

GENERADOR DE OZONO PARA UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA EN PISCINAS RECREATIVAS Y TERAPÉUTICAS.

Robles Maldonado Santiago Fidel.

Ingeniería en Mecatrónica
Universidad Técnica del Norte
santifider@gmail.com

RESUMEN

Actualmente en la localidad los sistemas de purificación de agua tienen una gran demanda, normalmente usados en plantas de tratamiento de agua potable, en complejos de recreación, plantas de envasado de agua, entre otros. El presente trabajo se enfoca en el uso de ozono como medio de purificación de agua de hidromasajes de la localidad, para ello se tiene en cuenta las prestaciones y limitaciones que hay que tener en cuenta antes de implementar un sistema de purificación de este tipo.

Con la finalidad de emplear el método de purificación de agua mediante ozono, se tiene previsto realizar el diseño y construcción de un prototipo para purificar 180 litros de agua de fuente natural, se ha visto necesario emplear pruebas experimentales de laboratorio y análisis de colorimetría con la finalidad de indicar la cantidad de microorganismos existentes en la muestra de agua y demostrar la disminución de los mismos para identificar la calidad y efecto del ozono en el agua.

De acuerdo a los valores obtenidos de las pruebas experimentales de laboratorio y en base al uso del método de colorimetría de concentraciones de ozono se tiene que la generación de ozono durante un tiempo de generación de 6 intervalos de 10 minutos con tiempos de reposo de 5 minutos de reposo para el efecto del ozono en el agua se ha conseguido una producción de ozono de 0.27gr/hora valor cercano al esperado de 0.288gr/hora.

INTRODUCCIÓN

Generalmente el ozono se encuentra en el medio ambiente en cantidades determinadas, el ozono se produce a partir de descargas eléctricas o por la acción de energía de rayos ultravioleta, comúnmente se le conoce como ozono u oxígeno activado, es un componente natural que se produce a partir de oxígeno limpio y seco, constituye el 0.000002% en volumen que forma el aire de la atmósfera. La misión principal del ozono en la atmósfera se basa en la eliminación de agentes que contaminan el aire,

generalmente el ozono es usado para descontaminar, desinfectar y desodorizar ambientes de uso doméstico e industrial.

De acuerdo a la aplicación de ozono es necesario dar a conocer las normativas que rigen su cantidad de uso, en lo cual se muestra los estándares de uso y control de ozono enfocado a los ambientes que se tiene en hidromasajes de uso masivo y privado.

I. FUNDAMENTO TEÓRICO

La molécula de ozono está formada por tres átomos de oxígeno, ya sea a partir de oxígeno puro o aire del medio ambiente donde se genere, no puede ser almacenado por su inestabilidad, para la generación de ozono es necesario saber que el aire u oxígeno disponible debe ser seco y limpio. En la Tabla 1 se compara las características del ozono y el oxígeno molecular.

Tabla 1. Comparación de las propiedades del Oxígeno Molecular y del ozono.

PROPIEDADES	OXIGENO (O2)	OZONO (O3)
Color	Sin color	Azul claro a altas concentraciones
Olor	Sin olor	Picante y penetrante (umbral olfativo 0,01-0,05 ppmv)
Peso específico	1,429	2,144
Peso molecular	32	48
Potencial de Oxidación	1,23V	2,07V
Punto de ebullición a 100 kPa.	-183,00°C	-112,00°C
Solubilidad a 0°C	0,049	0,64

Existen diferentes tipos de sistemas de purificación de agua como son: cloración, radiación ultravioleta, y osmosis inversa, a continuación, se hace un análisis comparativo de cada uno de ellos.

En la Tabla 2 se muestra las desventajas que se tiene con los diferentes procesos de purificación de agua.

Tabla 2 Desventajas de métodos existentes de purificación del agua

SISTEMAS DE PURIFICACIÓN DE AGUA	
MÉTODO	DESVENTAJAS
Cloración	<ul style="list-style-type: none"> * Cuando existe turbiedad no es muy eficiente * Deja olor y sabor desagradable. * Es ineficaz contra los virus y los quistes de protozoos son resistentes. * Tiene efectos nocivos para la salud del ser humano. * Hay indicios de que el cloro podría poseer propiedades cancerígenas.
Radiación Ultravioleta	<ul style="list-style-type: none"> * Para asegurar la dosis adecuada hay que contar con varios equipos de control. * No hay forma de medir la eficacia de la desinfección en forma simple y rápida. * Requiere remoción previa de sólidos suspendidos.
Osmosis Inversa	<ul style="list-style-type: none"> * Los tratamientos de ósmosis inversa requieren una enorme cantidad de agua. * Estas aguas residuales pueden cargar los sistemas sépticos de la casa. * El agua que entra al sistema de ósmosis inversa también debe estar libre de bacterias.

Algunas aplicaciones del ozono además de emplearse en la purificación del aire y agua se deben al poder desinfectante y a su baja toxicidad manteniendo valores de uso recomendables, tanto en el tratamiento del agua, actúa en la esterilización de todas sus formas de bacterias y virus.

También es ampliamente utilizado en la industria alimenticia, medicina, odontología, desinfección y desodorización de ambientes, sector agropecuario, industria química.

El ozono es un gas tóxico y oxidante, mediante el uso de normativas de niveles máximos permitidos este es de gran ayuda, manteniendo el uso bajo regulación de acuerdo a la aplicación necesaria, en este trabajo se hace referencia a sistemas de purificación de agua mediante ozono. A

continuación, se muestra los distintos efectos que se puede tener al estar expuesto a este gas:

➤ Límites permitidos

Es recomendable para los ambientes de trabajo los siguientes niveles permitidos que se indica en la Tabla 3:

Tabla 3 Niveles de ozono permitidos para ambiente de trabajo

Trabajo Tipo	Límite permitido (ppmv)
Pesado	0,05
Moderado	0,08
Ligero	0,10

“Si el trabajo que desempeña una persona es en un periodo inferior a 2 horas ya cual sea su desempeño laboral se permite como máximo mantener concentraciones de hasta 0.2 ppmv”.

II. ESTUDIO DE UN SISTEMA DE PURIFICACIÓN DE AGUA DE LA LOCALIDAD

Las características más importantes que tiene la piscina de hidromasaje del complejo de la Universidad Técnica del Norte de la ciudad de Ibarra, a continuación, se describe: características, estructura y debilidades del sistema de acuerdo al sistema de purificación de agua instalado. Además, se da a conocer la arquitectura del sistema en funcionamiento con la finalidad de una implantación de este método de purificación de agua mediante ozono.

➤ Característica y estructura del sistema actual instalado en las piscinas.

El sistema de tratamiento de agua actual instalado en la piscina de hidromasaje consta de las siguientes partes, tal como se indica en la Fig. 1:

- Skimer
- Bomba Depuradora
- Filtro de Arena
- Distribuidor de vapor
- Generador de vapor
- Hidrojet
- Trampa de Ingreso Aire
- Boquilla ingreso Agua + vapor
- Desagüe

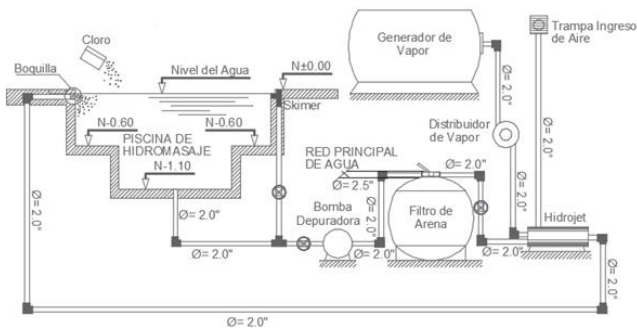


Fig. 1: Sistema de Tratamiento de agua para la piscina de hidromasaje

El agua contiene organismos vivos que reaccionan con sus elementos físicos y químicos. Por esto es necesario tratarla para hacerla adecuada para su uso como provisión a la población. El agua que contiene ciertas sustancias químicas u organismos microscópicos puede ser perjudicial para ciertos procesos industriales, y al mismo tiempo perfectamente idóneo para otros. Los microorganismos causantes de enfermedades que se transmiten por el agua la hacen peligrosa.

De acuerdo al uso que se le dará al agua, son los requisitos de calidad de la misma. Por lo común la calidad se juzga como el grado en el cual se ajusta a los estándares físicos, químicos y biológicos fijados por normas nacionales e internacionales. Es importante conocer los requisitos de calidad para uso a fin de determinar si se requiere tratamiento y qué procesos se deben aplicar para alcanzar la calidad deseada. Los estándares de calidad también se usan para vigilar los procesos de tratamiento.

La conexión que se propone de acuerdo a la Fig. 2 se tiene una conexión similar a la que se indica en la Fig. 1, conexión basada en la ozonificación, la diferencia es que la nueva configuración usa difusores sumergidos en una cámara de contacto, la finalidad es, destruir el ozono antes de que el agua tratada ingrese a la piscina de hidromasaje. Cabe mencionar que la dosis de cloro se mantiene por el momento incluyéndole como parte de una posible opción para una nueva arquitectura del sistema de purificación de agua, esto se analizará en los siguientes capítulos de acuerdo al consumo de energía necesario.

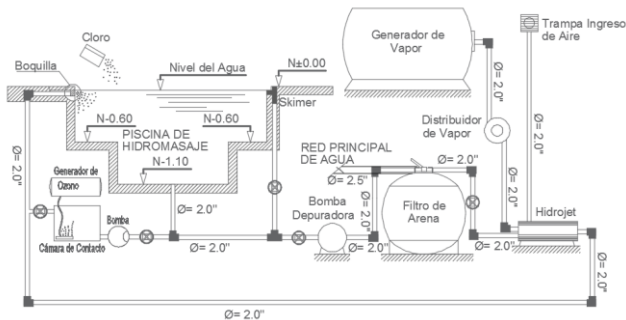


Fig. 2. Sistema de ozonificación para el tratamiento de agua.

III. DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL GENERADOR DE OZONO

Se dan a conocer los diferentes elementos que conforman un generador de ozono, partiendo de la descripción de cada uno de sus elementos y función dentro de un sistema de tratamiento de purificación de agua mediante el empleo de ozono.

El funcionamiento del generador, se expone el proceso de purificación de agua mediante el uso de ozono y se relaciona un conjunto de disposiciones que se deben tener presente en la infraestructura para que un sistema de purificación de agua enfocado a piscinas de hidromasaje esté completamente equipado con respecto a la generación de ozono.

- Descripción de los elementos que conforman un generador de ozono.

Para poder generar ozono se necesita de ciertos componentes los cuales son indispensables para una generación adecuada, teniendo en cuenta las normas que rigen el comportamiento de los generadores de ozono, como también un riguroso control de variables como: humedad del aire, voltaje de alimentación, dosificación de ozono requerido por volumen de agua para su purificación, etc.

Para comprender el comportamiento de los elementos de un equipo de generación de ozono se ha visto la necesidad de dar a conocer los parámetros y condiciones de funcionamiento, que son de utilidad para un proceso de purificación de agua, en este caso enfocado para la purificación de agua de una piscina de hidromasaje. De acuerdo a la Fig. 3 se hace la descripción de los elementos que conforman un Equipo de Generación de Ozono.

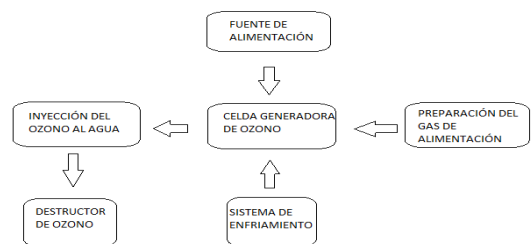


Fig. 3: Elementos que conforman un Equipo de Ozono

IV. PRESENTACIÓN DE LA MÁQUINA GENERADORA DE OZONO.

- Determinación de los parámetros de construcción del prototipo generador de ozono.

La determinación de los parámetros involucrados en el diseño del prototipo generador de ozono, parte de la cantidad que se tiene disponible de agua, para este trabajo se ha visto tratar un volumen de 180 litros, tomando en cuenta las condiciones microbiológicas del agua, además

también se plantea involucrar la cantidad de ozono por litro de agua.

- Descripción de las etapas de funcionamiento y elementos que conforman el generador de ozono para la purificación de agua.

Para la construcción del prototipo se ha tomado en cuenta varias etapas de funcionamiento con la finalidad de representar un sistema de purificación lo más parecido al que se encuentra instalado en la universidad, cabe mencionar que el método a emplear para mezclar el ozono generado con la muestra de agua es basado en el uso del principio Venturi.

Las etapas de funcionamiento de prototipo en construcción son:

- Llenado del tanque de 180 litros de agua.
- Recirculación y Filtración de agua.
- Recirculación y Ozonización de agua.
- Reposo
- Vaciado del tanque de 180 litros.

Los procesos expuestos anteriormente se describen en el siguiente capítulo, con la finalidad de indicar el tiempo de funcionamiento del prototipo que requiere para lograr la purificación de agua mediante el uso de ozono.

- Elementos que conforman el prototipo purificador de agua mediante ozono

A continuación, se da a conocer en la Fig. 4, un primer diagrama de los elementos que conforman el prototipo del purificador de agua mediante ozono.

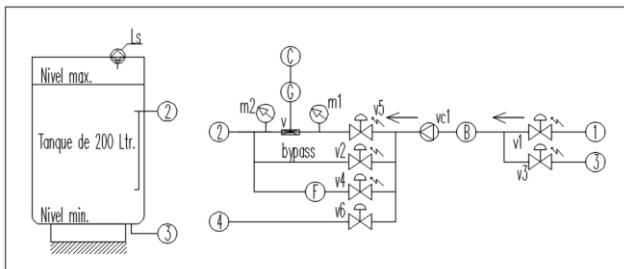


Fig. 4: Detalle de elementos prototipo Purificador de agua mediante ozono.

De acuerdo a la Fig. 4, se tiene las siguientes partes:

- (1) Toma de Agua Piscina.
- (2) Tubería de ingreso al tanque.
- (3) Tubería de salida del tanque.
- (4) Desagüe.
- (B) Bomba de Agua.
- (C) Compresor.
- (F) Filtro estándar de 50 micras.
- (G) Generador de ozono.
- (Ls) Sensor de nivel.
- (m1, m2) Manómetros de presión de 100 Psi.
- (vc1) Válvula check.
- (v) Venturi.
- (V1- v5) Electroválvulas a 12V.
- (v6) Válvula de media vuelta.

- Condiciones de funcionamiento del prototipo para la purificación de agua

De acuerdo al diagrama de la Fig. 4 y la descripción de cada una de las partes que conforma el sistema de purificador de agua mediante ozono, se indica el funcionamiento de los elementos en cada una de las etapas en la Tabla 4, cabe aclarar que es el punto de inicio para el ajuste de variables involucradas en el sistema.

Las variables más importantes involucradas en el sistema son: caudal, presión, temperatura, humedad, ya que sin estas no se contaría con la disponibilidad suficiente para generar ozono.

Tabla 4: Funcionamiento de elementos prototipo purificador de agua mediante ozono

ETAPAS	ELEMENTOS							C	G
	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7		
Llenado del tanque	x	x					x		
Recirculación y filtrado de agua		x	x	x			x		
Recirculación y ozonización de agua		x	x		x		x	x	x
Reposo									
Vaciado del tanque						x	x		

- Especificaciones de diseño para el prototipo generador de ozono.

El diseño del generador de ozono va en dependencia de las variables que determinan la cantidad necesaria de ozono para la purificación de agua, entre las variables necesarias se tiene, la producción de ozono deseada P_d en (g/h), dosis de ozono D_s en (g/ltr) y la capacidad de desinfección del sistema de purificación de agua C_l en (litros/hora), estas variables se relacionan a través de la Ecuación 4.

Ecuación 4: Producción de ozono deseada.

$$P_d = D_s \cdot C_l$$

Donde:

P_d : Producción de ozono deseada.

D_s : Dosis de ozono.

C_l : Capacidad de desinfección del sistema.

La dosificación de ozono se consigue mediante la realización de pruebas experimentales de la cinética de consumo de ozono, en este caso de acuerdo a lo especificado por la EPA "Environmental Protection Agency", se recomienda un valor de 1.6 mg/ litro, la capacidad de litros de agua por hora a purificar está dada de acuerdo a la capacidad del tanque para este caso a nivel funcional de prototipo es de 180 litros/hora.

Dando así:

$$P_d = \left(\frac{1.60 \text{ mg}}{\text{litro}} \right) \times \left(180 \frac{\text{litro}}{\text{hora}} \right)$$

$$P_d = (288.00/1000.00) \text{ gr/hora}$$

$$Pd = (0.288)gr/hora$$

- Consumo de potencia celda de descargas

El cálculo de la potencia de consumo está dado de acuerdo a la Ecuación 5:

Ecuación 5: Potencia de consumo

$$Pg = \frac{Pd}{E_f} \left(\frac{1000W}{1KW} \right)$$

Donde:

Pg : Potencia consumida por la celda, dada en watts.

Pd : Producción de ozono.

E_f : Eficacia real de la celda (g/kW).

$$Pg = \frac{0.288}{34.58} \left(\frac{1000W}{1KW} \right)$$

$$Pg = 8.32W$$

Conforme a la información mostrada en los capítulos anteriores el diseño de la celda de generación de ozono se la hace en base descargas de arreglo paralelo, de acuerdo a la cantidad de ozono requerida y consumo de energía de la misma se procede al dimensionamiento del área requerida para las descargas eléctricas del generador.

- Dimensionamiento para una celda de descargas de arreglo paralelo

El tipo de generador de ozono ya mencionado es el que dispone de condiciones aceptables para la generación de ozono debido a que se tiene una reducida cantidad en el calentamiento de las placas y hace que sea un proceso adecuado en el cual no involucra un aumento de equipos para el acondicionamiento del aire de ingreso caso contrario se debería ajustar la temperatura a condiciones inferiores a 30 C°

En esta parte se dimensiona el área de descargas de acuerdo a la siguiente Ecuación 6:

Ecuación 6: Área de descargas

$$A = \frac{Pg}{Kd}$$

Donde:

A: Área de descargas.

Pg : Potencia consumida por la celda generadora de ozono.

Kd : Densidad de potencia.

$$A = \frac{8.32 W}{1000 \frac{W}{m^2}}$$

$$A = 8.32mm^2$$

Se ha decidido que el área de la primera placa de descargas para la celda sea cuadrada debido a la facilidad del corte del acero inoxidable, la misma que se conecta a la bobina de descargas, las dimensiones se consideran de acuerdo a la Ecuación 7.

Ecuación 7: Área de la placa de descargas

$$A = (L \times L)m^2$$

$$L = (\sqrt{A})m$$

$$L = (\sqrt{0.00832})m$$

$$L = (0.0912)m$$

De acuerdo al concepto de celda de placas paralelas, se necesita una placa adicional donde se recibe las descargas, en otras palabras, esta placa cumple la función del electrodo que va conectado a tierra, con la finalidad de identificar esta segunda placa, se tiene previsto una placa de área cuadrada de lado (L) de 0.115m, 20 milímetros por lado

La conformación de estas dos placas más una mica de 0.5mm de área cuadrada de lado $L = 0.115m$, se hace la celda de descargas eléctricas para la generación de ozono.

- Selección de la frecuencia de Funcionamiento y espesor del dieléctrico

La frecuencia de funcionamiento para el generador de ozono que se está diseñando es de 5.5Khz, esto debido a que la fuente de descargas las provee una bobina de encendido automotriz.

Para ser un generador de altas frecuencias, el rango va desde 1000 Hz a 10000Hz.

La fuente de alimentación del sistema de generación de descargas es una fuente de 12 voltios a 20 amperios.

De acuerdo al comportamiento de la bobina de descargas se tiene que a un valor de 5500Hz, haciendo uso del oscilador 555 se puede proveer de una señal PWM, y para ello es necesario usar las Ecuaciones 8 a 11.

Ecuación 8: Tiempo de carga (salida en alto).

$$t_1 = 0.693(R_A + R_B)C$$

Ecuación 9: Tiempo de descarga (salida en bajo).

$$t_2 = 0.693(R_B)C$$

Ecuación 10: Periodo de funcionamiento de la señal.

$$T = t_1 + t_2$$

Ecuación 11: Frecuencia de oscilación

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)C}$$

Haciendo referencia a las fórmulas anteriores, R_A y R_B son dos resistencias, las cuales al variar su valor con el valor del capacitor C , y teniendo en cuenta las rectas de la Fig. 5 se muestran los valores necesarios de R_A , R_B y C para tener una frecuencia aproximada de 5.5Khz.

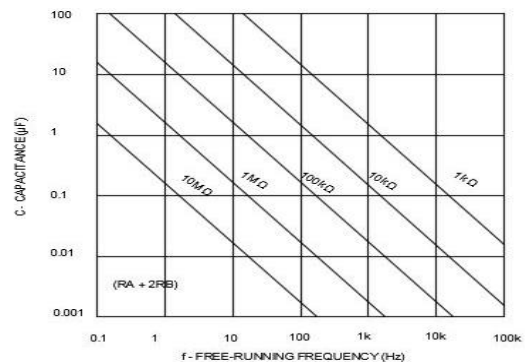


Fig. 5: Rectas para la selección del comportamiento de la señal pwm, oscilador 555.

Los elementos involucrados son:

$$R_A = 10K\Omega$$

$$R_B = 8.2K\Omega$$

$$C = 0.01\mu F$$

Reemplazando los valores de R_A , R_B y C en la Ecuación 8.
 $t_1 = 0.693(10 * 1000 + 8.2 * 1000)0.01/1000000$
 $t_1 = 126 \mu \text{ segundos.}$

De la misma forma que se obtuvo se reemplaza los valores conocidos en la Ecuación 9.

$$t_2 = 0.693(8.2 * 1000) * 0.01/1000000$$

$$t_2 = 56.826\mu \text{ segundos.}$$

Ahora ya se tiene los tiempos en alto y bajo, se reemplaza los valores de t_1 , t_2 en la Ecuación 10.

$$T = t_1 + t_2$$

$$T = (126 + 56.826)\mu \text{ segundos.}$$

$$T = (126 + 56.826)\mu \text{ segundos.}$$

$$T = 182.82 \mu \text{ segundos.}$$

Finalmente reemplazando T , en la Ecuación 11 se verifica el valor de la frecuencia de oscilación del generador de ozono asignada.

$$f = \frac{1}{182.82 \mu \text{ segundos.}}$$

$$f = 5.469Khz.$$

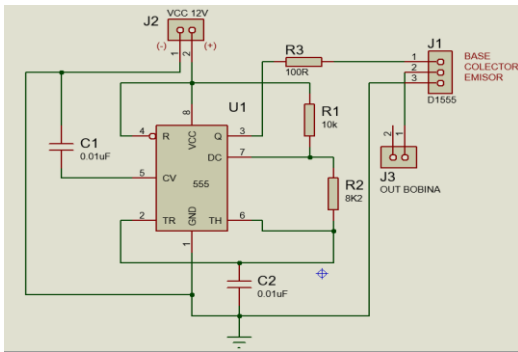


Fig. 6: Diagrama Circuito Oscilador Generador de Descargas 5.5KHz.

Se presenta el circuito resultante para el generador de descargas eléctricas.

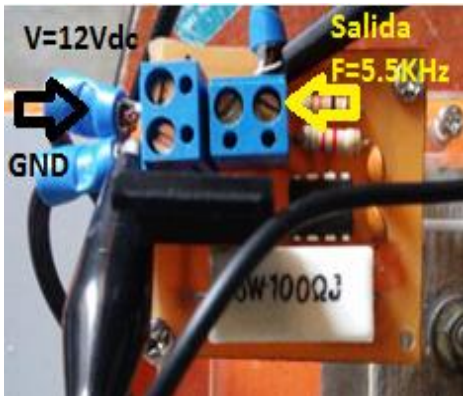


Fig. 7: Circuito resultante generador de descargas

➤ Presentación del diseño del prototipo generador de ozono

De acuerdo a la información que se acaba de describir en los subcapítulos anteriores se tiene el siguiente diagrama de bloques de todo el generador de ozono, (ver Fig. 8).

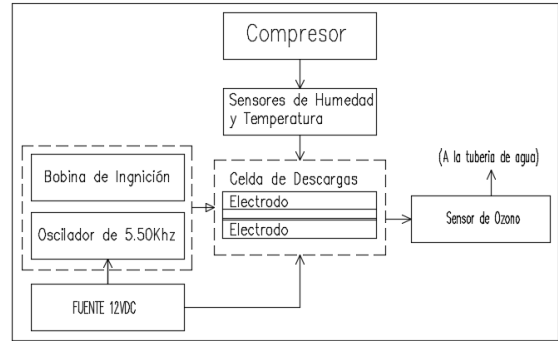


Fig. 8: Diagrama de bloques del generador de ozono

➤ Propuesta del nuevo esquema de interconexión de las partes y su justificación.

De acuerdo a las primeras pruebas de funcionamiento del sistema, se ha visto la necesidad de modificar el sistema anterior por un nuevo sistema como el que se indica, (Ver Fig. 9).

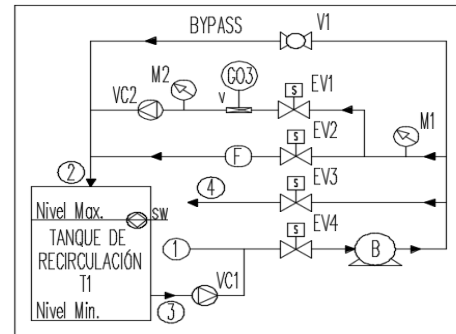


Fig. 9: Nuevo sistema de interconexión para la purificación de agua mediante ozono.

Basándose en la Fig. 9 se tiene las siguientes partes, que se muestra en la Tabla 5:

Tabla 5: Descripción y Características de los principales elementos del prototipo.

Código	Descripción	Características
1	Toma de agua a purificar	
2	Salida de recirculación	
3	Ingreso Recirculación	
4	Desagüe	
B	Bomba de recirculación	120 V AC, 60Hz, Caudal: 55Ltr/min
EV1, EV2, EV3, EV4	Electroválvulas	12 [Vdc], Diámetro IN/OUT =12.7 mm

F	Filtro de Agua	Material de fabricación: Polímero, Presión de trabajo: 0.5 - 7.00 Kg/cm ² Temperatura de trabajo: 4°C a 60°C
GO3	Generador de Ozono	Capacidad de Purificación: Hasta 180 Litros/hora, Capacidad de Generación de Ozono: 1.6Ltr/min.
M1 y M2	Manómetros	Lectura hasta 100Psi
T1	Tanque de Recirculación	Capacidad: 180 litros
v	Venturi 584	
V1	Válvula de Bola	Control manual
VC1, VC2	Válvulas check	Diámetro 19mm
ws	sensor de agua	Alimentación: 5[Vdc]

De acuerdo al diagrama de la Fig. 9 y la descripción de cada una de las partes que conforma el sistema de purificador de agua mediante ozono, se indica el funcionamiento de los elementos en cada una de las etapas en la Tabla 6.

Tabla 6: Funcionamiento de elementos del nuevo sistema de interconexión del prototipo purificador de agua mediante ozono

ETAPAS	ELEMENTOS						
	ev1	ev2	ev3	ev4	V1	B	GO3
Llenado del tanque				x	x	x	
Recirculación y filtrado de agua		x			x	x	
Recirculación y ozonización de agua	x				x	x	x
Reposo							
Vaciado del tanque				x		x	

V. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Haciendo uso del método SM 9223B, que no es más que la identificación de colonias existente de Coliformes totales y E. Coli, este análisis ha sido realizado por el personal del laboratorio de la EMAPAO, para ello se ha tomado una

muestra de 100ml y los resultados obtenidos se muestran a continuación:

COLIFORMES TOTALES: 345

E. COLI: 11

Con esta información que se refleja, se tiene como base principal de las condiciones iniciales de la calidad del agua a tratar con ozono, a continuación, se da a conocer el proceso desarrollado para la purificación del agua mediante el uso del prototipo construido.

- Comportamiento de los diferentes elementos contaminantes durante el funcionamiento de la máquina.

Ya conociendo la calidad de agua de la muestra inicial llevada a laboratorio, se procede al tratamiento de 180 litros de agua, se parte de la consideración de la recirculación de agua por las tuberías de agua con la finalidad de mezclar el ozono mediante el empleo del efecto Venturi, el tiempo de permanencia de recirculación de agua está dado de acuerdo a la Tabla 7.

Tomando en cuenta condición principal de funcionamiento del generador de descargas eléctricas a una frecuencia de 5.5Khz, y el test Kit de Ozono- HI 38054.

El kit de ozono HI- 38054 sirve para identificar la concentración existente de ozono en el agua tratada, el rango de medición esta entre 0 y 2.3 mg/L, el método de medición usado es checker disk colorimétrico. Se plantea hacer uso de este kit con la finalidad de comprobar la cantidad de ozono producido por el generador construido.

Tabla 7 Concentración de Ozono

Tiempo (min)	Concentración de Ozono (mg/L)
10	0
20	0.8
30	0.8
40	1.2
50	1.5
60	1.5

El tratamiento de agua de ha realizado en dependencia de la cantidad esperada de concentración de ozono en el agua, este ensayo se lo ha realizado haciendo pausas de 5 minutos con inyecciones de ozono de cada 10 minutos durante un lapso de tiempo alrededor de 60 minutos.

Para esto se ha visto necesario configurar el sensor MQ-131, el cual el fabricante recomienda calibrar el potenciómetro de ajuste del circuito adjunto a 150Kohm, siendo su rango de ajuste entre los valores de 100 y 200Kohm, con la finalidad de obtener valores de presencia de ozono en concentraciones aproximadas de 50 mg/L. cabe mencionar que, los valores reales obtenidos por el

sensor son valores de concentración que se puede apreciar a partir de las 24 horas que se haya polarizado este sensor. Con respecto al tratamiento de generación de ozono y los ensayos de concentración de ozono con el kit, se procede a realizar la comprobación de valores esperados de ozono en mg/hora.

Haciendo referencia a los valores máximos de concentración de ozono de la Tabla 5.1 se tiene que:

$$Pd = \left(\frac{1.5mg}{Litro}\right) \times \left(180 \frac{Litro}{hora}\right)$$

$$Pd = (270.0/1000.00)gr/hora$$

$$Pd = 0.27 \frac{gr}{hora}$$

La producción conseguida de ozono de 0.27gr/hora se aproxima a la producción esperada de 0.288 gr/hora.

➤ Comportamiento de la concentración de ozono en el agua con respecto al tiempo.

De acuerdo a las cantidades dotadas por la Tabla 7, se procede a obtener la cantidad de ozono generada durante el tiempo de generación de ozono propuesto, esta información se la resume en la Tabla 8

Tabla 8: Producción conseguida de ozono

Tiempo (min)	Producción Conseguida (mg/hora)
10	0
20	0,144
30	0,114
40	0,216
50	0,27
60	0,27

De acuerdo a la información mostrada en la Tabla 8, se tiene que:

El incremento de la generación de ozono ha sido satisfactorio ya que se logra obtener una reducción significativa de los microorganismos contenidos en la muestra de agua, que se ha tomado para un nuevo análisis de agua. Haciendo uso del método SM 9223B, para una muestra de 100ml, se tiene:

COLIFORMES TOTALES: 17

COLIFORMES FECALES: <1

De acuerdo a los análisis de agua obtenidos, se puede apreciar una reducción de micro organismos significativa a favor de la aplicación de los métodos empleados en este trabajo.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- La base teórica del presente trabajo ha sido lo necesario para poder establecer un modelo de diseño del generador de ozono para la purificación de ozono.

- La comprobación del diseño establecido ha sido tomada en cuenta a partir de la comprobación de datos obtenidos de las pruebas experimentales y ensayos realizados con el test Kit de Ozono- HI 38054, viendo así la reducción de microorganismos que se ha obtenido de la calidad del agua.
- De acuerdo a la cantidad requerida de la producción de ozono de 0.288gr/h, el valor obtenido de 0.27gr/hr, es aceptable tomando en cuenta que se ha obtenido una gran reducción de E. Coli., con esto se puede decir que de agua tratada está siendo purificada.
- El tiempo de generación de ozono se ha visto útil para este trabajo ya que se ha conseguido alcanzar los valores necesarios para purificar agua mediante el uso del prototipo construido.
- El funcionamiento y eficiencia del prototipo implementado se refleja en las pruebas microbiológicas del agua tratada con ozono, como también en valores de presencia de ozono entre 0. y 1.50mg/L de ozono producido, de acuerdo a los parámetros de diseño planteados, se ha logrado conseguir condiciones del agua tratada favorables para su uso.

RECOMENDACIONES

- Las pruebas empleadas para verificar el efecto de purificación del ozono en el agua han sido una base para dar a conocer el estado inicial y final del agua tratada, adicional a esto ya teniendo en cuenta el estado microbiológico es recomendable hacer una verificación adicional con el kit de ozono HI – 38054, debido a que es de fácil uso y respalda el funcionamiento del prototipo construido.
- Es útil tomar en cuenta el estado de los elementos de recirculación de agua, ya que una previa limpieza y desinfección de las tuberías y demás elementos serviría para mostrar mejores condiciones del agua a ser tratada con el prototipo de generación de ozono.
- Considerado el funcionamiento del prototipo implementado es necesario aumentar el tiempo de permanencia de la producción de ozono, tomando en cuenta que se ha obtenido una cantidad similar de ozono producido en referencia a la dosificación necesaria.
- Con la finalidad de mejorar la calidad de prestación y verificación de ozono como medio de purificación de agua es útil hacer uso de equipos de medición industrial, los cuales doten al usuario una mejor certeza de confiabilidad con respecto al uso de ozono.

REFERENCIAS

- Beutelspacher, E., & Calderón, J. (26 de agosto de 2005). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR DE OZONO PARA APLICACIONES DE PURIFICACIÓN DE AGUA. Obtenido de CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO: <http://www.cenidet.edu.mx/subaca/web-mktro/submenus/investigacion/tesis/19-20%20Erwin%20Beutelspacher%20Santiago%20-%20Jose%20Maria%20Calderon%20Ancona.pdf>
- Fernández, J. (febrero de 2005). Caracterización eléctrica de una célula generadora de ozono de tipo placas paralelas. Obtenido de Departamento de electrónica CENIDET: http://www.cenidet.edu.mx/subaca/web-elec/tesis_mc/167MC_jfe.pdf
- GOTTHALT, C., LIBRA, J., & SAUPE, A. (2010). Ozonation of Water and Waste Water (Segunda ed.). Alemania: WILEY-VCH.
- López, A. (Septiembre de 2011). Diseño de un proceso de ozonización por inyección venturi para la eliminación de pesticidas presentes en un afluente a una estación de tatamiento de agua potable. Obtenido de Rodin UCA: <http://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/14947/b35632082.pdf?sequence=1>http://www.sadyt.com/es_en/Images/Ozone%20Generator_tcm23-4724.pdfhttp://lapham25.tripod.com/archivos/prototipo_ozono.pdfhttps://www.researchgate.net/publication/265510735_Estu
- López, D., & Vásconez, J. (20 de noviembre de 2013). Diseño e Implementación de un Prototipo Generador de Ozono para Purificación de Agua para el Consumo Humano. Obtenido de Escuela Politécnica del Ecuador: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7053/1/CD-5230.pdf>

Autor

SANTIAGO FIDEL ROBLES MALDONADO.

Nació en la ciudad de Cayambe –Pichincha- Ecuador, el 16 de febrero de 1989.

Estudios Universitarios realizados en la Universidad Técnica del Norte, Carrera de ingeniería Mecatrónica.