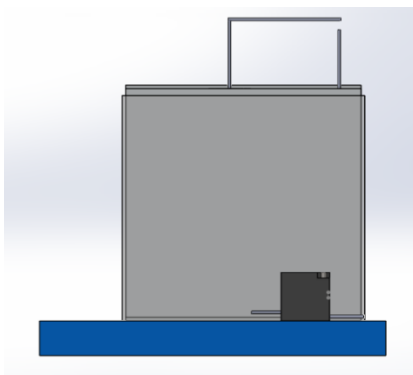


Figura 12.. Modelo del tanque de agua en Solid Works

Caja de almacenamiento de ozono

Se diseñó una pequeña caja en material acrílico que tiene como fin acumular el ozono para luego ser distribuido en el tanque de agua. Tiene cuatro cavidades, dos de ellas son para introducir el electrodo y el cable que genera efecto corona y los otros dos para la circulación del aire a ionizar.

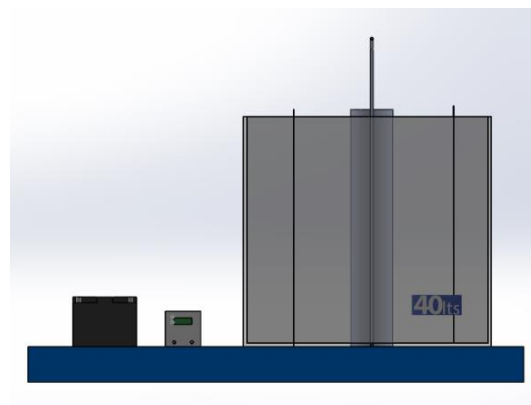


Figura 13.. Modelo de la Caja y el tanque en Solid Works

Fase 3. Prueba de generación de ozono

La medida del ozono inyectado es muy importante para encontrar la relación entre la tensión generada por el arco eléctrico y la cantidad de ozono (ppm).

Se usó el sensor MQ131 que entre sus parámetros tiene:

Modelo	MQ131
Tipo de sensor	Semiconductor
Concentración	10–1000 ppm O3
Resistencia de carga (Rl)	Ajustable
Resistencia de calentador (Rh)	31Ω ± 3Ω
Resistencia de detección (Rs)	50k Ω - 500k Ω
Sensibilidad	R(air)/Rs(ppmO3)

Tabla 1. Especificaciones Sensor MQ131

Según el datasheet, es posible generar una ecuación que relacione la concentración de ozono (O3) en ppb con Ro/Rs.

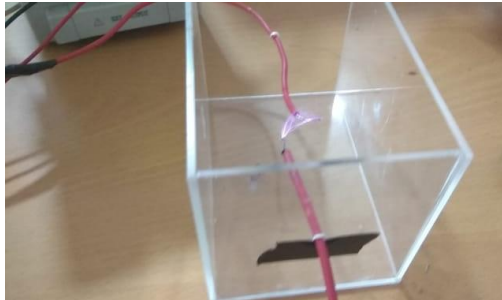


Figura 14. . Generación de Ozono con arco eléctrico Frecuencia -10kHz

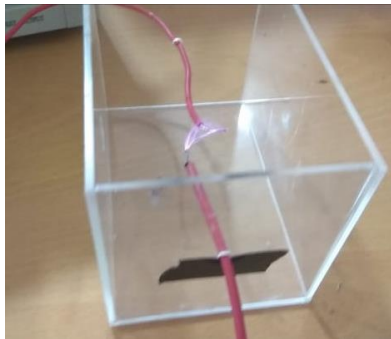


Figura 15. Generación de Ozono con arco eléctrico Frecuencia -12kHz

Fase 4. Pruebas Físicoquímicas

Con la estructura y los circuitos terminados, el paso a seguir fue la medición de variables como la acidez (Ph), conductividad (Ec) y sólidos totales disueltos (ppm).

El instrumento que se empleó para las mediciones fue el HI 9813-6, es un equipo portátil completo, versátil y diseñado a prueba de agua con una precisión muy alta.

El equipo cuenta con las siguientes especificaciones:

Rango	
pH	0.0 a 14.0 pH
Ec	0.00 a 4.00
TDS	0 a 1999(mg/L)

Resolución	
pH	0.1 pH
Ec	0.01 ms/cm
TDS	1 ppm

Precisión	
pH	± 0.1 pH
Ec	± 2% escala completa
TDS	± 2% f.s

Tabla 2. Especificaciones Hanna 9813-6

Las pruebas físicoquímicas son de gran importancia debido a que existen variables de este tipo vulnerables a la ozonificación.

Las pruebas se llevaron a cabo en el laboratorio de electrónica de la Universidad de los llanos, la cantidad de muestras que se tomaron fue de 20 por cada proceso. La variación del voltaje en el Flyback en función de la frecuencia es indispensable ya que determina lo en la medición de cada variable, en este caso se realizaron cuatro procesos distintos que se muestran a continuación:

Proceso	1	2	3	4
Frecuencia	5kHz	10kHz	12kHz	15kHz

Tabla 3. Frecuencias de los cuatro procesos

Fase 5. Pruebas microbiológicas

El objetivo principal de realizar la ozonificación del agua es el de generar la oxidación necesaria para la destrucción de microorganismos (virus y bacterias) con un potencial aproximado de 2.07 voltios. La universidad de los llanos cuenta con un

laboratorio especializado para el análisis microbiológico de diferentes sustancias, en él se realizó el análisis de tres muestras de agua tomadas de un depósito superficial de agua sin tratamiento alguno. En el análisis realizado determina la calidad del agua en relación con la presencia de tres tipos de bacterias:

- Bacterias coliformes totales
- Bacterias coliformes fecales
- Pseudomonas aeruginosa

Las muestras de agua se tomaron con diferencia de tiempo aproximado de una hora y con diferente frecuencia cada una.

Prueba	1°	2°	3°
Frecuencia	10kHz	12kHz	15kHz

Tabla 4. Frecuencias de trabajo Prueba microbiológica

Fase 6. Resultados

Resultados Pruebas de Circuitos

Con instrumentos de medición como la sonda de voltaje, el óhmetro y el osciloscopio se realizó la relación entre la tensión, la resistencia y la frecuencia que se muestra a continuación:

Resistencia	Frecuencia	Voltaje
0	2.77	4.4
0.5	2.98	4.8
1	3.02	5
1.5	3.21	5.3
2	3.36	5.6
2.5	3.571	6.2
3	3.788	6.3
3.5	4.02	6.49
4	4.33	6.7
4.5	4.63	7.01
5	5.065	7.4
5.5	5.46	7.6
6	6.048	7.9
6.5	6.7	8.3
7	7.6	8.8
7.5	8.53	10
8	10.09	10.5
8.5	11.72	10.81
9	14.95	11.3
9.5	17.8	11.8

Tabla 5. Resistencia (Kohm) – Frecuencia (kHz) – Voltaje (kV)

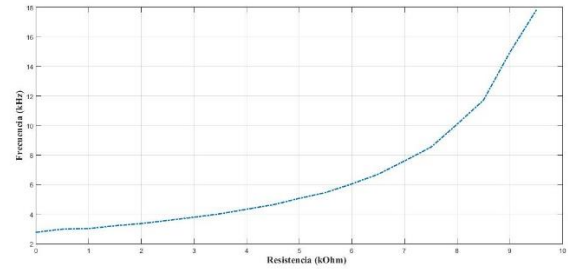


Figura 16. Comportamiento de la Frecuencia en función de la Resistencia

El comportamiento entre la frecuencia y la resistencia es directamente proporcional y tiene una respuesta cuantitativa modelada con una función polinomial de orden 2 tomando la frecuencia como variable dependiente. La ecuación tiene un coeficiente de determinación (R^2) de 0,964.

$$y = 0,2582(x^2) - 1,2447x + 4,5097$$

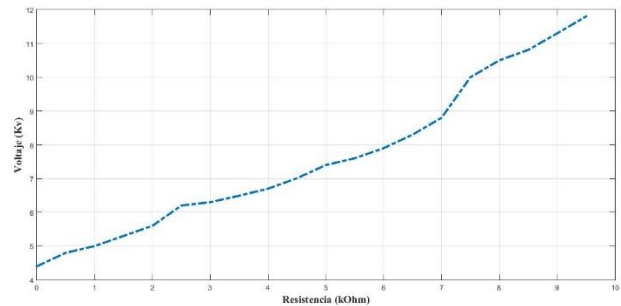


Figura 17. Comportamiento del voltaje (Kv) en relación a la resistencia (kOhm) del oscilador.

La figura xx indica el comportamiento lineal creciente que tiene el voltaje con respecto a la resistencia en el oscilador, por esto se determinó el uso de la regresión lineal con el fin de generar una ecuación estándar en el sistema.

$$y = 0,7546x + 4,0263$$

En este caso el coeficiente de determinación (R^2) es de 0,9656.

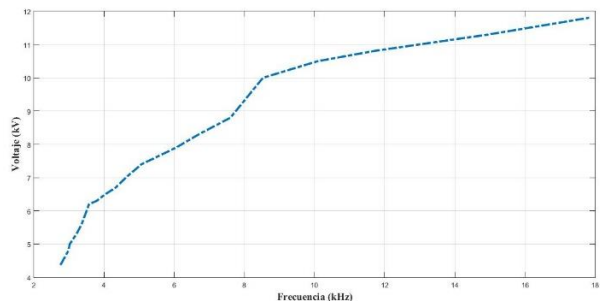


Figura 18. Comportamiento del voltaje de salida en el Flyback y la frecuencia del oscilador

La figura 18 muestra que el voltaje y la frecuencia son variables directamente proporcionales que pueden ser interpretadas con una regresión polinomial a través de la siguiente ecuación:

$$y = -0,041(x^2) + 1,2774x + 1,7449$$

La ecuación tiene una afinidad del 98.38% en relación con el gráfico de la figura xx.

Resultados pruebas fisicoquímicas

Las pruebas se realizaron en intervalos de 10 minutos cada uno, en total se evidenciaron cuatro procesos distribuidos así (Se eliminó las muestras del Ph debido a que la ozonización no afecta dicha variable):

5. Se sustrajo agua de un pozo subterráneo de una vivienda aledaña a la universidad de los llanos y se le suministró ozono a una frecuencia de 15kHz, el resultado se evidencia en la siguiente tabla.

Conductividad	PPM
2.74	97
2.73	92
2.68	90
2.64	89
2.57	81
2.53	82
2.51	78
2.39	81
2.42	79
2.32	78
2.27	79
2.23	69
1.99	74
2.01	68
2.03	69
1.94	72

Tabla 6. Resultados primer proceso – Pruebas Fisicoquímicas

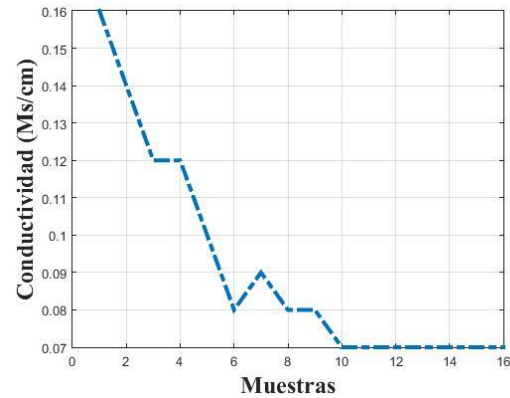


Figura 19. Comportamiento de la conductividad ante la presencia de ozono en el agua.

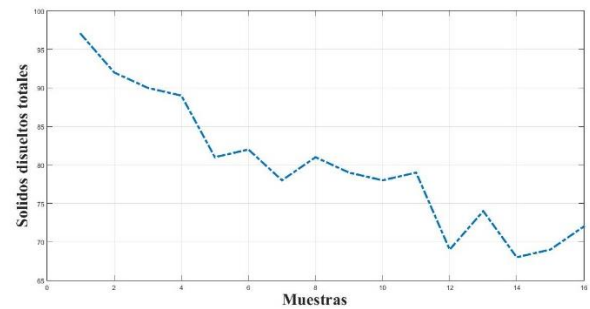


Figura 20. Comportamiento de los sólidos disueltos totales ante la presencia de ozono en el agua

6. Se decidió agregar sal al agua de pozo subterráneo ya que este componente mejora la conductividad y aumenta la cantidad de sólidos disueltos en el agua, finalmente se inyectó ozono a una frecuencia de 10kHz.

Conductividad	PPM
2.74	1623
2.73	1605
2.68	1611
2.64	1609
2.57	1602
2.53	1607
2.51	1597
2.39	1601
2.42	1594
2.32	1589
2.27	1593
2.23	1582
1.99	1574
2.01	1580
2.03	1558
1.94	1521

Tabla 7. Resultados segundo proceso – Pruebas fisicoquímicas

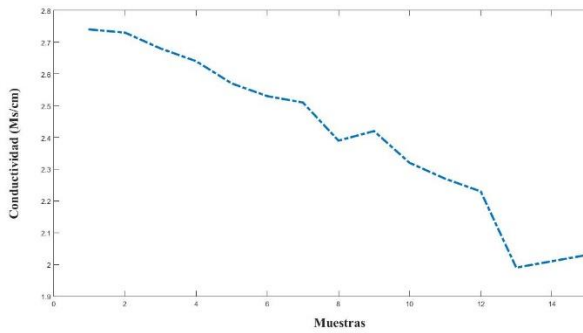


Figura 21. Comportamiento de la conductividad ante la presencia de ozono en el agua con sal – 10kHz

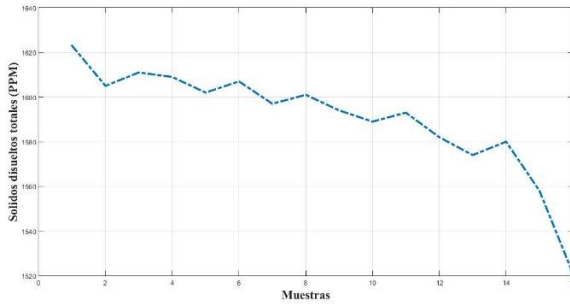


Figura 22. Comportamiento de la cantidad de solidos disueltos totales ante la presencia de ozono en el agua – 10kHz

7. Se aumenta la frecuencia de trabajo a 12kHz.

Conductividad	PPM
2.92	1528
3.01	1531
2.89	1523
2.84	1529
2.79	1514
2.82	1504
2.78	1508
2.61	1502
2.61	1486
2.42	1482
2.58	1469
2.53	1472
2.32	1453
2.13	1462
1.83	1464
1.92	1453

Tabla 8. Resultados tercer proceso – Frecuencia 12kHz

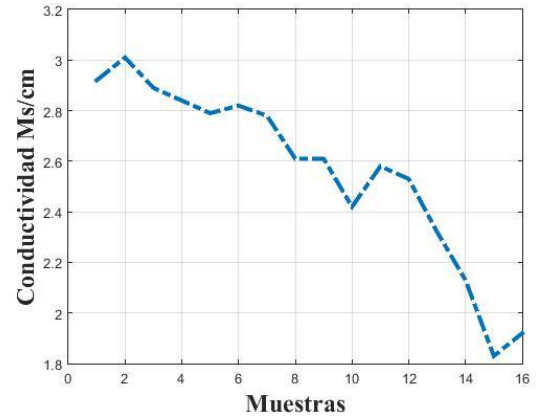


Figura 23. Comportamiento de la conductividad ante la presencia de ozono en el agua con sal – 12kHz

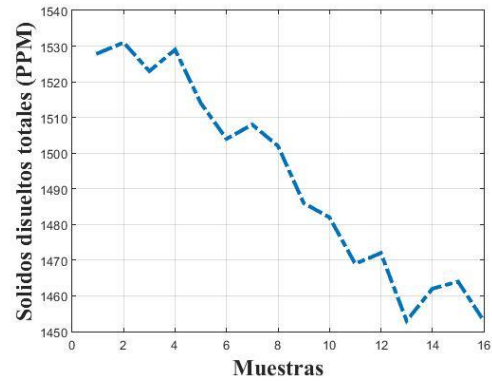


Figura 24. Comportamiento de la cantidad de solidos disueltos totales ante la presencia de ozono en el agua – 12kHz

8. Se aumentó la frecuencia de trabajo a 15kHz

Conductividad	PPM
3.42	1691
3.42	1673
3.39	1662
3.4	1656
3.35	1649
3.25	1658
3.16	1630
3.13	1635
2.92	1637
2.69	1596
2.63	1573
2.56	1581
2.63	1573
2.47	1556
2.52	1527
2.54	1532

Tabla 9. Resultados cuarto proceso – Frecuencia 15 kHz

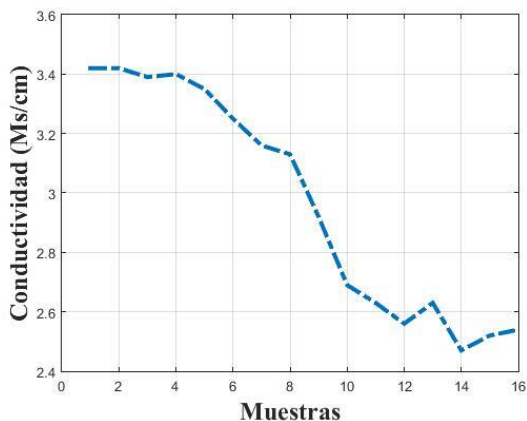


Figura 25. Comportamiento de la conductividad ante la presencia de ozono en el agua con sal – 15kHz

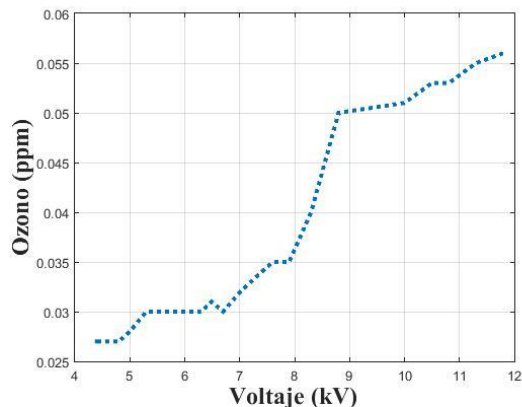


Figura 27 Comportamiento del voltaje generado por el Flyback y el ozono producido por el arco eléctrico.

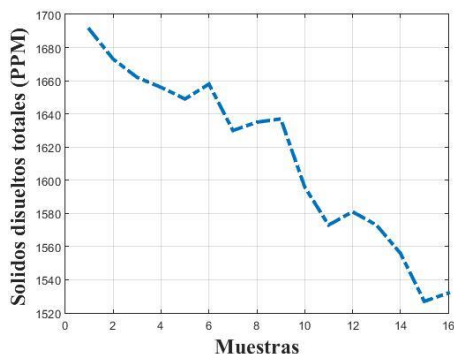


Figura 26. Comportamiento de la cantidad de solidos disueltos totales ante la presencia de ozono en el agua – 15kHz

Cantidad de ozono producido en PPM

Voltaje	Ozono
4.4	0.027
4.8	0.027
5	0.028
5.3	0.03
5.6	0.03
6.2	0.03
6.3	0.03
6.49	0.031
6.7	0.03
7.01	0.032
7.4	0.034
7.6	0.035
7.9	0.035
8.3	0.04
8.8	0.05
10	0.051
10.5	0.053
10.81	0.053
11.3	0.055
11.8	0.056

Tabla 10. Relación voltaje producido por el flyback y el ozono generado.

Al linealizar la función se obtiene, con un coeficiente de determinación del 0,92, la siguiente ecuación:

$$y = 0,0045x + 0,0034$$

ANÁLISIS

En un principio, el mecanismo para la formación del arco eléctrico era por medio de una bobina de ignición, ya que también es un transformador especial que cuenta con un devanado común al lado primario y secundario, al hacer las pruebas suficientes con el oscilador y circuito de potencia, logramos observar que el voltaje de salida entregado no era lo suficientemente alto como para generar ozonización ya que los valores máximos de tensión se aproximaban a los 3000 voltios y la ionización del aire se veía limitada. El Flyback es un transformador con mejores índices en el trabajo, funciona como un inductor puro debido a que está diseñado para guardar energía en su circuito magnético, el voltaje que puede entregar según la frecuencia y voltaje de la onda cuadrada puede alcanzar los 20.000 voltios, por esto se decidió realizar un cambio en el transformador.

La instalación adecuada y el tipo de material de los electrodos son de suma importancia ya que nos garantiza el suministro de voltaje necesario para la formación del arco eléctrico, los primeros electrodos se construyeron en un material tipo aluminio en forma de malla con el inconveniente de que al generar el arco eléctrico sobre ellas no resistieron la potencia, tanto, así como para llegar

al punto de fusión. Se modificó la estructura añadiendo dos conectores de Taser eléctrico, con el objetivo de que la potencia creada para romper la rigidez dieléctrica no afecte directamente el material.

El mecanismo de inyección del ozono presenta algunas complicaciones, ya que no contamos con un extractor de mayor potencia haciendo que el proceso de flujo del ozono se demorara un poco más. La generación de ozono estuvo en el punto indicado, logrando un rango entre 0.023 y 0.056 ppm concentrado en el sistema.

El análisis fisicoquímico arrojó resultados interesantes, por ejemplo, el ozono redujo significativamente la cantidad de sólidos disueltos totales en el agua, es decir que el proceso de oxidación de aquellos compuestos inorgánicos (Hierro, metales pesados, manganeso) fue efectiva. Así mismo se evidenció una disminución en la conductividad eléctrica que tiene una relación con los compuestos inorgánicos distribuidos en el agua.

El análisis microbiológico arrojó resultados interesantes, las bacterias que se analizaron pueden causar patógenos y son muy influyentes en la calidad del agua, para las muestras realizadas se evidenció una disminución de organismos aeróbicos a solo 30 ufc/100ml es decir 30 unidades formadoras de colonias en 100 mililitros de agua.

REFERENCIAS

[1] P. & S. Méndez, «Desinfección del agua.» *Ops/Cepis*, 2009.

[2] Domènech, X., Jardim, W. F., & Litter, M. I. (2009). Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. *Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea, cap, 1*.

[3] M. J. G. S. A. M. G. J. I. U. & F. O. D. G. Garzón, «Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos.» *Producción+ Limpia*, vol. 7, pp. 52-73., 2012.

[4] J. D. P. J. B. & G. A. H. Catasús, «Calibración de modelos matemáticos de calidad de agua para valorar el impacto de estrategias de

saneamiento del río “Almendares.» *Revista CENIC Ciencias Químicas*, vol. 36, 2005.

[4] L. A. S.-M. C. L.-H. I. B.-D. C. & C.-C. A. Bernal-Martínez, « Tratamiento de agua residual municipal por un sistema Fisicoquímico y oxidación química en flujo continuo.» *Avances en Ciencias e Ingeniería*, p. 2, 2016.

[6] Mojica, J. (1973). Estudio Teórico práctico del efecto corona.[Trabajo de grado]. *Universidad Industrial de Santander*.

[7] D. J. A. M. R. H. S. Jonathan N. Howarth, «Methods for generating residual disinfectants during the ozonization of water». Patente US5264136 A, 23 Noviembre 1993.

[8] I. B. o. Regents, Discoverer of Ozono - Annual Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution, Washintong : William A Harris, Printer, 1857.

[9] J. Domenech, «Ozono frente a cloro.» *OFFARM*, vol. 23, nº 5, 2004.

[10] Paredes, L., & Esteban, S. (2017). *Construcción de un generador de ozono automatizado para la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial* (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Carrera de Ingeniería Industrial en procesos de Automatización).

[11] Sánchez Vega, G. O. Diseño y Construcción de un sistema de Ozonificación para purificación de agua alimentado con Energía Solar.

[12] Rashid, M. H. (2004). *Electrónica de potencia: circuitos, dispositivos y aplicaciones*. Pearson Educación.

[13] Malik, N. R., García, M. A. P., Ordas, M. A. M., & Viejo, C. B. (1996). *Circuitos electrónicos: análisis, diseño y simulación*. Prentice Hall.

