

Artículo Original

# Diseño e implementación de un generador industrial de ozono para purificación de agua

Design and implementation of an ozone industrial generator to water purification

César Palacios - Franco Palacios

Departamento de Eléctrica y Electrónica, Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE", Sangolquí, Ecuador

cnpalacios@espe.edu.ec

Carrera de Mecánica Industrial, Instituto Superior Tecnológico "Tsa'chila", Santo Domingo, Ecuador

francopalacios@tsachila.edu.ec

## RESUMEN

El artículo contiene los parámetros de diseño e implementación de un generador de ozono industrial mediante arco eléctrico generado por una bobina de encendido de cartucho alimentada por un circuito oscilador, con entrada de aire del ambiente, para el diseño se ha tomado como referencia la frecuencia de 4kHz que es la óptima a la que trabaja un equipo generador de ozono con ingreso de oxígeno por tanque. El proceso será controlado por una HMI mediante una placa con microprocesador, para tener tres modos de operación: continuo, temporizado y de medición de ozono mediante un sensor de alta concentración MQ131.

## Palabras Claves

frecuencia, HMI, O<sub>3</sub>, ozono, ppm

## ABSTRAC

The article contains the design and implementation parameters of an industrial ozone generator through of an electric arc generate by a cartridge ignition coil powered by an oscillator circuit, with ambient air input, for the design the frequency has been taken as reference of 4kHz which is the optimum to work an ozone generating equipment with oxygen input per tank. The process will be controlled by an HMI using a microprocessor board, to have three modes of operation: continuous, timed and ozone measurement using a high concentration sensor MQ131.

## Keywords

frequency, HMI, O<sub>3</sub>, ozone, ppm

## I. Introducción

El ozono es una sustancia química compuesta por tres átomos de oxígeno ( $O_3$ ), que lo vuelven un oxidante muy poderoso, llegándose a comparar con el cloro.

En Ecuador el ozono es objeto de estudio, Ángel Llerena Hidalgo realizó el análisis de la incidencia del  $O_3$ , en los cultivos del banano, contrarrestando el hongo sigatoka negra, estudio por el cual, llega a ser el primer ecuatoriano nominado a un Premio Nobel en Fisiología [1].

Al ozono se le ha dado varios usos en diferentes áreas, por citar algunos ejemplos, en la ganadería como regadío de plantaciones para evitar el uso de pesticidas y plaguicidas. Además, en limpieza de piscinas acuícolas o de acuarios, en la industria alimenticia para evitar la proliferación de virus, bacterias, moho en cárnicos, frutas, vegetales, en la higienización de equipos e instalaciones alimentarias, en el sistema de distribución de agua potable de casas, edificios, conjuntos residenciales, en los sistemas de plantas purificadoras de agua que es el tema en que se centra el presente artículo.

Es de vital importancia disponer de equipos generadores de ozono en las empresas de tratamiento de agua para consumo masivo, puesto que sin las propiedades del  $O_3$  el agua adquiere mal olor, color turbio y consistencia babosa en presencia de calor.

Los estudios develan que para una correcta generación de ozono con efecto corona se requiere de un oscilador de 4kHz a 12 voltios para alimentar la bobina de alto voltaje que energizará al reactor [2].

Para la crisis sanitaria actual que cubre a todo el mundo por la enfermedad del coronavirus (COVID-19 del inglés coronavirus disease 2019), el ozono está tomando un papel importante para contrarrestar los contagios con la creación de cabinas de desinfección con  $O_3$ . En Wuhan usaron inmediatamente en hospitales a partir del estallido del brote, además es suministrado en los sistemas de flujo de aire para evitar la contaminación de las habitaciones y prevenir eficazmente la infección de los trabajadores [3].

Estas medidas han adoptado más países como Italia, en donde la Sociedad Científica de Oxígeno Ozono Terapia (SIOOT del italiano *Società Scientifica di Ossigeno Ozono Terapia*) ha probado en pacientes COVID-19 positivo un tratamiento de oxígeno ozonoterapia para contrarrestar el virus, que ahora se aplica en muchos hospitales, lo que constituye la red de hospitales/universidades más grande de Italia, siendo efectivo en 39 de 46 pacientes según el reporte más actual [4]. El Ecuador está empezando a implementar cabinas de desinfección con ozono, en la ciudad de Riobamba se instalaron cuatro, en sitios de mayor afluencia y casas de salud, con auspicio del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Municipal de Riobamba a través de la empresa Axxis [5].

Por estas razones existe la necesidad imperante de

realizar investigaciones sobre el uso del ozono en el país, contemplando esto se realizó la presente investigación que posee la siguiente estructura: en la sección II la metodología de diseño del generador es dividida en control del equipo, circuito oscilador y etapa de potencia, la sección III contiene los resultados tras realizar las pruebas pertinentes para corroborar la frecuencia del oscilador, dado esto se procede a tomar la medición de la concentración de ozono, posteriormente se realiza un análisis de los resultados en la sección IV. Finalmente, se concluye de manera puntual en la sección V.

## II. Método

El generador diseñado permite el ingreso de aire extraído del ambiente mediante un compresor electromagnético con una caudal de salida de 60 [L/min], que en el sistema internacional (SI) equivale a 0,001 [ $m^3/s$ ] observar la Fig. 1, en el estudio, se usa una frecuencia de 4 [kHz] con una entrada de oxígeno puro [2], se analizará si dicha frecuencia actúa de manera óptima al ingresar al generador aire del ambiente.



Fig. 1. Datos técnicos del compresor.

Respecto a la medición de la generación de ozono, se la ha realizado con un sensor MQ131 de alta concentración de la marca Winsen como se observa en la Fig. 2, que mide hasta 1000 partes por millón (ppm) de  $O_3$ .



Fig. 2. Sensor MQ131 de alta concentración marca Winsen.

### A. Control del equipo

Se ha usado una placa con microcontrolador, Arduino Nano, que permite al usuario manejar el equipo a través de

una interfaz humano-máquina (HMI del inglés Human-Machine Interface), observar Fig. 3, conformada por una LCD 20x4 y un teclado de membrana con cuatro botones que cumplen las siguientes funciones:

- ON/OFF: encender y apagar la generación de ozono.
- TIMER: activar o desactivar la temporización.
- H: aumentar horas para temporización.
- M: aumentar minutos para temporización.
- METER (H y M a la vez): activar medidor de ozono.



Fig. 3. HMI del equipo.

En el software se realizó un diseño previo, a través de un diagrama grafcet, que facilitó la programación de procesos automáticos síncronos con etapas, Fig. 4, consiste en un control de funcionamiento en el que se tiene tres modos de operación:

- Modo Temporizado: se temporiza el generador usando el botón H, que incrementa el tiempo 3 600 segundos, y el botón M aumenta 300 segundos, el tiempo máximo al que se puede temporizar es de 3 semanas, 3 días, 20 horas y 31 minutos, si se desea apagar antes que termine el tiempo preestablecido se debe pulsar el botón ON/OFF.
- Modo Continuo: para activar el generador se pulsa el botón ON/OFF, que trabaja hasta apagarlo manualmente pulsando el botón ON/OFF nuevamente.
- Modo Medidor: se activa el generador y el sensor, mediante relés, para empezar su precalentamiento, dando los valores de medición en la HMI, para salir de este modo se debe pulsar los botones H y M al mismo tiempo.

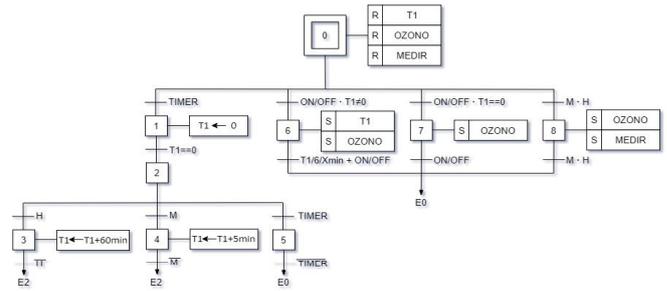


Fig. 4. Grafcet del control de funcionamiento.

### B. Circuito oscilador

El circuito oscilador se lo diseño basándose en el circuito integrado 555, que genera la frecuencia necesaria para activar la bobina de encendido, primero se realizó para 4 [kHz], pero los resultados no fueron satisfactorios, debido a que realizando el ensayo de medición, este detectó bajas concentraciones de  $O_3$ , que no fue perceptible al olfato humano, el olor es metalizado con un ligero toque de láctico fácil de reconocer.

Por lo que se llevó a cabo un nuevo análisis para la creación del circuito oscilador, Fig. 5, aplicando un oscilador variable a la excitación de la bobina entre los 22 [kHz] a 68 [kHz].

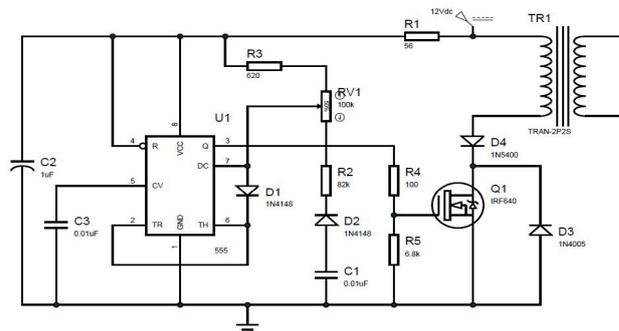


Fig. 5. Circuito oscilador variable.

### C. Etapa de potencia

Se usa una bobina de encendido de cartucho o botella, como se indica en la Fig. 6, ésta es utilizada en vehículos antiguos, compuesta por un arrollamiento primario y secundario, tiene una relación de espiras de 1:1000 aproximadamente, dado que la alimentación es de 12 [V] de corriente directa (DC del inglés direct current) se supone un voltaje de 12 [kV] de DC en el secundario que es lo que genera el arco eléctrico [6].



Fig. 6. Bobina de encendido tipo cartucho.

Dado el alto voltaje se usó el cable que conecta el Flyback de los televisores antiguos, el cual es adecuado para no sufrir una descarga al tocarlo o generar estática hacia el microcontrolador.

En el reactor sucederá la electrificación del oxígeno para convertirlo en ozono, se necesita dos factores, el aire del ambiente y la salida de voltaje de la bobina. El aire fluye a través de una tubería que tiene en su interior un tubo de vidrio que actúa como dieléctrico entre un mallado de acero inoxidable que lo recubre con el positivo del voltaje y el negativo mediante otro mallado por el interior del tubo, observar la Fig. 7, el interior del reactor de una forma esquemática [7].

La salida de ozono no es 100% pura pues va con ciertas partículas de oxígeno, se puede obtener hasta un 85% de transformación de oxígeno a ozono y esa cantidad de  $O_3$  es la que ingresa directamente al tanque reservorio de agua [8].

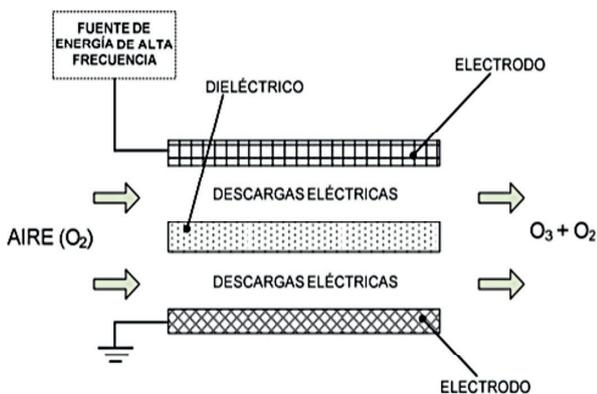


Fig. 7. Interior del Reactor [7].

### III. Resultados

Como resultado final se obtiene un generador de ozono formado por diferentes etapas, representadas en un diagrama de bloques que se indica en la Fig. 8, una vez terminadas las etapas se procede a unirlas para formar en su totalidad el generador de ozono industrial, Fig. 9.

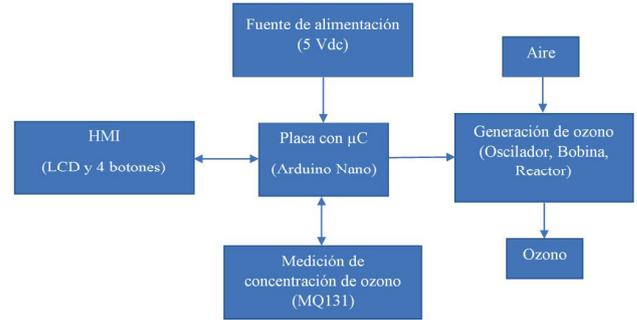


Fig. 8. Diagrama de bloques del equipo generador de ozono.



Fig. 9. Interior detallado del equipo generador de ozono.

Todo el equipo se lo armó en un tablero industrial con protección IP67 y quedó empotrado a una pared, como se muestra en la Fig. 10.



Fig. 10. Exterior del equipo generador de ozono.

El equipo diseñado es de bajo consumo de corriente eléctrica, la medición se realizó con un medidor de corrien-

te tipo pinza de la marca Uni-t, dando como resultado 1200 [mA] de consumo, lo cual demuestra la eficiencia de usar circuitos eléctricos para la generación de ozono, en lugar de transformadores que producen un alto consumo de corriente eléctrica, siendo una de las desventajas de los generadores de ozono según el Grupo de Ingeniería Química de la Universidad de Alcalá [9].

Para proceder con la medición de la frecuencia se elaboró primero el circuito impreso en placa de fibra de vidrio, Fig. 11, para garantizar la frecuencia real con que se va a trabajar, se usa un multímetro marca Proskit que mide hasta los 200 [kHz], obteniendo valores que oscilan entre 22 [kHz] a 68 [kHz] aproximadamente, para observar exactamente la forma de onda generada es necesario usar un osciloscopio, pero conociendo que un oscilador 555 genera una señal cuadrada.



Fig. 11. Circuito oscilador variable.

La medición de ozono no es directa, por lo que se diseñó un circuito acondicionador al sensor MQ131, para que se obtenga una medida de ppm de  $O_3$  en función del voltaje, observar la Fig. 12, una válvula manual permite cambiar la salida de ozono hacia otra manguera, al extremo del equipo donde se encuentra el sensor, para evitar retirar la manguera que está conectada al proceso de purificación de agua, Fig. 9, se realiza un precalentamiento del sensor de 48 horas, antes de la medición según la hoja de datos del fabricante [10].

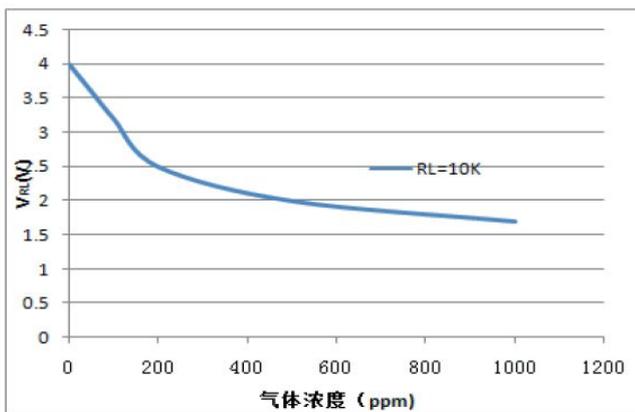


Fig5. Sensitivity Curve

Fig. 12. Curva de comportamiento del sensor de ozono [10].

Para conocer la concentración en gramos por hora se toma el tiempo en que demora el sensor en dar un valor estable o a su vez llegar hasta los 1 000 ppm, obteniendo un tiempo de 720 segundos, se realizó la transformación respectiva:

$$\text{Concentración } O_3 = \frac{1g}{728 \text{ seg}} * \frac{3\ 600 \text{ seg}}{1h} \approx 4.95 \text{ g/h} \quad (1)$$

Tomando en cuenta el SI, se tiene aproximadamente  $1,375 \times 10^{-6}$  [kg/s], siendo esta la generación máxima de ozono variando el potenciómetro hasta obtener los 68 [kHz].

#### IV. Análisis de resultados

Como hipótesis del proyecto se planteó que el oscilador a 4 [kHz] era la frecuencia óptima para la generación de ozono, pero no se cumplió debido a que no se contaba con oxígeno puro [2], por lo que se obtuvo aproximadamente un generador industrial comercial tipo Welsbach C. y G., Tabla I, como lo indica la Sociedad Química Americana (ACS del inglés American Chemical Society). [11].

Tabla I. Parámetros de generadores de ozono industriales comerciales [11].

Parámetros	Siemens-Halske	Otto	Van Der Made	Welsbach C. y G.
Voltaje [V]	6 000	20 000	7 000 a 8 000	15 000
Frecuencia [Hz]	10 000	500	500	50 o 60
Gas de alimentación	Oxígeno o aire	Aire	Aire	Oxígeno y aire
Tipo de reactor	Tubulares	Placas paralelas	Tubulares	Tubulares
Material de los electrodos	Agua	Aluminio o hierro	Acero inoxidable y agua	Acero inoxidable y grafito o aluminio
Material del dieléctrico	Vidrio	Vidrio	Vidrio	Pyrex (Vidrio)
Espacio de descarga [mm]	1,500	3	1	2,500
Espesor del dieléctrico [mm]	1,500	3,200 a 4,800	2	
Rendimiento de energía [g/Kw. hora]	36	22-27	32	0,100 a 0,118
Concentración de ozono [mg * litro de aire]	8	3 a 5	1,500 a 3	10 a 12
Producción nominal [kg * hora]	0,600 (aire) 1,200 (oxígeno)	1,815	0,113	2,208 (oxígeno) 1,134 (aire)
Sistema de refrigeración	Agua	Agua pulverizada	Agua	Agua

El ozono es irritante en niveles superiores a 0,05 ppm con 8 horas de exposición, por lo que es necesario tener un temporizador incorporado para que no afecte de alguna forma a los operarios [12].

En la mayoría de estados de EE.UU. es prohibido

comercializar generadores de ozono, darles uso médico en terapias o realizar algún tipo de investigación o ensayo clínico, llegando a tener graves consecuencias como perder su licencia médica, prisión por 8 años y multas que ascienden los \$100 000 dólares [13].

Pero esto sucede usándolo en la rama de la medicina con la cual no se debe jugar, para ello se debe tener un buen respaldo científico, que sí existe para el tratamiento de purificación de agua, el Grupo de Ingeniería Química de la Universidad de Alcalá afirma que el ozono permite la eliminación de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos, reduciéndose el carbono orgánico total (TOC del inglés Total Organic Carbon), olor, color, sabor y turbidez de las aguas, es típicamente empleado en una pre-desinfección para el control de algas e inactivación de bacterias, virus, sustancias tóxicas y compuestos farmacéuticos [9].

## V. Conclusiones

Para la generación de ozono mediante un arco eléctrico tomando el aire del ambiente y usando como elevador de voltaje una bobina de encendido de cartucho se debe emplear un oscilador de aproximadamente 22 kHz a 68 kHz.

Al usar un circuito oscilador en conjunto con una bobina de encendido de cartucho se reduce significativamente el consumo de energía y se mantiene una alta concentración de ozono del equipo generador.

## VI. Referencias

- [1] El Universo, «Ángel Llerena Hidalgo: Estar nominado a Nobel es recompensa a investigación,» 16 Septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/09/16/nota/6954581/estar-nominado-nobel-es-recompensa-investigacion>.
- [2] J. Seok Park, K. Ho Kim, G. Jin Kwon, A. Lukanin, O. Khasanov, Y. Soo Kim y J. Shin Lee, «Development of small and efficient ozone generators using corona discharge,» de 5th Korea-Russia International Symposium on Science and Technology, Tomsk, Russia, 2001.
- [3] Xinhua, «China.org.cn,» 26 Marzo 2020. [En línea]. Available: [http://www.china.org.cn/china/Off\\_the\\_Wire/2020-03/26/content\\_75863707.htm](http://www.china.org.cn/china/Off_the_Wire/2020-03/26/content_75863707.htm). [Último acceso: 12 Abril 2020].
- [4] L. Valdenassi y M. Franzini, «SECONDO REPORT - OSSIGENO OZONO SIOOT NEI PAZIENTI RICOVERATI CON COVID-19,» SIOOT, Bergamo, 2020.
- [5] Municipio de Riobamba, «Facebook,» 10 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://www.facebook.com/napocadena/videos/3530950123586811/>. [Último acceso: 12 Abril 2020].
- [6] FAE, «FAE,» 2017. [En línea]. Available: [http://www.fae.es/files/product\\_catalog/pdf/fae-ce2-encendido.pdf](http://www.fae.es/files/product_catalog/pdf/fae-ce2-encendido.pdf).
- [7] D. López Caiza y J. Vásquez Hurtado, «Diseño e implementación de un prototipo generador de ozono para purificación de agua para el consumo humano,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2013.
- [8] G. Theissen, «Tesis de Maestría,» Munich, 2009.
- [9] Red Madrileña de Tratamientos Avanzados para Aguas Residuales con Contaminantes no Biodegradables «REMTAVARES», «madrid Blogs,» 16 enero 2008. [En línea]. Available: <https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2008/01/16/82477>.
- [10] Winsen, Ozone Gas Sensor (Model: MQ131 High Concentration), Zhengzhou, 2015.
- [11] Internacional Ozone Conference, «Ozono Chemistry and technology,» Chicago, Estados Unidos, 1959.
- [12] ASP-asepsia, «ASPozono,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.aspozono.es/pdf/catalogo-generadores-ozono.pdf>.
- [13] A. González Arias, «La controvertida ozonoterapia,» ResearchGate, pp. 62, 63, 2010.