

# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**



**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA:**

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

**AUTOR: SANTIAGO FIDEL ROBLES MALDONADO**

**DIRECTOR: MSC. ING. IVÁN IGLESIAS NAVARRO**

**Ibarra- Ecuador**

**2016**

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

#### A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del Proyecto Repositorio digital Institucional, determina la necesidad de disponerlos textos completos de forma digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo que pongo a disposición la siguiente información:

#### DATOS DE CONTACTO

<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1003309653		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Santiago Fidel Robles Maldonado		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Cayambe, Barrio Bellavista (Calle Vista Hermosa y Quilago)		
<b>EMAIL:</b>	<a href="mailto:santifider@gmail.com">santifider@gmail.com</a>		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	02480240	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0980105719

#### DATOS DE LA OBRA

<b>TÍTULO:</b>	GENERADOR DE OZONO PARA UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA EN PISCINAS RECREATIVAS Y TERAPÉUTICAS.
<b>AUTOR:</b>	Robles Maldonado Santiago Fidel
<b>FECHA:</b>	Octubre del 2016

#### SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO

<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniería en Mecatrónica
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	Msc. Iván Iglesias

## 2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

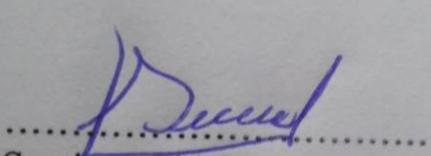
Yo, SANTIAGO FIDEL ROBLES MALDONADO, con cédula de identidad 100330965-3, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo en la biblioteca de la Universidad con fines académicos, para aplicar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior artículo 144.

## 3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que soy el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 27 días del mes octubre del 2016

EL AUTOR:



Santiago Fidel Robles Maldonado  
CI: 100330965-3



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

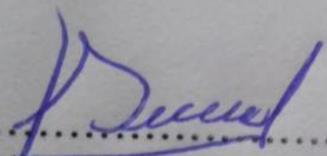
### BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

#### **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo SANTIAGO FIDEL ROBLES MALDONADO, con cedula de identidad Nro. 1003309653, manifiesto de mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor del trabajo de grado denominado: GENERADOR DE OZONO PARA UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA EN PISCINAS RECREATIVAS Y TERAPÉUTICAS, que ha sido desarrollado para optar por el título de INGENIERO EN MECATRONICA en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad Técnica del Norte para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Además, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional.

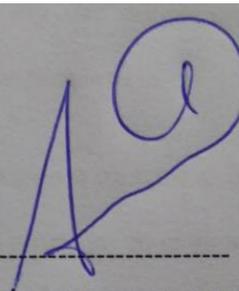
Ibarra, a los 27 días del mes de octubre del 2016



.....  
Santiago Fidel Robles Maldonado  
CI: 100330965-3

## CERTIFICADO DEL ASESOR

El señor Santiago Fidel Robles Maldonado ha trabajado en su totalidad en el desarrollo del proyecto de tesis “GENERADOR DE OZONO PARA UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA EN PISCINAS RECREATIVAS Y TERAPÉUTICAS”, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica, trabajo que lo realizó con interés profesional y responsabilidad, es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.



-----  
MSC. ING. IVÁN IGLESIAS NAVARRO  
DIRECTOR PROYECTO

## AGRADECIMIENTO

Al concluir con esta etapa de mi vida quiero agradecer principalmente a Dios el cual me da la vida día a día el cual siempre ha sido participe de mis triunfos y derrotas a lo largo de mi vida, a mis queridos y amados padres que sin ellos no lograría culminar una etapa de mi vida con su arduo apoyo a lo largo de mis estudios, a mis hermanos los que me animaban constantemente a que continué sin desmayar a seguir siempre adelante a pesar de los obstáculos.

Quiero extender un sincero y cariñoso agradecimiento a unas personas especiales Angie, Omar, por ser parte de este triunfo, los que desinteresadamente influyeron directa o indirectamente en la culminación de este proyecto.

Quiero expresar mi agradecimiento también a mi tutor al Ing. Iván Iglesias por brindarme sus sabios consejos y recomendaciones acertadas en el desarrollo.

A la Universidad Técnica del Norte, la Facultad de Ingeniería en Ciencias aplicadas y al personal docente el cual me permitió ampliar mis conocimientos.

S.F.R.M.

## **DEDICATORIA**

La presente tesis dedico a mis amados padres por estar siempre a mi lado que gracias a su apoyo incondicional sin interés me han brindado a lo largo de mi carrera universitaria gracias a ellos que son el pilar fundamental de mi vida.

S.F.R.M.

## ÍNDICE GENERAL

1.	IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	ii
2.	AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD.....	iii
3.	CONSTANCIAS.....	iii
	CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRAGO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	iv
	CERTIFICADO DEL ASESOR.....	v
	AGRADECIMIENTO .....	vi
	DEDICATORIA .....	vii
	ÍNDICE GENERAL .....	viii
	ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
	ÍNDICE DE TABLAS .....	xviii
	RESUMEN .....	xix
	ABSTRACT.....	xx
	INTRODUCCIÓN .....	xxi
	 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	 xxi
	CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA .....	xxi
	ANTECEDENTES.....	xxi
	IMPORTANCIA .....	xxii
	PROBLEMA .....	xxii
	OBJETIVOS.....	xxiii
	JUSTIFICACIÓN.....	xxiii

CAPÍTULO I .....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL OZONO.....	2
1.3 ANTECEDENTES DE ESTUDIOS SIMILARES A NIVEL MUNDIAL.....	3
1.3.1 Investigaciones realizadas basadas en el empleo de ozono.....	3
1.4 ESTUDIOS REALIZADOS EN UNIVERSIDADES ECUATORIANAS .....	4
1.5 ANÁLISIS DE LAS DESVENTAJAS DE OTROS SISTEMAS DE PURIFICACIÓN DE AGUA .....	5
1.6 APLICACIONES GENERALES DE LOS GENERADORES DE OZONO .....	8
1.6.1 Medicina (ozonoterapia y desinfección de instrumental) .....	8
1.6.2 Odontología.....	8
1.6.3 Industria alimenticia.....	9
1.6.4 Desinfección y desodorización de ambientes.....	9
1.6.5 Sector agropecuario.....	9
1.6.6 Industria química.....	10
1.7 NORMATIVAS INTERNACIONALES QUE RIGEN LA PRODUCCIÓN Y CONTROL DE OZONO .....	10
1.7.1 Límites permitidos.....	11
1.7.2 Inhalación.....	11
1.8 MÉTODOS DE MEDICIÓN PARA LA GENERACIÓN DE OZONO .....	13

1.8.1 Norma mexicana que regula la medición y calibración de generadores de ozono - NOM-CCAM-003-ECOL / 1993. ....	13
1.8.1.1 Principio y Descripción del método.....	13
1.8.1.2 Calibración de Equipos de medición .....	13
1.8.2 Método Amperométrico .....	14
1.8.3.1 N´ N – Dietil-p-fenilendiamina (DPD) .....	15
1.9.1 Piscinas de Hidromasaje.....	15
 CAPÍTULO II.....	 19
ESTUDIO DE UN SISTEMA DE PURIFICACIÓN DE AGUA DE LA LOCALIDAD ..	19
2.1 INTRODUCCIÓN.....	19
2.2 CARACTERÍSTICA Y ESTRUCTURA DEL SISTEMA ACTUAL INSTALADO EN LAS PISCINAS.....	19
2.3 ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES QUE DEFINEN LA CALIDAD DEL AGUA.....	20
2.3.1 Normas de calidad y límites permisibles del agua .....	21
2.4 DEBILIDADES DE LOS SISTEMAS DE PURIFICACIÓN DE AGUA .....	22
2.5 POSIBLES ARQUITECTURAS DE CONEXIÓN DEL NUEVO SISTEMA QUE SE PROPONE.....	23
2.5.1 Primera opción para el nuevo sistema de tratamiento de agua en la piscina de hidromasaje. ....	23
2.5.2 Segunda opción para el nuevo sistema de tratamiento de agua en la piscina de hidromasaje. ....	24
 CAPÍTULO III.....	 27

DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL GENERADOR DE OZONO.....	27
3.1 INTRODUCCIÓN.....	27
3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONFORMAN UN GENERADOR DE OZONO. ....	27
3.2.1 Cámara del gas de alimentación.....	28
3.2.2 Fuente de Alimentación .....	29
3.2.3 Celda de Descargas .....	29
3.2.4 Sistema de Enfriamiento .....	30
3.2.5 Sistemas de Inyección de Ozono al Agua .....	30
3.3 FUNCIONAMIENTO DE LOS GENERADORES DE OZONO. ....	30
3.3.1 Preparación del gas de alimentación .....	31
3.3.3 Inyección de ozono para el tratamiento de purificación de agua .....	32
3.4 COMO SE LLEVA A CABO EL PROCESO DE PURIFICACIÓN DEL AGUA ...	32
3.5 ANÁLISIS DE OTRAS ESTRUCTURAS DE INTERCONEXIÓN DE GENERADORES DE OZONO EN LA PURIFICACIÓN DEL AGUA.....	33
CAPÍTULO IV.....	35
4.1 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO GENERADOR DE OZONO. ....	35
4.1.1 Condiciones de funcionamiento de una piscina de Hidromasaje existente.....	35
4.1.2 Descripción de las etapas de funcionamiento y elementos que conforman el generador de ozono para la purificación de agua.....	39

4.1.2.1 Elementos que conforman el prototipo purificador de agua mediante ozono .....	39
4.1.2.2 Descripción de cada uno de los elementos que conforman el prototipo para la purificación de agua.....	41
4.1.2.3 Condiciones de funcionamiento del prototipo para la purificación de agua.	47
4.2 ESPECIACIONES DE DISEÑO PARA EL PROTOTIPO GENERADOR DE OZONO.....	48
4.2.1 Consumo de potencia celda de descargas .....	49
4.2.2 Dimensionamiento para una celda de descargas de arreglo paralelo .....	50
4.2.3 Selección de la frecuencia de Funcionamiento y espesor del dieléctrico .....	52
4.3 PRESENTACIÓN DEL DISEÑO DEL PROTOTIPO GENERADOR DE OZONO .....	56
4.4 PASOS PARA LA PUESTA EN MARCHA DEL GENERADOR DE OZONO DISEÑADO.....	58
4.5 PROPUESTA DEL NUEVO ESQUEMA DE INTERCONEXIÓN DE LAS PARTES Y SU JUSTIFICACIÓN.....	58
4.5.1 Condiciones de funcionamiento del nuevo sistema de interconexión del prototipo de purificación de agua mediante ozono.....	61
4.6 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA .....	62
CAPÍTULO V .....	69
PRUEBAS Y ANÁLISIS DE L RESULTADOS.....	69
5.1 COMPORTAMIENTO DE LOS DIFERENTES ELEMENTOS CONTAMINANTES ANTES DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA.....	69

5.2 COMPORTAMIENTO DE LOS DIFERENTES ELEMENTOS CONTAMINANTES DURANTE EL FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA. ....	70
5.3 COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE OZONO EN EL AGUA CON RESPECTO AL TIEMPO.....	72
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	73
CONCLUSIONES .....	73
BIBLIOGRAFÍA .....	75
ANEXOS .....	84
ANEXO A .....	84
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PLACA DE CONTROL ARDUINO MEGA 2560 .....	84
ANEXO B.....	85
HOJA DE DATOS SENSOR DE PRESENCIA DE AGUA. ....	85
ANEXO C.....	86
HOJA DE DATOS SENSOR DE TEMPERATURA TTC103.....	86
ANEXO D. ....	87
HOJA DE DATOS SENSOR DE HUMEDAD HIH4030 .....	87
ANEXO E.....	91
HOJA DE DATOS SENSOR DE OZONO MQ 131 .....	91
ANEXO F. ....	94
PLANOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS DEL PROTOTIPO.....	94
ANEXO G .....	96
PLANOS MECÁNICOS DE LA CELDA DE DESGARGAS.....	96
ANEXO H .....	97
CÓDIGO PROGRAMACIÓN ARDUINO.....	97
ANEXO I.....	107
PRUEBAS MICROBIOLÓGICAS MUESTRA DE AGUA NATURAL.....	107
ANEXO J.....	108
PRUEBAS MICROBIOLÓGICAS AGUA TRATADA CON OZONO.....	108
ANEXO K .....	109

PROCEDIMIENTO DEL MÉTODO DE TEST DE OZONO MEDIANTE EL KIT HI38054.....	109
ANEXO L.....	111
HOJA DE DATOS LM555 TIMER.....	111
ANEXO M.....	112
MANUAL OPERACIÓN DEL PROTOTIPO.....	112

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

<b>Figura 1.1:</b> Esquema del proceso de radiación ultravioleta.....	6
<b>Figura 1.2:</b> Esquema del proceso de osmosis inversa .....	7
<b>Figura 1.3:</b> Hidromasaje con recirculación de uso colectivo.....	16

### CAPÍTULO II

<b>Figura 2.1:</b> Sistema de Tratamiento de agua para la piscina de hidromasaje.....	20
<b>Figura 2.2:</b> Primera opción de ozonificación para el tratamiento de agua .....	23
<b>Figura 2.3:</b> Segunda opción de ozonificación para el tratamiento de agua .....	24

### CAPÍTULO III

<b>Figura 3.1:</b> Elementos que conforman un Equipo de Ozono.....	28
--------------------------------------------------------------------	----

### CAPÍTULO IV

<b>Figura 4.1:</b> Implantación del hidromasaje del complejo de la UTN .....	36
<b>Figura 4. 2:</b> Detalle de elementos prototipo Purificador de agua mediante ozono.....	40
<b>Figura 4. 3:</b> Tanque de 180 litros.....	41
<b>Figura 4.4:</b> Tuberías y accesorios de conexión tipo Hidro3 .....	42
<b>Figura 4. 5:</b> Bomba de agua 55Ltr/min.....	42
<b>Figura 4. 6:</b> Filtro estándar de 50 micras .....	43

<b>Figura 4.7:</b> Manómetro de 100Psi .....	44
<b>Figura 4. 8:</b> Válvula check.....	44
<b>Figura 4. 9:</b> Venturi Mazzei 584.....	45
<b>Figura 4. 10:</b> Electroválvula de 12 voltios.....	45
<b>Figura 4. 11:</b> Válvula de media vuelta.....	46
<b>Figura 4. 12:</b> Compresor de Aire 40Ltr/min.....	46
<b>Figura 4. 13:</b> Dimensiones de la placa de descargas 1. ....	51
<b>Figura 4. 14:</b> Dimensiones placa de descargas 2 .....	52
<b>Figura 4. 15:</b> Rectas para la selección del comportamiento de la señal pwm, oscilador 555.....	54
<b>Figura 4. 16:</b> Diagrama Circuito Oscilador Generador de Descargas 5.5KHz.....	55
<b>Figura 4. 17:</b> Circuito resultante generador de descargas.....	56
<b>Figura 4. 18:</b> Diagrama de bloques del generador de ozono .....	56
<b>Figura 4. 19:</b> Nuevo sistema de interconexión para la purificación de agua mediante ozono .....	59
<b>Figura 4.20:</b> Panel de control del prototipo purificador de agua mediante ozono.....	63
<b>Figura 4. 21:</b> Sistema Eléctrico de Fuerza del prototipo. ....	64
<b>Figura 4. 22:</b> Indicadores de funcionamiento general del prototipo.....	65

<b>Figura 4. 23:</b> Botón de inicio etapas de funcionamiento del prototipo.....	66
<b>Figura 4.24:</b> Selección etapa de llenado del tanque.....	66
<b>Figura 4.25:</b> Generador de ozono .....	67
<b>Figura 4.26:</b> Paro de emergencia del panel de control del sistema.....	68

## CAPÍTULO IV

<b>Figura 5. 1:</b> Test Kit de Ozono - HI 38054 .....	70
--------------------------------------------------------	----

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO I

<b>Tabla 1.1:</b> Comparación de las propiedades del Oxígeno molecular y del Ozono .....	2
<b>Tabla 1.2:</b> Tiempo de vida media del ozono en función de la temperatura .....	2
<b>Tabla 1.3:</b> Desventajas de métodos existentes de purificación del agua .....	7

### CAPÍTULO IV

<b>Tabla 4.1:</b> Disponibilidad de uso del Hidromasaje .....	36
<b>Tabla 4.2:</b> Datos de placa de la bomba de recirculación .....	43
<b>Tabla 4.3:</b> Funcionamiento de elementos prototipo purificador de agua mediante ozono .	47
<b>Tabla 4.4:</b> Descripción y Características de los principales elementos del prototipo.....	59
<b>Tabla 4.5:</b> Condiciones de funcionamiento del Venturi Mazzei 584 .....	60
<b>Tabla 4.6:</b> Funcionamiento de elementos del nuevo sistema de interconexión del prototipo purificador de agua mediante ozono .....	62

### CAPÍTULO V

<b>Tabla 5.1:</b> Concentración de Ozono .....	71
<b>Tabla 5.2:</b> Producción conseguida de ozono .....	72

## 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.

## ABSTRACT

Currently in the city's water purification systems they are in high demand, normally used in treatment plants, drinking water, recreation complexes, water bottling plants, among others.

This paper focuses on the use of ozone as a means of water purification whirlpool of the town, for it takes into account the benefits and limitations that must be taken into account before implementing a purification system of this type.

In order to employ the method of purifying water with ozone, who plan to design and build a prototype to purify 180 liters of water from natural sources, it has been necessary to use experimental laboratory tests and analysis colorimetry with intended to indicate the amount of microorganisms in the water sample and to demonstrate the lowering them to identify the quality and effect of ozone in water.

According to the values obtained from experimental laboratory tests and based on the use of the method of colorimetry ozone concentrations you have to ozone generation during a generation time of 6 intervals of 10 minutes with dwell times of 5 minutes rest for the effect of ozone in water is achieved ozone production 0.27gr / hour close-expected 0.288gr / hour.

# INTRODUCCIÓN

## PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

#### ANTECEDENTES

El cloro fue descubierto, en su estado gaseoso, por el químico sueco C.W. Scheeldeen en 1774. Fue en 1910 cuando se le identificó como elemento químico por Sir Humphrey Davy, y recibió la denominación de cloro, proveniente del nombre griego “chloros” (verde pálido), a causa de su característico color. Fue algunas décadas después cuando se descubrió su efecto desinfectante. Las primeras referencias al uso del cloro en la desinfección del agua datan de hace más de un siglo. Se utilizó durante un corto período de tiempo en Inglaterra, en el año 1854, combatiendo una epidemia de cólera, y fue utilizado de forma regular en Bélgica a partir de 1902. Paralelamente, en 1792 se descubrió el hipoclorito cálcico en la localidad de Javel, por lo que se le denominó “Eau de Javel” (Agua de Javel). Este producto fue el origen del hipoclorito sódico, que tenía las mismas propiedades antisépticas que su predecesor. Como antiséptico el hipoclorito sódico fue utilizado por primera vez a gran escala en Inglaterra en 1897 para la desinfección de residuos tras una epidemia de fiebre tifoidea. A finales de siglo se empezó a utilizar también para desinfectar las manos de los médicos antes de las intervenciones quirúrgicas. Fue en las guerras de principio de siglo que se extendió el uso del hipoclorito, utilizado en una solución diluida neutralizada con ácido bórico en las ambulancias como antiséptico para las heridas. A través del tiempo transcurrido el cloro se ha acreditado como el más eficaz de los medios utilizados en la

desinfección del agua, bien sea directamente o en forma de compuestos que lo contienen. En la actualidad, la utilización del cloro gaseoso es la forma más habitual, aunque requiere el empleo de materiales y equipos apropiados. (Oyarzún, 2015)

Por mucho tiempo se han estudiado e investigado alternativas de efectivas y de bajo costo para desinfectar agua para uso y consumo humano en situaciones en las que, por diversas circunstancias, no se han tomado en cuenta la calidad del agua adecuada, tal y como se prevalecen en vertientes naturales en las comunidades.

## **IMPORTANCIA**

El agua es un elemento natural indispensable para la vida y para la salud, el ser humano lo usa y lo consume diariamente. Existen diversas formas para extraerla de la tierra, sin embargo, estas aguas pueden contener restos de materia orgánica, desechos de fertilizantes o de productos industriales que lo contaminan y se conviertan en un peligro potencial para la salud de las personas. Un requisito importante que debe cumplir en agua para ser considerada “potable” es estar libre de organismos. (Saladin, 2001)

## **PROBLEMA**

En las piscinas recreativas y terapéuticas para la purificación del agua utilizan métodos como cloro, ozono, Radiación UV, para la purificación del agua en piscinas, estos métodos empleados son muy comunes en piscinas que se realizan estos tratamientos del agua, una de ellas es la del cloro y sus componentes se tiene varios problemas al utilizar ese tipo de compuesto ya que se pueden producir enfermedades a largo plazo en la piel por su elevado contenido químico.

Actualmente el tratamiento del agua de estas piscinas recreativas y terapéuticas presentan muchos inconvenientes cuando se lo realiza ya que estos productos utilizados son muy

contaminantes en su uso y darse un baño prolongado aumenta el riesgo que una persona tiene para la exposición de cloro porque esta sustancia puede entrar al cuerpo por medio de la absorción de la piel, o por los ojos, la nariz y las orejas y pueden producirse efectos como afectan al aparato respiratorio.

## **OBJETIVOS**

### **➤ Objetivo General**

- ✓ Construir un generador de ozono para mejorar la calidad en la purificación del agua para piscinas recreativas y terapéuticas.

### **➤ Objetivos Específicos**

- ✓ Estudio del marco teórico sobre sistemas o métodos de purificación de agua para piscinas.
- ✓ Diseñar un generador de ozono a mediana escala y los elementos de interconexión.
- ✓ Construir la máquina generadora de ozono para el tratamiento del agua.
- ✓ Realizar pruebas que determinen la eficiencia del funcionamiento y calidad de la máquina.
- ✓ Elaborar el manual de operación y mantenimiento de la máquina.

## **JUSTIFICACIÓN**

El principal objetivo de la realización de este proyecto es contribuir a la sociedad que hace uso diario o semanal de las piscinas recreativas o terapéuticas ya que tendrán un agua mucho más pura y de mejor calidad con la implementación de este nuevo método. Para lograr esta meta es necesario la construcción de un generador de ozono para una planta de tratamiento de agua para piscinas recreativas y terapéuticas, una vez instalado este generador de ozono también traerá como beneficios la reducción de algunas enfermedades y daños a la piel, asociadas a la práctica de esta disciplina, producidas por diferentes elementos químicos que

se le añaden en los métodos de purificación anteriormente conocidos. En la construcción del generador de ozono se implementará un sistema de inyección de ozono al agua por medio de un efecto de succión.

Esta máquina permitirá optimizar la calidad del agua, mejorando el servicio en este tipo de piscinas, además de que se podrá mantener en el agua una preciosa coloración azul.

En el presente trabajo se espera construir un generador de ozono que permita mejorar la calidad de purificación de agua que se utiliza en piscinas de hidromasaje, para ello es necesario hacer un previo estudio de los diferentes sistemas o métodos de purificación de agua con la finalidad de comprender las ventajas y desventajas que se tiene con respecto al uso de ozono como medio de purificación de agua. De acuerdo a la información que se pueda conseguir, se pretende diseñar y construir un prototipo en el cual se realice demostraciones de purificación de agua mediante el uso de ozono, para poder demostrar el efecto de este método se tiene previsto realizar pruebas experimentales de laboratorio, con la finalidad de mostrar el funcionamiento y corrección de posibles fallas de operación de la maquina se proveerá de un manual de operación y mantenimiento.

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO TEÓRICO**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se da a conocer las bases conceptuales del uso y generación de ozono, además es necesario dar a conocer las diferentes aplicaciones del ozono, de acuerdo a las normativas que rigen el uso y control de ozono, en dependencia de su aplicación.

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 este capítulo se muestra los estándares de uso y control de ozono enfocado a los ambientes que se tiene en hidromasajes de uso masivo y privado.

## 1.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL OZONO

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 1-1 se compara las características del ozono y el oxígeno molecular.

**Tabla 1- 1:** Comparación de las propiedades del Oxígeno molecular y del Ozono

PROPIEDADES	OXIGENO (O <sub>2</sub> )	OZONO (O <sub>3</sub> )
<b>Color</b>	Sin color	Azul claro a altas concentraciones
<b>Olor</b>	Sin olor	Picante y penetrante (umbral olfativo 0,01- 0,05 ppmv)
<b>Peso específico</b>	1,429	2,144
<b>Peso molecular</b>	32	48
<b>Potencial de oxidación</b>	1,23V	2,07V
<b>Punto de ebullición a 100 kPa.</b>	-183,00°C	-112,00°C
<b>Solubilidad a 0°C</b>	0,049	0,64

Fuente: (Beutelspacher & Calderón, 2005, pág. 2)

El tiempo de vida útil media del ozono en fase de gas y residual en el agua sin efectos de catalizadores se muestra en la Tabla 1-2.

**Tabla 1- 2:** Tiempo de vida media del ozono en función de la temperatura

Ozono en fase de gas		Ozono residual en el agua (pH 7)	
Temperatura °C	Tiempo de vida media	Temperatura °C	Tiempo de vida media
-50	3 meses	15	30 minutos
-50	18 días	20	20 minutos
-50	8 días	25	15 minutos
20	3 días	30	12 minutos
120	1,5 horas	35	8 minutos
250	1,5 segundos	-	-

Fuente: (Beutelspacher & Calderón, 2005, pág. 2)

El ozono por lo general tiene tres formas de acción destructora que son; de forma oxidante, ozonolisis mediante la formación de ozonuros ( $\text{HO}_3$ ) y la catalización mediante el efecto oxidante del oxígeno.

### **1.3 ANTECEDENTES DE ESTUDIOS SIMILARES A NIVEL MUNDIAL**

#### **1.3.1 Investigaciones realizadas basadas en el empleo de ozono**

En el trabajo (Calatayud & Mendieta, 2014), “Efectos del Ozono y su interacción con en Nitrógeno en seis variedades de hortalizas”, Se muestra un experimento de estudio de 6 variedades de hortalizas al ozono en interacción con nitrógeno en Open Chambers. Usando tres niveles de ozono (aire filtrado, aire ambiente y aire ambiente enriquecido con 30 ppb<sup>1</sup> ozono) y con dos niveles de fertilización (25 kg de N/ha año y 130 Kg de N/ha año).

En el presente trabajo se necesita implementar un prototipo con características de funcionamiento de una piscina de hidromasaje, para ello se ha visto la necesidad de buscar trabajos similares. Se hace referencia a la tesis de, (Beutelspacher & Calderón, 2005), Diseño y construcción de un generador de ozono para aplicaciones de purificación de agua”, donde se describe los principales parámetros constructivos de diseño para la elaboración de un generador de ozono para la purificación de 20 litros de agua, mediante un voltaje de alimentación de 12Vdc.

Además del trabajo anterior se hace referencia al trabajo ejecutado por: (Cañedo, 2012), “Diseño de un Equipo generador de ozono clínico para blanqueamiento dental”, como se ve es en trabajo enfocado al área de la odontología, es útil la información ya que diseña y desarrolla un equipo de ozono a partir de una bobina de ignición automotriz, para trabajar a frecuencias altas.

---

<sup>1</sup> ppb: Partes por billón

En el capítulo 4 se hará hincapié de estos trabajos como una opción para el desarrollo del equipo de generación de ozono para purificar agua de fuente natural, de la misma forma que se ha realizado una búsqueda de trabajos similares a nivel internacional se hace una búsqueda de trabajos a nivel interno del país en el siguiente sub capítulo.

#### **1.4 ESTUDIOS REALIZADOS EN UNIVERSIDADES ECUATORIANAS**

A continuación, se muestra varias investigaciones relacionadas con el uso de ozono y generación de ozono en el país.

De acuerdo al trabajo realizado (VILLACIS & COSTA, 2009), “Determinación de la cinética de inactivación de la Escherichia Coli con ozono”, donde aplican el control de la bacteria escherichia coli la cual es un indicador de calidad higiénica en los alimentos, usando agua ozonizada como muestra experimental para determinar el tiempo necesario de inactivación de microorganismos (E. Coli), agua utilizada para el proceso de lavado y desinfección de frutas (uvas y manzanas).

El trabajo realizado por (López & Vásquez, 2013), “Diseño e Implementación de un prototipo generador de ozono para purificación de agua para el consumo humano”, se base en el efecto de producción de ozono mediante dos propuestas, mediante el uso de dos señales de voltaje, una continua y otra del tipo alterna a determinadas frecuencias de funcionamiento del equipo implementado para la purificación de agua a nivel de prototipo.

Los estudios que se tiene como referencia y que se ha citado para el presente trabajo sirven como base para tener en cuenta los principales agentes contaminantes que determinan la calidad de agua, como también se puede decir el efecto que representa el uso de ozono como medio de tratamiento de agua, a continuación, se presente las desventajas de otros sistemas de

purificación de agua partiendo como base principal de sistemas de cloración ya que en el país son los más usados por los municipios.

## **1.5 ANÁLISIS DE LAS DESVENTAJAS DE OTROS SISTEMAS DE PURIFICACIÓN DE AGUA**

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.

### **a) Cloración**

El cloro es una opción de tratamiento de bajo costo que se utiliza para mejorar el sabor y la claridad del agua a la vez que se eliminan muchos microorganismos como bacterias y virus. La cloración es el procedimiento más extendido en la desinfección de aguas de consumo en razón a que el cloro reúne la mayoría de las propiedades del "desinfectante ideal". La destrucción de compuestos que producen olor y sabor, eliminación de algas y microorganismos del lórgamo, así como el efecto coadyuvante en la coagulación. (Campos, 2012).

### **b) Radiación de luz Ultravioleta**

La desinfección por radiación de luz ultravioleta de acuerdo no se puede apreciar en la Figura I-1, este procedimiento consiste en someter al agua a radiación alrededor de los 246 nanómetros. La máxima eficiencia germicida se encuentra en los 265 nm. La luz ultravioleta es aplicada empleando una lámpara de vapor de mercurio. La radiación con luz UV es un método más costoso que la cloración. El método no añade sustancias químicas al agua y por lo mismo es un método que carece de efecto residual. No altera el olor ni el sabor del agua. Se emplea en aplicaciones a pequeña escala. La radiación UV provoca algunas lesiones en el ADN

de los microorganismos, impidiendo su reproducción. De esta forma son incapaces de producir daño al consumirlos. (Beutelspacher & Calderón, 2005)

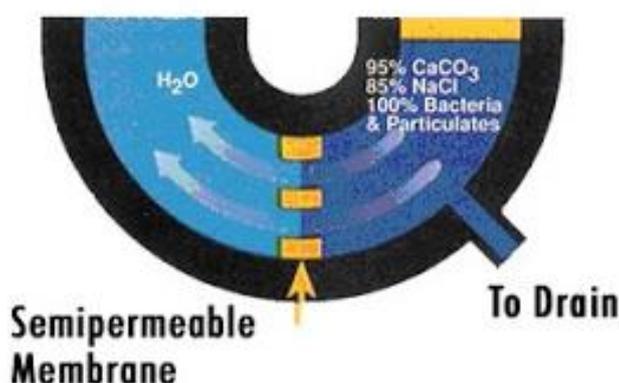


**Figura 1.1:** Esquema del proceso de radiación ultravioleta

Fuente: (AGUAPURIFICACIÓN, 2010)

### c) Osmosis inversa

La ósmosis inversa tal como se indica en la Figura 1.2, es una tecnología de purificación de agua mediante la cual se logra un elevado porcentaje de retención de contaminantes, disueltos y no disueltos. Cuando dos líquidos, con distinta concentración salina, están separados por una membrana semipermeable, se establece una diferencia de presión entre una y otra parte de la membrana que es función de la diferencia de concentraciones. Esta presión, denominada osmótica, hace pasar agua pura del lado de menos concentración hacia el lado de más concentración, hasta que las concentraciones se igualen (Sefiltra S.A., 2010). La pureza del agua producida por la ósmosis inversa es más grande que en el agua de alimentación.



**Figura 1.2:** Esquema del proceso de osmosis inversa

Fuente: (AGUAPURIFICACIÓN, 2010)

A continuación, en la Tabla 1.3 se muestra las desventajas que se tiene con los diferentes procesos de purificación de agua.

**Tabla 1.3:** Desventajas de métodos existentes de purificación del agua

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

FUENTE: (López & Vásquez, 2013)

## **1.6 APLICACIONES GENERALES DE LOS GENERADORES DE OZONO**

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 los siguientes sectores

### **1.6.1 Medicina (ozonoterapia y desinfección de instrumental)**

La Ozonoterapia está basada en los efectos benéficos del ozono en el organismo. El ozono es el mejor antioxidante e inmuno modulador, estimula a los glóbulos blancos, lo que mejora el sistema inmunológico del organismo ante agresiones externas como las infecciones, y la detección de células mutágenas que pueden producir cáncer o enfermedades autoinmunes; además a nivel de los glóbulos rojos se incrementa la liberación de oxígeno generando un mayor transporte de oxígeno a las células, mejorando la función celular y la circulación sanguínea; y también es un poderoso germicida: elimina, virus, bacterias, esporas y hongos. (OzonoEcuador, 2014)

Sus aplicaciones principales son:

- Desinfección y desodorización del aire en quirófanos, salas de maternidad, etc.
- Sistemas de esterilización para diálisis por ozono, heridas infectadas, tratamientos de piel, etc.

### **1.6.2 Odontología**

El gas ozono es un eficaz desinfectante superficial para instrumentos, implantes y prótesis. La descomposición espontánea y catalizada de esta molécula la convierte en una sustancia ideal para su uso en la cavidad bucal durante intervenciones quirúrgicas. Gracias a sus propiedades

biofisiológicas positivas, favorece la cicatrización y epitelización y refuerza los principios anti radicales naturales de las células (por inducción enzimática). (Baumgarten, 2009).

### **1.6.3 Industria alimenticia**

El ozono actúa tanto en la Reducción o eliminación de olores en el procesado de los productos. Desinfección del agua de uso en dicho procesado.

El ozono se utiliza para la conservación de alimentos en cámaras frigoríficas y almacenes de carnes frescas, pescados, frutas, mariscos, verduras, quesos, embutidos, etc. Su misión principal es reducir el índice bacteriológico que se da en los citados sistemas de almacenamiento en estado de refrigeración o almacenaje en fresco, al eliminar bacterias, formación de mohos, etc. (EUROZON, S.L. , 2014).

### **1.6.4 Desinfección y desodorización de ambientes**

Purificar el ambiente debido a su alto poder oxidante, destruyendo bacterias, virus, gérmenes procedentes bien del exterior o bien del propio ambiente interior, en donde se encuentra el medio más apropiado para el desarrollo y existencia de gérmenes, virus, etc. Algunas aplicaciones se dan en: (EUROZON, S.L. , 2014).

- La oxigenación de los locales
- Eliminar los olores del aire enrarecido.

### **1.6.5 Sector agropecuario**

La aplicación del ozono en la industria ganadera y avícola. estando fuera de toda duda el hecho de que el ozono a bajas concentraciones tiene una notable acción bactericida, fungicida y virulicida en general; destruye con gran rapidez estreptococos, estafilococos, colibacilos, así como las más enérgicas toxinas difterianas y tetánicas.

El agua que se destina para la hidratación de animales a nivel de granjas, está expuesta a contaminaciones por bacterias, en este caso particular, el ozono tiene que purificar, desodorizar y además oxidar las sustancias orgánicas disueltas.

A nivel de granjas el agua ozonizada es así mismo utilizada para la limpieza de residuos sólidos y a los animales, como también los espacios en los que circulan estos con cierta frecuencia, el efecto que se tiene en este caso es: la eliminación de microorganismos contaminantes los cuales se adhieren a suelos, paredes incluso en la piel de los animales, (EUROZON, S.L., 2014).

### **1.6.6 Industria química**

Los generadores de ozono tienen muchas y variadas aplicaciones en el campo industrial. Destacan, fundamentalmente, en industrias de pasta y papel, químicas y de alimentos. Logrando una solución ambiental, en la eliminación de todo tipo de olores, mohos y hongos en cualquier área expuesta a estos organismos contaminantes.

En la Industria química se tiene las siguientes aplicaciones tales como:

- Oxidación de hidrocarburos en la fabricación de fibras sintéticas.
- Producción de insecticidas.
- Producción de materias primas para la industria farmacéutica.
- Producción de peróxidos.
- Tratamiento de aguas residuales.

## **1.7 NORMATIVAS INTERNACIONALES QUE RIGEN LA PRODUCCIÓN Y CONTROL DE OZONO**

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:

### 1.7.1 Límites permitidos

Es recomendable para los ambientes de trabajo los siguientes niveles permitidos que se indica en la Tabla 1.4:

**Tabla 1.4** Niveles de ozono permitidos para ambiente de trabajo

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

Fuente: (GOTTCHALT, LIBRA, & SAUPE, 2010)

“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”, (GOTTCHALT, LIBRA, & SAUPE, 2010).

### 1.7.2 Inhalación

Se conoce como efectos agudos por exposición al ozono en periodos pequeños de tiempo a concentraciones mayores a unas décimas de ppmv se genera las siguientes molestias como:

- Dolor de cabeza
- Sequedad en la garganta
- Irritación de membranas mucosas y nariz.
- Si se trata de altas concentraciones se genera grandes molestias como:
- Edemas pulmonares

- Lasitud
- Dolor de cabeza frontal
- Sensación de enrarecimiento del aire
- Constricción u opresión
- Acidez en la boca
- Anorexia

Si son exposiciones un poco más severas puede causar:

- Tos
- Sensación de sofocación
- Taquicardia
- Vértigo
- Presión sanguínea baja
- Severos calambres en el pecho
- Dolor del cuerpo

Un estimado de 50 ppmv por 30 minutos sería fatal, (GOTTCHALT, LIBRA, & SAUPE, 2010).

Al tratarse de exposiciones prolongadas de tiempo los síntomas serían similares a los de exposiciones agudas adjuntas con la disminución en la función pulmonar en dependencia de la cantidad de ozono y duración de contacto. También se da a conocer que se produciría asma, alergias y otras molestias perjudiciales al sistema respiratorio. De acuerdo a estudios realizados se ha visto generación de tumoraciones y daños genéticos ya sea de forma directa o indirecta en tejidos animales y/o humanos estudiados, "Ozonation of Water and Waste Water". Federal Republic Germany. WILEY-VCH. Si el contacto de ozono es directo con la piel y ojos puede

producirse irritaciones y quemaduras, las concentraciones mayores a 0.1 ppmv, el ozono puede generar irritación en los ojos, (GOTTCHALT, LIBRA, & SAUPE, 2010)

La norma mexicana NOM-020-SSA1-1994[SSA05], señala que no se debe sobrepasar el límite máximo normado de 0.11 ppmv, en una hora, una vez al año, en periodos de tres años.

## **1.8 MÉTODOS DE MEDICIÓN PARA LA GENERACIÓN DE OZONO**

A continuación, se da a conocer los métodos más recomendables para medir la concentración de ozono en el aire:

### **1.8.1 Norma mexicana que regula la medición y calibración de generadores de ozono - NOM-CCAM-003-ECOL / 1993.**

El método que hace referencia es el de luminiscencia química, a continuación, se detalla este método de medición de concentraciones de ozono en el aire ambiente:

#### ***1.8.1.1 Principio y Descripción del método***

Este método se basa en la capacidad del ozono de emitir luz al estar en reacción con el etileno, su proceso se basa en el ingreso simultáneo de ozono presente en el aire y el etileno a una cámara de mezclado del analizador, en donde el aire reacciona con el etileno emitiendo luz, que se detecta mediante un tubo fotomultiplicador. La fotocorriente producida es amplificada y tratada para poderse mostrar en un indicador, de acuerdo a la cinética de la reacción producida de los componentes principales anteriormente involucrados en este proceso.

#### ***1.8.1.2 Calibración de Equipos de medición***

El método equivalente es el de fotometría ultravioleta y se basa en el principio de fotometría de absorción de luz en el rango de la radiación ultravioleta por ozono. La concentración se

determina cuando el fenómeno de absorción se acopla con los principios de la ley de Lambert – Beer, que dice que, si un haz de luz monocromática pasa a través de un medio, la inestabilidad intensidad con que abandone dicho medio depende exponencialmente de tres factores: el coeficiente de absorción de las moléculas en el medio, su concentración y la distancia de la luz tenga que viajar. Es necesario conocer el coeficiente de absorción ( $O'$ ) del ozono a 254 nm; la longitud de trayectoria óptica ( $l$ ) a través de la muestra y la transmitancia de la muestra a una longitud de onda de 254 nm, (Beutelspacher & Calderón, 2005)

### **1.8.2 Método Amperométrico**

Este método tiene la capacidad de ser empleado para mediciones continuas y automatizadas de ozono residual en el agua. El electrodo de membrana para medición de ozono residual está conformado de un cátodo de oro, un ánodo de plata, un electrolito (AgBr, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o KBr) y una membrana de Teflón ®. Varias compañías ofrecen tales electrodos en diferentes configuraciones. Los rangos de aplicación y la exactitud varían dependiendo del tipo de electrodo empleado. El funcionamiento de este tipo de dispositivos es el siguiente: El ozono disuelto en agua atraviesa la membrana y el electrolito hasta colocarse en la superficie del cátodo. Al aplicarle una diferencia de potencial eléctrico, voltaje, a las terminales del cátodo y ánodo, el ánodo liberará electrones al electrolito, dichos electrones atravesarán el electrolito hasta el cátodo en donde al encontrar una molécula de ozono la reducirán a oxígeno. El resultado es un proceso de conducción de corriente eléctrica la cual será proporcional a la concentración del ozono disuelto en el volumen de agua disuelto, (Beutelspacher & Calderón, 2005)

### **1.8.3 Colorimetría**

En este trabajo se da a conocer dos métodos basados en la colorimetría que son:

- N´N – Dietil-p-fenilendiamina (DPD)
- Índigo Carmín (C<sub>16</sub>H<sub>8</sub>N<sub>2</sub>Na<sub>2</sub>O<sub>8</sub>S<sub>2</sub>)

#### **1.8.3.1 N´N – Dietil-p-fenilendiamina (DPD)**

Este método se basa en la reacción de un muestra de agua ozonificada con el compuesto N´N – Dietil-p-fenilendiamina (DPD), que al reaccionar con el ozono el agua tomará una coloración rosa. El tono adquirido será proporcional a la concentración de ozono residual en la muestra, la cual deberá ser comparada contra una escala de ozono residual, de acuerdo a las diferentes tonalidades de color rosa. (Beutelspacher & Calderón, 2005)

#### **1.8.3.2 Índigo Carmín**

El índigo carmín es un colorante de gran uso. Este método es similar al anterior solo que en esta muestra de agua ozonizada a prueba toma un color azul. El color azul por lo general se irá consumiendo debido a la oxidación por efecto del ozono, por lo que el nivel de concentración será proporcional de acuerdo a la cantidad de índigo carmín oxidado, (Beutelspacher & Calderón, 2005)

### **1.9 SISTEMAS DE AUTO CONTROL EN PISCINAS – HIDROMASAJES**

A continuación, se muestra la información acerca de piscinas de hidromasaje.

#### **1.9.1 Piscinas de Hidromasaje**

Las piscinas de hidromasaje incluyen bañeras de hidromasaje, “spas”, jacuzzis entre otras infraestructuras similares, de acuerdo al Real Decreto 865/2003, se establece los criterios higiénicos sanitarios para la prevención y control de la legionelosis, donde se muestra criterios

básicos de mantenimiento de bañeras y piscinas de hidromasaje de uso colectivo, como se indica en la Figura 1.3. (Gobierno del principado de Asturias., 2006)



**Figura 1.3:** Hidromasaje con recirculación de uso colectivo

Fuente: (Gobierno del principado de Asturias., 2006)

Por lo general las piscinas de hidromasaje son instalaciones de uso público, destinado al ocio y relajación, diseñadas para dirigir al cuerpo humano agua a presión mezclada con aire, la temperatura del agua está entre los 28 y 45°C, normalmente estas instalaciones pueden ser sin recirculación, de uso individual, y con recirculación, de uso colectivo, las que pueden ser ubicadas al interior o exterior de edificios.

El agua de la piscina de hidromasaje puede ser renovada de forma continua durante el tiempo de funcionamiento, por recirculación, o por entrada de agua nueva;

El aporte de agua no debe de ser inferior al 5% del volumen total del agua en los periodos de funcionamiento de la piscina, el aporte de agua va con respecto al número de personas que ingresa a la piscina.

Como mínimo una vez al año se debe vaciar totalmente la piscina, o cuando las circunstancias lo requieran, el agua de aporte de las piscinas debe de ser de preferencia de la red de abastecimiento municipal de consumo humano, ya que cuentan con los mecanismos de auto control que asegura la calidad higiénica sanitaria del agua.

Toda piscina debe de disponer de un rebosadero perimetral o skimer, como mínimo uno cada 25 metros cuadrados de lámina de agua, en este caso para piscinas de hidromasaje es aconsejable usar un skimer debido a su capacidad en volumen de la piscina.

El volumen total de agua de la piscina debe recircular por el sistema de tratamiento, en este caso si se cuenta con una profundidad media de la piscina inferior a 1,5 metros, es necesario de un tiempo de recirculación máximo alrededor de 2 horas aproximadamente.



## **CAPÍTULO II**

### **ESTUDIO DE UN SISTEMA DE PURIFICACIÓN DE AGUA DE LA LOCALIDAD**

#### **2.1 INTRODUCCIÓN**

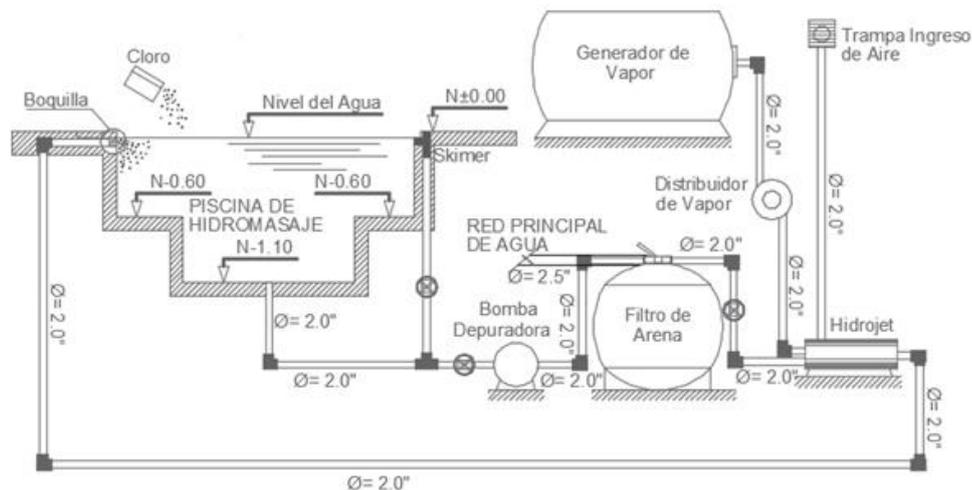
En este capítulo se ha visto la necesidad de presentar información relevante de un sistema de purificación de agua, para ello se ha elegido describir las características más importantes que tiene la piscina de hidromasaje del complejo de la Universidad Técnica del Norte de la ciudad de Ibarra, a continuación, 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 posible implantación de este método de purificación de agua mediante ozono.

#### **2.2 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 Figura 2.1:

- Skimer
- Bomba Depuradora
- Filtro de Arena
- Distribuidor de vapor
- Generador de vapor
- Hidrojet
- Trampa de Ingreso Aire

- Boquilla ingreso Agua + vapor
- Desagüe



**Figura 2.1:** Sistema de Tratamiento de agua para la piscina de hidromasaje

Además, consta de medidores de presión, tuberías de interconexión del sistema y un control de mando para el accionamiento de arranque del sistema, encendido de temporizadores y bombas.

### **2.3 ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES QUE DEFINEN LA CALIDAD DEL AGUA.**

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 casa 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 y corregirlos de ser necesario.

El agua se evaluará en cuanto a su calidad ensayando sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas. Los parámetros de calidad, deben tener aceptación universal a fin de que sean posibles las comparaciones con los estándares de calidad.

De acuerdo a normas de calidad se tiene diferentes características que se citan que son las siguientes:

- Características físicas
- Características químicas
- Características biológicas

### **2.3.1 Normas de calidad y límites permisibles del agua**

Se establecen parámetros a controlar mediante los análisis y ensayos correspondientes y también los Límites Obligatorios y Límites Recomendados, para cada uno de ellos.

Se denomina Límite Obligatorio a aquel que no debe superarse en ningún momento y de ser así se deberá desechar la fuente de provisión, en cambio el Límite Recomendado, es al que deben acercarse los operadores de provisión de agua potable en un tiempo razonable y al que deben comprometerse de mantener.

## **2.4 DEBILIDADES DE LOS SISTEMAS DE PURIFICACIÓN DE AGUA**

El agua contiene diversas sustancias químicas y biológicas disueltas o suspendidas en ella, el agua disuelve los componentes químicos de sus alrededores, corre sobre la superficie del suelo y se filtra a través del mismo.

El sistema de cloración para la purificación del agua presenta muchas características en cuanto a la utilización en la desinfección de la misma, el cual se realiza un previo análisis de las debilidades de empleo.

Este sistema el cual presenta una acción muy irritante sobre los ojos y las vías respiratorias, ya que en contacto con la humedad forma ácido clorhídrico (Líquido incoloro que humea al aire y posee un olor punzante). Las exposiciones agudas a altas concentraciones pueden provocar inflamación en los pulmones con acumulación de líquido. La inhalación de concentraciones superiores a 50 ppm puede ser mortal a causa de un edema pulmonar. Los síntomas pueden manifestarse de forma retardada hasta dos días después de la exposición al gas.

El cloro es conducido en forma gas desde recipientes en los que se halla licuado y a presión a través de tuberías hasta el agua. En el funcionamiento de dichas instalaciones de cloración se producen a menudo accidentes por escape de cloro.

El cloro, en función del pH, se combina con las sustancias orgánicas formando las cloraminas (cloro combinado o compuesto) que tienen el poder desinfectante mucho menor que el cloro libre activo. El cloro combinado, son las verdaderas causas del prurito conjuntival y del molesto olor que tienen a veces las piscinas.

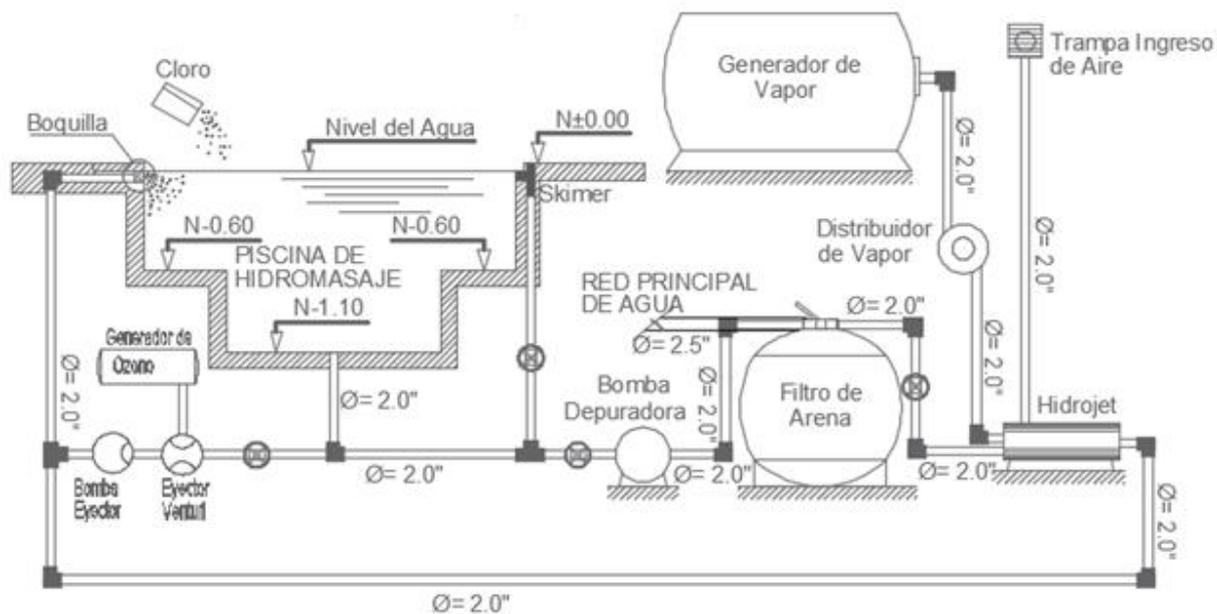
El uso del cloro para desinfección del agua es cada vez menos empleado y ya no se instala en piscinas de nueva construcción.

## 2.5 POSIBLES ARQUITECTURAS DE CONEXIÓN DEL NUEVO SISTEMA QUE SE PROPONE.

### 2.5.1 Primera opción para el nuevo sistema de tratamiento de agua en la piscina de hidromasaje.

De acuerdo a la Figura 2.2 se detalla las siguientes partes:

Skimer, bomba depuradora, filtro de arena, distribuidor de vapor, generador de vapor, Hidrojet, Trampa de Ingreso Aire, boquilla ingreso agua + vapor, desagüe, generador de ozono, bomba del eyector y eyector Venturi



**Figura 2.2:** Primera opción de ozonificación para el tratamiento de agua

La nueva conexión que se muestra en la Figura 2.2, se propone para el tratamiento de agua en la piscina de hidromasaje mediante la utilización de un generador de ozono por descargas eléctricas de placas paralelas; para poder incorporar este generador es necesario de la ayuda de

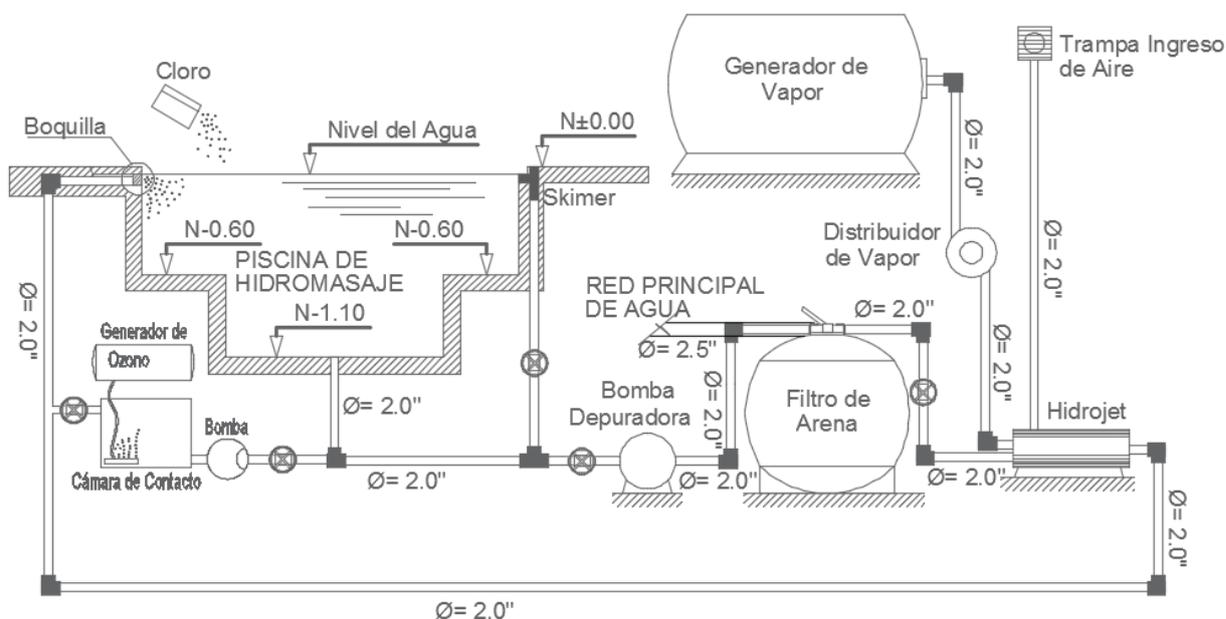
una by-pass, mediante esta interconexión dar la disponibilidad de reemplazo a la dosis diaria de cloro, todo esto basado en el efecto Venturi.

En esta conexión hay que tener en cuenta los tiempos de funcionamiento tanto para el filtrado y la ozonización del agua. La dosis de cloro se tiene en cuenta para este caso será de uso reducido, como también es importante mencionar que hay que tener en cuenta el consumo de energía eléctrica del generador de ozono.

### 2.5.2 Segunda opción para el nuevo sistema de tratamiento de agua en la piscina de hidromasaje.

De acuerdo a la Figura 2.3 se detalla las siguientes partes:

Skimer, bomba depuradora, filtro de arena, distribuidor de vapor, generador de vapor, hidrojet, trampa de ingreso Aire, boquilla ingreso agua + vapor, desagüe, generador de ozono, Cámara de contacto y bomba de impulsión de ozono.



**Figura 2.3:** Segunda opción de ozonificación para el tratamiento de agua

La conexión que se propone de acuerdo a la Figura 2.3 se tiene una conexión similar a la que se indica en la Figura 2.1, 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.



## **CAPÍTULO III**

### **DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL GENERADOR DE OZONO**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN.**

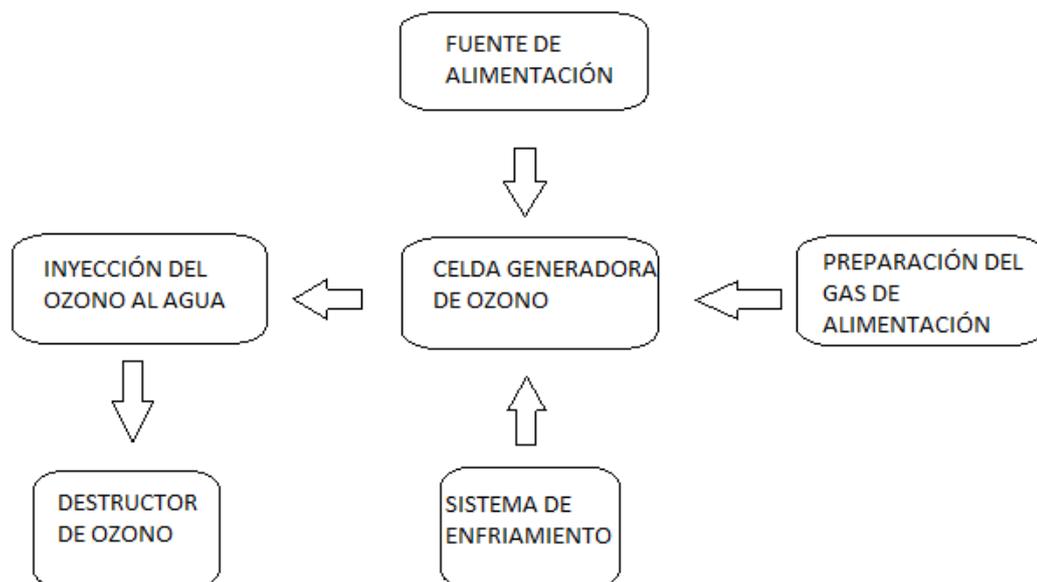
En este capítulo se dan a conocer los diferentes elementos que conforman un generador de ozono, partiendo de la descripción de cada uno de sus elementos y función dentro de un sistema de tratamiento de purificación de agua mediante el empleo de ozono.

Para el desarrollo de este trabajo se ha visto de la necesidad de hacer referencia y puesta en marcha de las especificaciones y recomendaciones del trabajo que presentan (Beutelspacher & Calderón, 2005), “Diseño y Construcción de un Generador de Ozono para aplicaciones de purificación de Agua”, de acuerdo a la cantidad y nivel de purificación deseado de agua, el diseño y construcción del prototipo en marcha se detalla en los siguientes capítulos.

Además de mostrar 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.

#### **3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE 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.



**Figura 3.1:** Elementos que conforman un Equipo de Ozono

Fuente: (Beutelspacher & Calderón, 2005)

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 Figura 3.1 se hace la descripción de los elementos que conforman un Equipo de Generación de Ozono.

### 3.2.1 Cámara del gas de alimentación

Una variable más en consideración con la generación de ozono, es el vapor de agua o el contenido de humedad presente en el aire. Para controlar la humedad existente del aire se puede usar un filtro de aire como también se puede hacer uso de sílica (gel).

### **3.2.2 Fuente de Alimentación**

La fuente de alimentación eléctrica es la encargada de proveer de una señal alterna a una determinada frecuencia a la celda encargada de producir las descargas necesarias en un medio dieléctrico para llegar a generar ozono.

De acuerdo a la clasificación de los equipos de generación de ozono con respecto a su frecuencia de funcionamiento se tiene.

- Generadores de baja frecuencia (50 a 60 Hz).
- Mediana frecuencia (60 a 1000 Hz).
- Alta frecuencia (más de 1000 Hz).

Normalmente de acuerdo a la clasificación de los generadores de ozono va de acuerdo a las frecuencias de funcionamiento, la producción de ozono a frecuencias bajas, llevaría al consumo elevado de energía, más adelante de acuerdo a las disponibilidades de materiales en el medio que se empleen y con la aplicación de fórmulas se determinará el mejor rendimiento de funcionamiento para el generador de ozono de este presente trabajo.

### **3.2.3 Celda de Descargas**

De acuerdo a la generación de ozono por descargas se tienen celdas cilíndricas y celdas paralelas; para el uso y selección de estas celdas hay que tomar en cuenta ciertos parámetros como son: disponibilidad de espacio del generador y capacidad de disipación de calor de la celda, ya que al sobrepasar de la temperatura de 50° C se tiene una degradación inmediata del ozono producido. En la aplicación de voltaje las celdas cilíndricas gastan alrededor un 22.00% adicional, en comparación de las celdas paralelas., (Beutelspacher & Calderón, 2005)

### **3.2.4 Sistema de Enfriamiento**

De acuerdo al uso de celdas paralelas se tiene mayor disponibilidad de enfriamiento, ya que se puede designar un disipador de calor adecuado sin complicación alguna por motivos de espacio. Normalmente en estos sistemas tiende a calentarse la celda debido a la generación repetitiva de descargas eléctricas. De acuerdo a las condiciones de funcionamiento se parte de un previo análisis de transferencia de calor. En el siguiente capítulo se dimensionarán los equipos necesarios para la disipación de calor del equipo generador de ozono.

### **3.2.5 Sistemas de Inyección de Ozono al Agua**

Una vez que se produce ozono de buena calidad a las condiciones que se requieran, provisto por una cantidad de agua, es necesario indicar los métodos que se usan para la integración del ozono con el agua a purificar. Normalmente se tiene dos formas que son:

1. Mediante el uso de un eyector Venturi, en las tuberías que salen de los filtros de depuración hacia el volumen de agua disponible a purificar.
2. Por medio del uso de difusores, los cuales se sumergen en la profundidad en este caso de una piscina con la finalidad de lograr una mayor expansión en el agua.

## **3.3 FUNCIONAMIENTO DE LOS GENERADORES DE OZONO.**

Como ya se ha detallado las partes que conforman un generador de ozono y funcionamiento de algunos generadores de ozono comerciales, ahora se da a conocer las mejores opciones de funcionamiento para el diseño de un generador de ozono:

### **3.3.1 Preparación del gas de alimentación**

Para poder generar ozono es esencial preparar el gas de alimentación ya sea oxígeno al 100% o el aire disponible en la atmosfera, el cual debe ser secado y sobretodo siempre limpio, antes de que este entre en contacto con las descargas producidas por la celda de descarga.

La razón por la cual el aire debe ser secado antes de convertirlo en oxígeno activado es porque existe la posibilidad de acuerdo a la dosis de generación, que se produzca, además, óxido de nitrógeno, lo cual sería nocivo para la salud y cause daños en los electrodos de la celda de generación.

Para no tener problemas con el aire de alimentación que ingresa a la celda de generación de ozono es necesario utilizar filtros de gel de sílice para extraer la humedad contenida en el aire y filtros que impidan el paso de partículas de polvo., (Beutelspacher & Calderón, 2005)

### **3.3.2 Generación de micro descargas eléctricas en la celda**

Para la generación de micro descargas eléctricas en la celda es necesario tener en cuenta el voltaje, frecuencia y la disipación de calor debido al calentamiento de los electrodos.

De acuerdo a trabajos similares con el diseño de prototipos de generación de ozono es mejor trabajar a altas frecuencias con voltajes de acuerdo a la capacidad de rigidez eléctrica del dieléctrico que se vaya a usar, para este trabajo se toma en cuenta como dieléctrico base mica. Más adelante se mostrarán las condiciones necesarias para el dimensionamiento de la celda de generación de ozono. (Beutelspacher & Calderón, 2005).

El voltaje puede ser de señal alterna o mediante el uso de una señal PWM de acuerdo a la frecuencia con la que se vaya a establecer las descargas.

### **3.3.3 Inyección de ozono para el tratamiento de purificación de agua**

De acuerdo a la capacidad de litros por minuto y volumen a tratar de agua hay que tenerse en cuenta lo siguiente:

Flujo de aire necesario para inyectar el agua a purificar, en dependencia de la tubería de ingreso al tanque de contacto de agua con el ozono, al tratarse si, la mezcla se la realiza mediante un Venturi.

La capacidad de flujo de aire va en dependencia del equipo que impulse desde un inicio oxígeno que se convierte en ozono inmediatamente, siendo un compresor o bomba de aire, que funcionará de acuerdo a la cantidad requerida de ozono por el sistema de tratamiento.

### **3.4 COMO SE LLEVA A CABO EL PROCESO DE PURIFICACIÓN DEL AGUA**

El proceso de purificación de agua si se realiza por medio del uso de ozono, va de acuerdo a la cantidad de miligramos por hora requerido, y de acuerdo al volumen de agua a purificar, en el capítulo siguiente se hace referencia a esta parte, a nivel general se tiene en cuenta lo siguiente:

Nivel de agentes contaminantes con los que este mezclada el agua. Una vez que se conoce el nivel de contaminación de agua y entorno en el cual se requiere de este proceso de purificación, se opta por la mejor opción de generación de ozono, haciendo referencia a un balneario, el cual posea su área de hidromasaje es útil considerar la temperatura del agua debido a la inestabilidad del ozono a temperaturas altas, conociendo esto se genera ozono en intervalos entre 8 a 20 minutos, es importante recalcar de que si el nivel de contaminación es alto se requiere más renovaciones de ozono e inmediatamente contar con lapsos de tiempo de reposo para que el ozono pueda hacer efecto con el agua, (GOTTCHALT, LIBRA, & SAUPE, 2010).

Es importante aclarar de que la ozonización debe ser la parte complementaria de un proceso de filtración de agua, como también contar con la purificación de cloro residual ya que el tiempo de vida media el ozono es corto, más adelante en los siguientes capítulos se hará un detalle más específico de las cantidades de ozono a usar, enfocado a hidromasajes.

### **3.5 ANÁLISIS DE OTRAS ESTRUCTURAS DE INTERCONEXIÓN DE GENERADORES DE OZONO EN LA PURIFICACIÓN DEL AGUA.**

En esta parte se realiza un análisis de los medios de interconexión usados para generar ozono, los tubos venturi y difusores son los medios más confiables para la purificación de agua mediante ozono, a continuación, se describe una comparación entre estos dos medios, para una definitiva conclusión y una inmediata aplicación en el presente trabajo.

Difusores. - Estos elementos de interconexión, en sistemas de purificación de agua se los emplea mediante el uso de tanques de contacto, siendo útiles en sistemas donde el agua entra en contacto como en tanques de almacenamiento de agua, estos difusores van en dependencia del volumen del tanque donde entra en contacto, el agua con el ozono.

Tubos Venturi. - Normalmente son los más usados en sistemas de purificación de agua, el medio de interconexión de estos se lo realiza conectando un venturi en la tubería existente que alimenta a la piscina o tanque de almacenamiento de agua purificada, esta medida no necesita de un tanque de contacto extra entre el agua y el ozono generado por las celdas, en el caso de las piscinas de hidromasaje es más confiable este método, por situaciones de estética del sitio.

De acuerdo a las condiciones de los dos elementos de interconexión citados se opta por el tubo venturi como medio en interconexión para el ozono con el agua a purificar, se puede decir que el tubo venturi es más rentable por su disminuido precio y posibilidad de instalación, ya que si se utilizaría difusores en este caso para el prototipo se tendría que hacer un subsistema de

contacto, en dependencia del volumen total de agua a purificar,” (Gobierno del principado de Asturias., 2006).

## **CAPÍTULO IV**

# **PRESENTACIÓN DE LA MÁQUINA GENERADORA DE OZONO.**

### **4.1 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.

Como ya se ha mencionado en el capítulo II se ha tomado en cuenta el funcionamiento de la piscina de hidromasaje de la Universidad Técnica del Norte, a continuación, se da a conocer los parámetros necesarios para el diseño y construcción del prototipo.

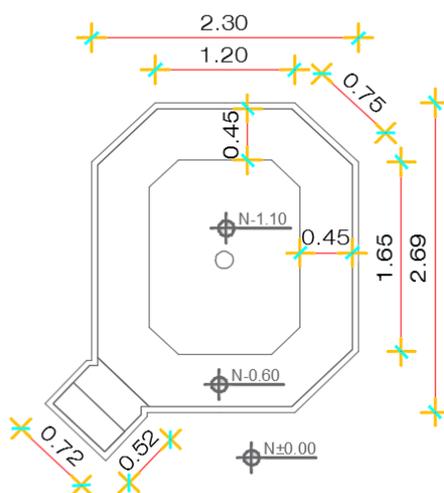
#### **4.1.1 Condiciones de funcionamiento de una piscina de Hidromasaje existente**

De acuerdo a la recolección de información a los encargados de dar mantenimiento de las piscinas del complejo de la universidad, han manifestado que los horarios de funcionamiento están de acuerdo a lo que indica en la Tabla 4.1.

**Tabla 4.1:** Disponibilidad de uso del Hidromasaje

Días	Horario	Cantidad de Horas/Día
Lunes a Viernes	16h00 a 19h00	3
Sábado	12h00 a 19h00	7
Domingo	08h00 a 19h00	11

El volumen de la piscina se calcula de acuerdo a la Figura 4.1, información que se ha obtenido desde el programa AutoCAD, en donde se ha dibujado la piscina de hidromasaje:

**Figura 4.1:** Implantación del hidromasaje del complejo de la UTN

Con los valores mostrados en la Figura 4.1 y mediante el uso de una de las herramientas que tiene AutoCAD para calcular áreas, se tiene un volumen de agua disponible de  $3.944m^3$ , para llegar a este valor se hace uso de la Ecuación 4.1 para el cálculo del área total, y de la Ecuación 4.2, que determina el volumen total aproximado de la piscina de hidromasaje.

**Ecuación 4.1:** Cálculo del área total

$$A_t = A_1 + A_2$$

Donde:

At: Área total

A1: Área 1

A2: Área 2

$$A1 = ((2.69 * 2.30) - \left(\frac{(0.45 * 0.75)}{2} * 4\right))m^2$$

$$A1 = 6.18 - 0.675m^2$$

$$A1 = 5.512 m^2$$

$$A2 = (1.20 * 1.65)m^2$$

$$A2 = 1.98m^2$$

**Ecuación. 4.2:** Volumen total.

$$VT = V1 + V2$$

Donde:

VT: volumen total

V1: volumen 1

V2: volumen 2

$$V1 = A1 * (1.10 - 0.6) m^3$$

$$V1 = (5.512 * 0.5)m^3$$

$$V1 = 2.756 m^3$$

$$V2 = A2 * (0.6) m^3$$

$$V2 = (1.98 * 0.6) m^3$$

$$V2 = 1.19 m^3$$

$$VT = (2.756 + 1.19)m^3$$

$$VT = 3.944m^3$$

Con el volumen calculado se obtiene el caudal aproximado de llenado de la piscina que va de acuerdo a la Ecuación 4.3 mostrada a continuación:

**Ecuación 4.3:** Caudal.

$$Q = \frac{VT}{t}$$

Donde:

Q: Caudal

VT: Volumen total

t: tiempo

$$Q = \frac{3.944m^3}{20min}$$

$$Q = 0.1972 m^3/min$$

El tiempo que se demora en llenar la piscina de hidromasaje esta alrededor de 20 minutos.

La limpieza de la piscina la realizan al final de cada jornada, considerando, de que una vez completadas las horas por día, los operadores encienden el sistema de filtración durante toda la noche. Al día siguiente de cada jornada los operarios de turno se encargan de lavar los filtros antes de llenar la piscina nuevamente.

De acuerdo a lo manifestado por parte de los encargados del complejo ellos constantemente observan la turbidez del agua durante el día, si hay cambio alguno, automáticamente proceden durante la jornada a encender los filtros de lavado, es recomendable hacer uso de un sistema de ingreso de personas para el mejoramiento del tratamiento de agua en la piscina de hidromasaje.

#### **4.1.2 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.

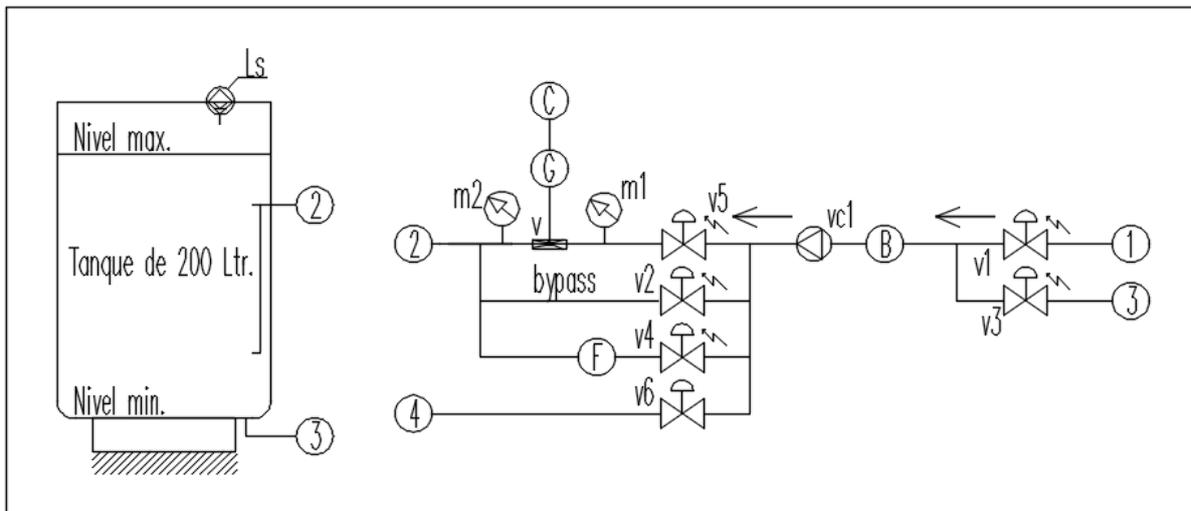
Las etapas de funcionamiento de prototipo en construcción son:

- 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.

##### ***4.1.2.1 Elementos que conforman el prototipo purificador de agua mediante ozono***

A continuación, se da a conocer en la Figura 4.2, un primer diagrama de los elementos que conforman el prototipo del purificador de agua mediante ozono.



**Figura 4.2:** Detalle de elementos prototipo Purificador de agua mediante ozono.

De acuerdo a la Figura 4.2, 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.

#### ***4.1.2.2 Descripción de cada uno de los elementos que conforman el prototipo para la purificación de agua.***

- **Tanque de 180 litros.**

Con la finalidad de proveer de agua al sistema de purificación mencionado se hace uso de un tanque de 180 litros, tal como se indica en la Figura 4.3, como principales características se tiene que, es del tipo tambor, elaborado en plástico con un peso aproximado de 8.0 kg. (Grupo altec, 2008).



**Figura 4. 3:** Tanque de 180 litros

- **Tubería de 19mm para agua caliente.**

El prototipo está constituido por un sistema de tuberías en el cual es transportada el agua para la purificación. El material empleado para este sistema de tuberías es resistente a la corrosión, ya que el agua ozonificada está en contacto directo con la tubería, en el sistema de recirculación de agua se utilizó el material de la marca Plastigama, tipo Hidro3, polipropileno. Además de

los accesorios que se muestran en la Figura 4.4, se tiene accesorios como: uniones, neplós de 10 y 15 centímetros, unión universal, codos, tee, adaptador para tanque.



**Figura 4.4:** Tuberías y accesorios de conexión tipo Hidro3

- **Bomba de agua Leo AJm75S de 55Ltr/min.**



**Figura 4. 5:** Bomba de agua 55Ltr/min

La bomba de agua que se muestra en la Figura 4.5, es la encargada de distribuir el agua por todo el sistema de recirculación a través de las tuberías recién mencionadas. El factor más importante para la selección de este dispositivo es el material en que está constituido, ya que al trabajar con ozono se requiere una bomba con caja de acero inoxidable para evitar el deterioro de la misma, en el mercado se ha encontrado una de marca LEO, con un impulsor de acero inoxidable con eje AISI 304 los datos de la placa son los siguientes, ver Tabla 4.2:

**Tabla 4.2:** Datos de placa de la bomba de recirculación

DATOS DE LA PLACA	
MARCA:	LEO
MODELO:	AJm75S
POTENCIA:	0.75 KW - 1 HP
CAUDAL:	55 l/min
Capacitor:	50 $\mu$ F
Voltaje de Alimentación:	110 -220 V
Frecuencia:	60 Hz

Fuente: (Trex , 2013)

- **Filtro estándar de 50 micras**

El Filtro Estándar cuenta con la tecnología Hydronet, tiene la capacidad de filtrar un total de 24 litros de agua por minuto, con la finalidad de contar con una mejor calidad de agua en la red hidráulica. El filtro Estándar incluye un cartucho de filtro, la temperatura de trabajo del filtro es de 4°C hasta 38°C. Logra la retención de sólidos en suspensión alrededor de un 85 % sólido en suspensión mayores a 50 micras. (Rotoplas, 2013), ver Figura 4.6.



**Figura 4. 6:** Filtro estándar de 50 micras

- **Manómetro de presión de 100psi.**

El prototipo cuenta con dos indicadores de presión (manómetros de 100 PSI), ver Figura 4.7. Sirven para verificar la diferencia de presión generada a la entrada y salida del Venturi, en este sistema existirá una diferencia de presiones las cuales determinan la velocidad con la que fluye el agua y dan paso a la extracción del ozono generado, si no se da este efecto prácticamente no se da la mezcla gas- liquido esperada.



**Figura 4.7:** Manómetro de 100Psi

- **Válvula check de 19mm.**

Este tipo de válvula check, que se muestra en la Figura 4.8, permite al fluido circular en una sola dirección con la finalidad de prevenir flujo en la dirección opuesta, en el prototipo se han instalado dos válvulas de este tipo, con el fin de evitar un contraflujo.



**Figura 4. 8:** Válvula check

- **Venturi de 19mm Mazzei 584**

El método para inyectar ozono es por medio de un Venturi, ver la Figura 4.9, cuyo principio de funcionamiento se basa en el cambio de presión y velocidad de un líquido en movimiento, para este caso práctico se hará uso del diagrama de comportamiento que indica el proveedor.



**Figura 4. 9:** Venturi Mazzei 584

- **Electroválvula a 12Vdc.**

En el presente trabajo se hace uso de este tipo de electroválvula (Figura 4.10), normalmente está accionada por un solenoide a 12 voltios, que permite el paso o cierre de agua, consta de una sola dirección de paso de flujo.



**Figura 4. 10:** Electroválvula de 12 voltios

- **Válvula de media vuelta de 19mm.**

El uso de este tipo de válvula (Figura 4.11), en el presente trabajo es de gran utilidad para poder regular el caudal que circula por la tubería disponible como bypass del sistema.



**Figura 4. 11:** Válvula de media vuelta

- **Compresor TKC**

El equipo que dota de la inyección de aire para el aprovechamiento del oxígeno en el prototipo es un compresor de uso automotriz, su capacidad es de 40 litros/min, se alimenta eléctricamente a 12 voltios y 15 amperios, ver Figura 4, como inicio para un pre diseño se ha tomado en cuenta su funcionalidad, la que se verá útil al momento de poner en funcionamiento el prototipo de acuerdo a lo requerido para la generación de ozono.



**Figura 4. 12:** Compresor de Aire 40Ltr/min.

#### 4.1.2.3 Condiciones de funcionamiento del prototipo para la purificación de agua

De acuerdo al diagrama de la Figura 4.2 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 4.3, 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 4.3:** Funcionamiento de elementos prototipo purificador de agua mediante ozono

ETAPAS	ELEMENTOS									
	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	C	G	
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			

A continuación, se hace una breve descripción del funcionamiento de cada una de las etapas mostradas en la Tabla 4.3.

- **Llenado del Tanque.**

En esta etapa se realiza el llenado del tanque de 180 litros en dependencia del sensor de nivel de agua(ls), que controla a la válvula (v1) y la bomba de agua (B), el proceso de llenado concluye al instante de llenar el tanque hasta el nivel permitido, luego de eso se apaga los elementos accionados por el sensor.

- **Recirculación y Filtrado de Agua.**

En esta etapa, se realiza el proceso de recirculación y filtración de agua, para lograr esta fase, automáticamente se habilitan, las válvulas (v2, v3, v4) y la bomba (B) de acuerdo a lo que lo requerido y funcionalidad de elementos.

- **Recirculación y ozonización de Agua.**

De acuerdo a la disponibilidad de agua ya filtrada, se da paso a la producción de ozono requerido según la cantidad de agua que se vaya a purificar, en esta etapa se habilitan las válvulas (v2, v3, v5), la bomba de agua (B), compresor (C) y generador de descargas (G).

- **Reposo.**

En esta etapa para poder conseguir efecto alguno de la generación de ozono es necesario poner en reposo el agua durante un periodo estimado de 20 minutos, esto se lo hará cada vez después de la generación de ozono.

- **Vaciado del Tanque.**

Conforme a los procesos realizados de purificación de agua, habrá veces que se desee vaciar el tanque, ya sea por renovación de agua o lavado de del tanque, para ello solamente se habilita la válvula manual (v6) y la bomba de agua (B) de acuerdo a las instrucciones que se tenga para esta etapa.

## **4.2 ESPECIACIONES 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  $Cl$  en (litros/hora), estas variables se relacionan a través de la Ecuación 4.4.

**Ecuación 4.4:** Producción de ozono deseada.

$$P_d = D_s \cdot Cl$$

Fuente (Beutelspacher & Calderón, 2005)

Donde:

*Pd*: Producción de ozono deseada.

*Ds*: Dosis de ozono.

*Cl*: 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:

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

$$Pd = (288.00/1000.00)gr/hora$$

$$Pd = 0.288 \frac{gr}{hora}$$

#### 4.2.1 Consumo de potencia celda de descargas

El cálculo de la potencia de consumo está dado de acuerdo a la Ecuación 4.5:

Ecuación 4.5: Potencia de consumo

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

Fuente (Beutelspacher & Calderón, 2005)

Donde:

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

*Pd*: Producción de ozono.

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

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

$$Pg = 8.32W$$

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.

#### 4.2.2 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°. (Beutelspacher & Calderón, 2005)

En esta parte se dimensiona el área de descargas de acuerdo a la siguiente Ecuación 4.6:

**Ecuación 4.6:** Area de descargas

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

Fuente (Beutelspacher & Calderón, 2005)

Donde:

$A$ : Área de descargas.

$Pg$ : Potencia consumida por la celda generadora de ozono.

$Kd$ : Densidad de potencia.

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

$$A = 8.32 \text{ mm}^2$$

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 4.7.

**Ecuación 4.7:** Área de la placa de descargas

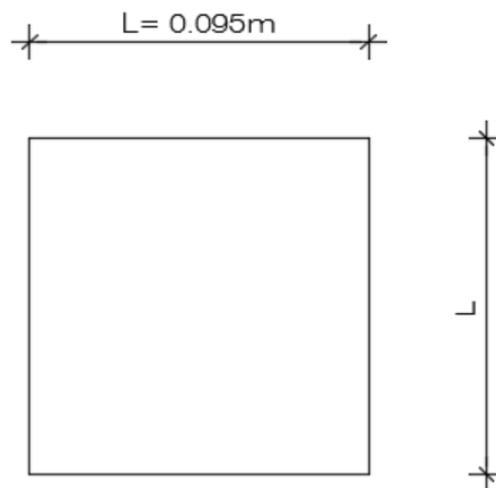
$$A = (L \times L) \text{ m}^2$$

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

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

$$L = (0.0912) \text{ m}$$

La longitud del lado (L) se ha asignado el valor de 0.095m, (Figura 4.13).

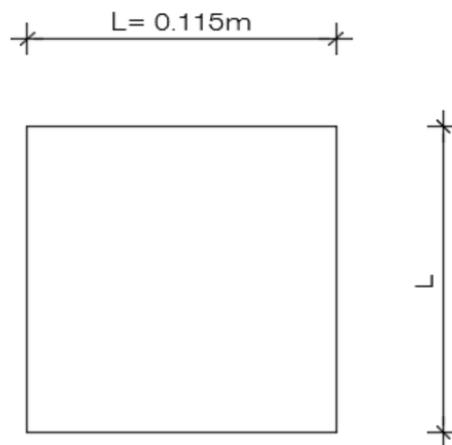


**Figura 4. 13:** Dimensiones de la placa de descargas 1.

Fuente: El Autor

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 tal como se indica en la Figura 4.14.



**Figura 4. 14:** Dimensiones placa de descargas 2.

Fuente: El Autor

La conformación de estas dos placas más una mica de 0.5mm de área cuadrada de lado  $L = 0.115\text{m}$ , se hace la celda de descargas eléctricas para la generación de ozono, con la finalidad de funcionalidad se ha hecho el soporte de la celda de descargas, información que se muestra en el Anexo G.

#### 4.2.3 Selección de la frecuencia de Funcionamiento y espesor del dieléctrico

De acuerdo a lo señalado en el Capítulo III con respecto la clasificación de generadores en dependencia de la frecuencia, se tiene que, de acuerdo a las disponibilidades del sistema en marcha, es mejor diseñar un generador de alta frecuencia y bajo voltaje.

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. Cabe mencionar que se ha tomado en cuenta las siguientes consideraciones que se muestra a continuación:

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, se provee de un comportamiento aceptable para las descargas eléctricas del generador, haciendo uso del oscilador 555 se puede proveer de una señal PWM, y para ello es necesario usar las Ecuaciones 4.8 a 4.11, que a continuación de muestran.

**Ecuación 4.8:** Tiempo de carga (salida en alto).

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

**Ecuación 4.9:** Tiempo de descarga (salida en bajo).

$$t_2 = 0.693(R_B)C$$

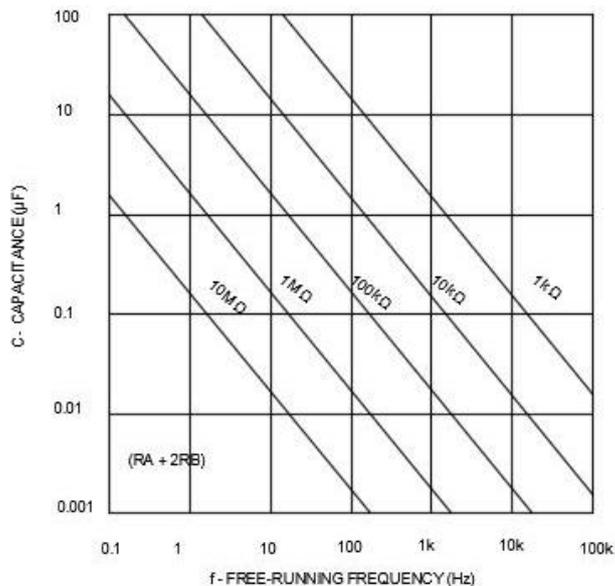
**Ecuación 4.10:** Periodo de funcionamiento de la señal.

$$T = t_1 + t_2$$

**Ecuación 4.11:** 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 Figura 4.15 se muestran los valores necesarios de  $R_A$ ,  $R_B$  y  $C$  para tener una frecuencia aproximada de 5.5Khz.



**Figura 4. 15:** Rectas para la selección del comportamiento de la señal pwm, oscilador 555

Fuente: (Instruments, 2000)

Como se ha mencionado ya, y de acuerdo a las Ecuaciones 4.8, a 4.11, los valores de los elementos involucrados son:

$$R_A = 10K\Omega$$

$$R_B = 8.2K\Omega$$

$$C = 0.01\mu F$$

A continuación, se muestra el circuito resultante, para la generación de descargas del generador de ozono. (Ver Figura 4.16).

Reemplazando los valores de  $R_A$ ,  $R_B$  y  $C$  en la Ecuación 4.8.

$$t_1 = 0.693(10 * 1000 + 8.2 * 1000)0.01/1000000$$

$$t_1 = 126 \mu \text{ segundos.}$$

De la misma forma que se obtuvo se reemplaza los valores conocidos en la Ecuación 4.9.

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

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

Ahora ya se tiene los tiempos en alto y bajo, se reemplaza los valores de  $t_1, t_2$  en la Ecuación 4.10.

$$T = t_1 + t_2$$

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

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

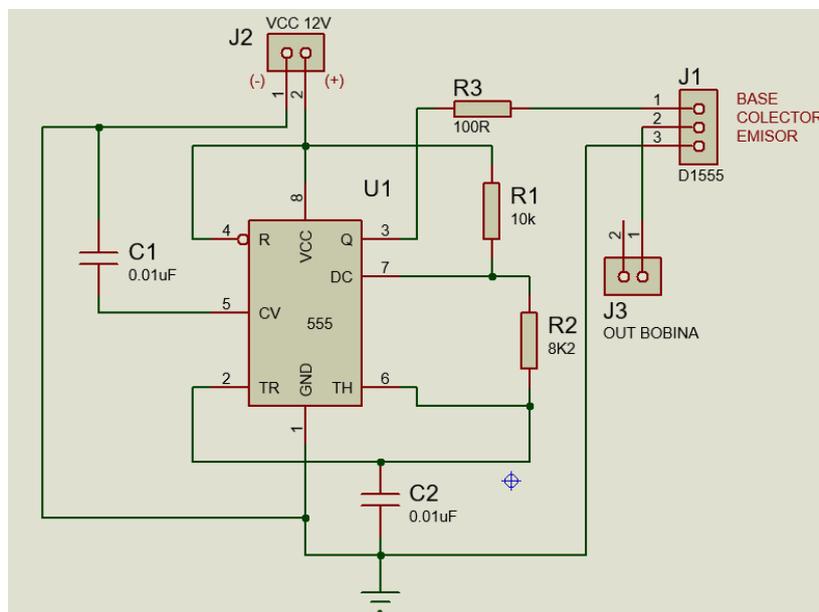
$$T = 182.82 \mu \text{ segundos.}$$

Finalmente reemplazando  $T$ , en la Ecuación 4.11 se verifica el valor de la frecuencia de oscilación del generador de ozono asignada.

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

$$f = 5.469 \text{ KHz.}$$

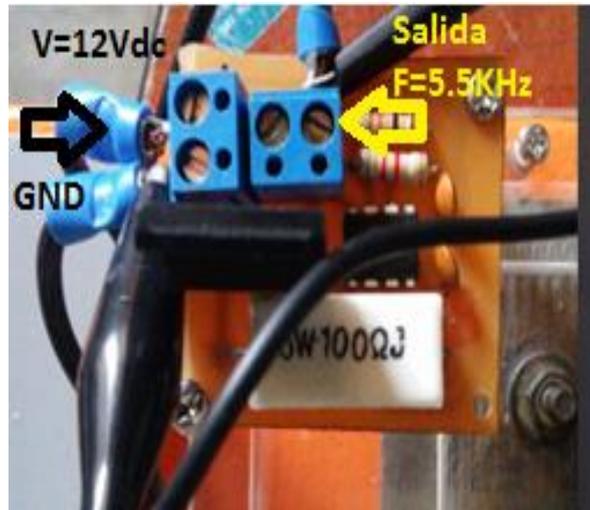
A continuación, se da a conocer el circuito de oscilación a implementar.



**Figura 4. 16:** Diagrama Circuito Oscilador Generador de Descargas 5.5KHz

El circuito anterior de la Figura 4.16, mediante el transistor de salida horizontal D1555, se conecta al borne negativo de la bobina de descargas, mientras que el borne positivo de la bobina

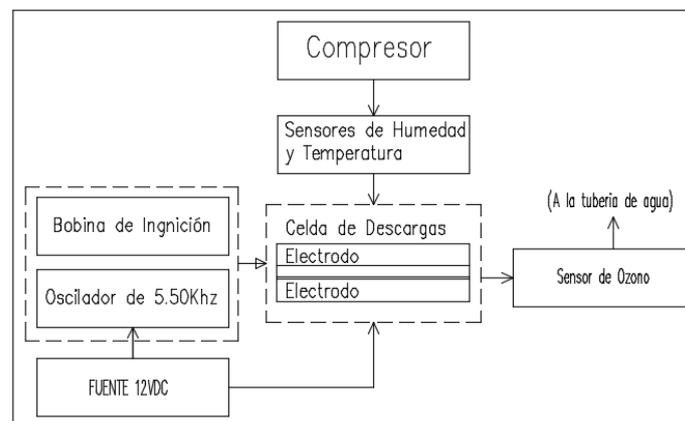
de descargas se conecta directamente a la batería de 12 voltios. Seguidamente en la Figura 4.17, se presenta el circuito resultante para el generador de descargas eléctricas.



**Figura 4. 17:** Circuito resultante generador de descargas

### 4.3 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, (Figura 4.18).



**Figura 4. 18:** Diagrama de bloques del generador de ozono

De acuerdo al diagrama de bloques de la Figura 4.18 se tiene las siguientes partes y subsistemas existentes necesarios para la generación de ozono, a continuación, se detalla sus elementos:

- Sensor de humedad HIH 4030

- Sensor de Temperatura TTC103
- Gas de Alimentación: Aire
- Celda de descargas eléctricas.
- Sensor de ozono MQ131
- Bobina de encendido BOSH 0220081054 K12V
- Circuito de oscilación a 5.5Khz.
- Compresor de aire.

De acuerdo al diagrama de la Figura 4.18 se hace una breve descripción del proceso de funcionamiento para la generación de ozono.

El sistema del generador de ozono está alimentado con aire de la atmósfera el cual es impulsado al interior de la celda de descargas y al mismo tiempo es extraído por el efecto del tubo Venturi instalado en el sistema de circulación de agua, previamente se recoge mediante sensores las lecturas de la temperatura y humedad del aire, de acuerdo a lo que se requiere para la generación de ozono se debe tener una temperatura que no sobrepase de los 30°C y una humedad no mayor a 65%, considerando estos parámetros se puede generar ozono.

La generación de las descargas eléctricas en la celda va en dependencia del comportamiento que rige el oscilador de 5.50Khz que hace que genere un arco eléctrico por medio de una conexión celda-bobina.

La alimentación del compresor, bobina de encendido y oscilador, es en base a una fuente computadora de 12 voltios en corriente directa a 30 amperios.

Con la finalidad de saber la existencia de la presencia de ozono, se ha ubicado un sensor de ozono el cual indica el rango aproximado de generación de ozono.

#### **4.4 PASOS PARA LA PUESTA EN MARCHA DEL GENERADOR DE OZONO DISEÑADO.**

Para definir la puesta en marcha del generador de ozono se han visto las siguientes condiciones:

Gas de alimentación: En este caso se ha previsto usar aire de la atmosfera.

Celda de descargas: la celda de descargas está constituida en una caja de acrílico, la que sirve de aislamiento el paso del aire para la transformación del oxígeno a ozono.

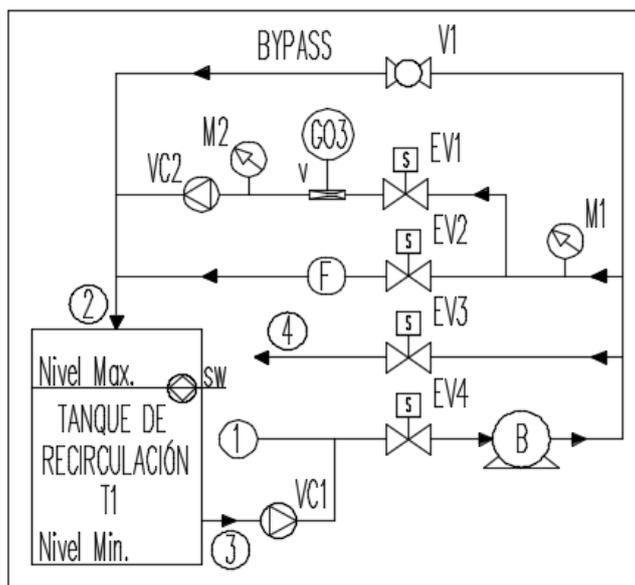
Se ha previsto de soportes para la ubicación de sensores de humedad, temperatura, ozono y ventilador, los cuales por medio del uso del programa SolidWorks 2014 y con la ayuda de las impresiones en 3D se ha podido desarrollar el modelado de estas partes del generador.

La bobina de descargas está alimentada a 12 voltios y además por medio de la señal que provee el oscilador de 5.50Khz.

Todos los elementos que conforman el generador de ozono se han ubicado en una caja metálica de (40cm x 30cm), donde se halla las conexiones respectivas de alimentación y control de acuerdo a los diagramas eléctricos que se muestran en el Anexo B.

#### **4.5 PROPUESTA DEL NUEVO ESQUEMA DE INTERCONEXIÓN DE LAS PARTES Y SU JUSTIFICACIÓN.**

De acuerdo a las primeras pruebas de funcionamiento del sistema, según como se indica en la Tabla 4.2 se ha visto la necesidad de modificar el sistema anterior por un nuevo sistema como el que se indica, (Ver Figura 4.19).



**Figura 4. 19:** Nuevo sistema de interconexión para la purificación de agua mediante ozono

Basándose en la Figura 4.19 se tiene las siguientes partes, que se muestra en la Tabla 4.4:

**Tabla 4.4:** Descripción y Características de los principales elementos del prototipo

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CARACTERISTICAS
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/cm2 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 nuevo esquema de interconexión se puede apreciar los siguientes cambios con respecto al esquema de la Figura 4.2:

Se quita el compresor, debido al exceso de ruido, reemplazando esta función de impulsión de aire con el mejoramiento de las condiciones de funcionamiento del Venturi instalado, se realiza una conexión directa a la celda de generación de ozono.

El bypass del nuevo sistema consta de una válvula de bola el cual estaba en el primer sistema, regulado por una electroválvula, debido a que su funcionalidad sería mejorada con una válvula de regulación manual, además se ha visto la necesidad de tener en cuenta la cantidad de litros de agua para poder dar un buen uso del Venturi instalado.

Así mismo se puede apreciar en la Figura 4.19, la reubicación de los manómetros y reemplazo de una válvula check, con la finalidad de obtener una mejor visualización con referencia a la diferencia de presiones del sistema, para poder así extraer aire por medio del venturi a las condiciones que se muestra (Ver Tabla 4.5).

**Tabla 4.5:** Condiciones de funcionamiento del Venturi Mazzei 584

<b>Condiciones de Funcionamiento Venturi 584</b>			
<b>Presión de operación (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>		<b>Succión de aire</b>	
Ingreso	Salida	Caudal en Movimiento (ltr/min)	Succión de aire (ltr/min)
4.22	0.00	26.3	17.1

Con respecto a la Tabla 4.5, se puede apreciar que la presión al ingreso del Venturi es de 4.22  $Kg/cm^2$ , la presión de salida del venturi es de 0.00  $Kg/cm^2$  y un flujo de agua requerido 26.3  $L/min$ , para obtener 17.1  $L/min$  de aire, el cual contiene ozono estimado para la purificación de agua.

#### ***4.5.1 Condiciones de funcionamiento del nuevo sistema de interconexión del prototipo de purificación de agua mediante ozono.***

De acuerdo al diagrama de la Figura 4.19, 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 (Ver Tabla 4.6). A continuación, se hace una breve descripción de cada una de las etapas:

- **Llenado de Tanque.** - En esta etapa se realiza el llenado del tanque de 180 litros en dependencia del sensor de agua (ws), que controla el llenado del tanque, en esta etapa se habilita las válvulas (v4 y v5), y la bomba de agua (B), el proceso de llenado concluye al instante en que se detecta la presencia de agua al nivel establecido de 180 litros.
- **Recirculación y Filtrado de Agua.** - En esta etapa, se realiza el proceso de recirculación y filtración de agua, para lograr esta fase, automáticamente se habilita, la válvula (v2) y ajusta manualmente la válvula (v5) hasta conseguir una presión de ingreso de 30PSI, para lograr la recirculación de agua se enciende la bomba (B) de acuerdo a lo que lo requerido y funcionalidad de los elementos.
- **Recirculación y Ozonización de Agua.** - De acuerdo a la disponibilidad de agua ya filtrada, se da paso a la producción de ozono requerida para la purificación de agua necesaria, en esta etapa se habilitan las válvulas (v1, v5), de igual manera que en la anterior etapa de filtración se hace el ajuste de la presión en 30 PSI en la válvula 5, se habilita la bomba de agua (B), y se enciende el generador de descargas (GO3).
- **Reposo.** - El proceso de ozonización ha sido realizado con la etapa anterior, ahora con esta etapa se consigue hacer efecto con respecto a la purificación, todo el sistema por completo se pone en pausa durante 20 minutos como base aproximadamente para este proceso.

- **Vaciado del Tanque.** - Conforme a los procesos realizados de purificación de agua, habrá veces que se desee vaciar el tanque, ya sea por renovación de agua o lavado de del tanque, para ello solamente se habilita las válvulas (v4, v5) y la bomba de agua (B) de acuerdo a las instrucciones que se tenga para esta etapa.

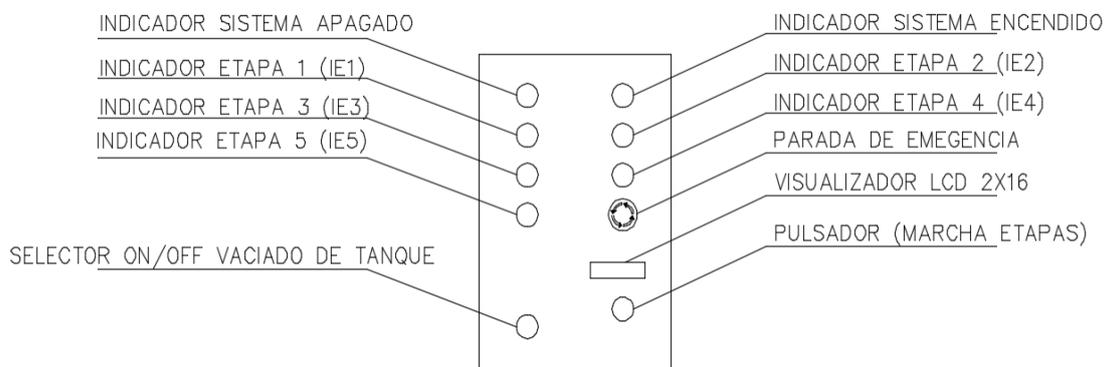
**Tabla 4.6:** Funcionamiento de elementos del nuevo sistema de interconexión del prototipo purificador de agua mediante ozono

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	

(Ev1-Ev4): Electroválvulas 1- 4, V1: Válvula de Bola, B: Bomba, GO3: Generador de Ozono

#### 4.6 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA

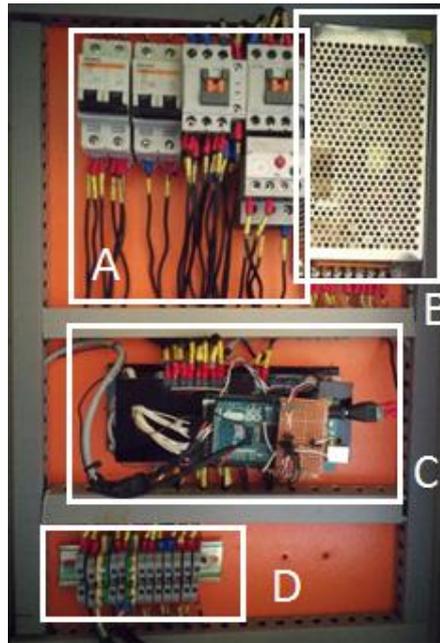
En la Figura 4.20, se muestra el panel de control, el cual está provisto de indicadores y controles de mando, los cuales muestran las etapas de funcionamiento de todo el prototipo propuesto en este trabajo.



**Figura 4.20:** Panel de control del prototipo purificador de agua mediante ozono

Como ya se ha indicado en el Capítulo IV, el funcionamiento del prototipo va en dependencia del estado de llenado del tanque de agua. Para indicar la presencia de agua a una altura establecida a los 180 litros, se ha utilizado el sensor de presencia de agua que nos indica si está lleno o no el tanque.

Para el funcionamiento total del sistema de purificación de agua se ha previsto el uso de un sistema eléctrico tal como se puede apreciar en la Figura 4.21, el cual provee de protecciones a los interfaces de control y potencia de la máquina, el diseño del sistema eléctrico se muestra en el Anexo H.



**Figura 4. 21:**Sistema Eléctrico de Fuerza del prototipo.

Sub Sistema de Protecciones Eléctricas, (A), constituido por dos breakers bifásicos, dos contactores, y un relé térmico.

- Breaker bifásico 1, está previsto para proteger las líneas de alimentación de las fuentes de alimentación de 12 voltios de 15 y 20 amperios, desconectándose automáticamente cuando la intensidad de corriente sobrepase los 40 amperios.
- Breaker bifásico 2, cumple con funciones similares que el breaker 1, en este caso está previsto para proteger a la bomba de agua, se desconecta si existe un sobrepaso de corriente de 32 amperios, en este caso ayudaría a la protección parcial del resto de elementos eléctricos y circuitos electrónicos de control ya que no se alimentan a un mismo breaker.
- Contactor 1, activa todo el sistema luego del breaker 1, bajo la dependencia de un sistema de enclavamiento con un pulsador y paro de emergencia.
- Contactor 2, activa o desactiva el paso de las líneas de alimentación que conectan a un guarda motor que sirve de protección adicional a la bomba de agua de 1 HP, el

accionamiento se lo realiza con un sistema de control, el cual está comandado desde la placa de control principal mediante un interfaz de potencia.

Fuente de Alimentación de 110Vac a 12Vdc, 20 Amp. (B).

Módulo de Relés de 12Vdc, (C).

Módulos de Relés de estado sólido, (C).

Placa de control ARDUINO MEGA 2560, (C).

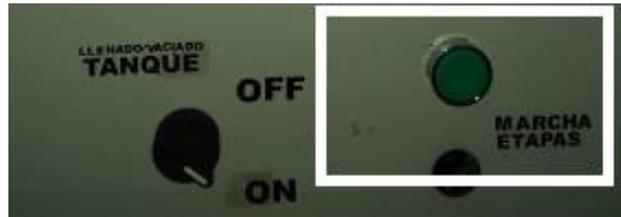
Cableado de interconexión y borneras, (D).

Para la ubicación de los elementos mencionados, se utilizó de una caja metálica de (60cm x 40cm x 20cm) de doble fondo metálico con pintura electrostática con un grado de protección IP65. Para visualizar el estado de encendido o apagado general del sistema eléctrico ha hecho uso de dos indicadores, uno de color rojo (OFF) y otro de color verde (ON), los cuales indican si el tablero de control está energizado o no, tal como se puede apreciar la Figura 4.22.



**Figura 4. 22:** Indicadores de funcionamiento general del prototipo

Una vez que el indicador verde está encendido, Figura 4.23, se puede dar paso a la secuencia del proceso de purificación mediante ozono, para ello se habilita el botón verde (MARCHA ETAPAS), (Figura 5.4).



**Figura 4. 23:** Botón de inicio etapas de funcionamiento del prototipo.

Al accionar el botón MARCHA ETAPAS, se está alimentando a la placa Arduino Mega 2560, ya que está conectada a una de las fuentes de 12 voltios, de aquí con la ayuda de la LCD 2X16 se puede ver los mensajes que se tiene como guía para el usuario del sistema, el inicio de funcionamiento de las etapas se basa en la selección de (LLENADO/VACIADO) del tanque, del panel de control. Si se elige llenar (LLENADO), selector en la posición (ON), ver Figura 4.24, se da inicio a la etapa 1 “LLENADO DEL TANQUE” (el llenado está definido en función del sensor de presencia de agua, el cual en dependencia del código establecido de funcionamiento mostrado en el Anexo H), se da paso al encendido y apagado de los elementos eléctricos tales como la bomba de agua y electroválvulas.



**Figura 4.24:** Selección etapa de llenado del tanque

Una vez concluida la etapa de llenado se da paso automáticamente a las siguientes etapas que se ha descrito en el Capítulo IV.

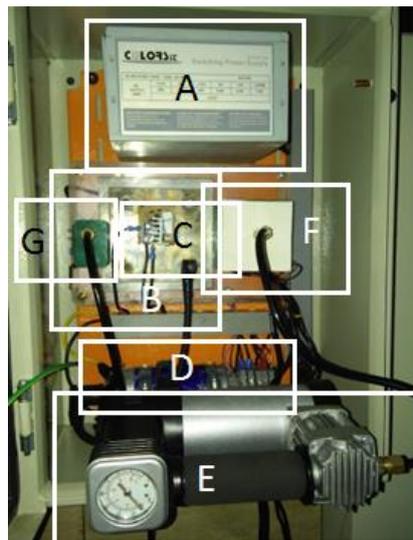
Los tiempos de las etapas de filtrado y ozonizado van de acuerdo a la disponibilidad de tiempos, como se detalla a continuación.

ETAPA 2 – FILTRADO Y RECIRCULACIÓN- 20 MINUTOS.

ETAPA 3- OZONIZACIÓN Y RECIRCULACION – 30 MINUTOS.

Los tiempos que se han establecido se hacen en referencia a la disponibilidad de la cantidad de litros de agua y capacidad de la bomba de recirculación de agua del sistema.

Además de lo detallado anteriormente, se tiene una segunda caja metálica de (40cmx30cmx20cm), con el mismo grado de protección IP65, donde se tiene el generador de Ozono (Figura 5.6).



**Figura 4.25:** Generador de ozono

De acuerdo a la Figura 4.25, el generador de ozono está conformado por las siguientes partes:

- Fuente de 110Vac a 12Vdc, (A).
- Celda de descargas eléctricas, (B)
- Circuito de Oscilación a 5.5Khz, (C).
- Bobina de encendido Bosch 0220081054 K12V, (D).
- Compresor de 12Vdc, (E).
- Sensor de Humedad HIH 4030, (F).
- Sensor de Temperatura TTC103, (F).
- Sensor de Ozono MQ131, (G).
- Soportes para los sensores, (F) y (G).

Como complemento para la conexión del generador de ozono se ha utilizado una pequeña fracción de manguera para la conducción de aire de 6.36mm, la cual va desde la salida del generador de descargas hasta el tubo Venturi que hace la mezcla del ozono generado con el agua en proceso de purificación.

En caso de que se requiera interrumpir todo el proceso solamente hay que presionar el botón de emergencia, (Figura 4.26).



**Figura 4.26:** Paro de emergencia del panel de control del sistema

Con la finalidad de indicar el comportamiento de la máquina, se realiza el manual del usuario, ver el Anexo M.

## **CAPÍTULO V**

### **PRUEBAS Y ANÁLISIS DE L RESULTADOS**

#### **5.1 COMPORTAMIENTO DE LOS DIFERENTES ELEMENTOS**

##### **CONTAMINANTES ANTES DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA.**

El nivel de purificación de agua va en dependencia a la cantidad de Coliformes totales y E. Coli, que son organismos bacterianos los cuales determinan la calidad del agua con la que se cuenta. Estas bacterias normalmente se encuentran en el agua que no ha sido tratada con óxido de cloro o equipos de ozono calificados es por lo general de origen fecal ya sea proveniente de humanos o de origen animal, como prioridad principal es evitar la contaminación proveniente de origen humano.

Los Coliformes del tipo Escherichia ó E. Coli son los principales en ser analizados para recomendar el uso del agua, en este caso para lo que es natación es necesario mantener un contenido máximo de 200 colonias por 100 ml de agua.

Con la finalidad de obtener un comportamiento aceptado del prototipo purificador de agua mediante el uso de ozono se ha previsto el uso de una muestra de agua proveniente de un efluente la cual tiene ausencia de cloro. El agua con la que se ha trabajado es de una fuente natural, ubicada en la ciudad de Otavalo, proveniente de la captación de la Asociación de chocheros, (calle Mejía entre Guayaquil y Sixto Mosquera).

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 en el Anexo I, 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.

## **5.2 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 5.1.

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.



**FIGURA 5. 1: TEST KIT DE OZONO - HI 38054**

Fuente: (HANNA INSTRUMENTS)

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 5.1:** 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.

### 5.3 COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE OZONO EN EL AGUA CON RESPECTO AL TIEMPO.

De acuerdo a las cantidades dotadas por la Tabla 5.1, 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 5.2.

**Tabla 5.2:** 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 5.2, 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 microorganismos significativa a favor de la aplicación de los métodos empleados en este trabajo.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES**

- El estudio de la base teórica permitió establecer el modelo del prototipo de generador de ozono para la purificación de agua que se presenta.

- las pruebas experimentales y ensayos realizados con el test Kit de Ozono- HI 38054 permitieron comprobar que el diseño establecido ha funcionado correctamente, cuestión evidenciada en la reducción de microorganismos que se ha obtenido en el agua tratada.
- 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 el agua tratada está siendo purificada.
- El tiempo de generación de ozono definido en este trabajo ha sido el adecuado 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.

## BIBLIOGRAFÍA

AGUAPURIFICACIÓN. (Septiembre de 2010). *Purificación y Tratamiento de Agua*.

Obtenido de Metodos de Purificación.

Barry, L. (2010). *Ozone: Science & Engineering Thirty Three Years and Growing*. Ohio:

Ozone: Science & Engineering 9731 Pebble View Dr., Cincinnati, Ohio 45252 USA.

Obtenido de <http://www.tandf.co.uk/journals/pdf/BOSEeditor.pdf>

BATALLER, M., FERNÁNDEZ, L., & VÉLIZ, E. (2010). Eficiencia y sostenibilidad del empleo del ozono en la gestión de los recursos hídricos. *Contaminación Ambiental*,

85-95. Obtenido de

<http://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/20447>

Bataller, M., Fernández, L., Véliz, E., & Álvarez, C. (2007). Impacto económico y calidad microbiológica de aguas tratadas con ozono. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 6.

Obtenido de <http://revista.cnic.edu.cu/revistaCQ/sites/default/files/articulos/CQ-2007-1-231-236.pdf>

Baumgarten, S. (2009). Aplicación del ozono en odontología – Informe sobre un caso real. *Asociación Alemana de Implantología Odontológica*, 6.

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>

Boeniger, M. (1995). Use of ozone generating devices to improve indoor air quality. *Am. Ind. Hyg. Assoc. Journal*, 9.

Bolton, W. (2006). *Mecatronica: Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica* (3ra ed.). Mexico: Alfaomega.

Borrero, P., Echeverry, D., & Aponte, G. (18 de Abril de 2007). Ozonización del agua de piscinas: una alternativa al método tradicional de cloración. *TECNURA*, 11(22), 12. Obtenido de TECNURA: <http://www.redalyc.org/pdf/2570/257020603001.pdf>

- BRESLIN, K. (1996). *El impacto del ozono, Noticias de Seguridad*. Denver: Masson.
- Calatayud, V., & Mendieta, A. (26 de Septiembre de 2014). *Efectos del Ozono y su interacción con en Nitrógeno en seis variedades de hortalizas*. Obtenido de Universidad de Valencia: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/1756>
- Campos, J. (8 de Diciembre de 2012). *Tratamientos Industriales del agua*. Obtenido de Civilgeeks.
- Cañedo, R. (Marzo de 2012). *Diseño de un equipo generador de ozono clinico para blanqueamiento dental*. Obtenido de Pontificia Univesidad Católica del Perú: [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/1266/CANEDO\\_ARNEDO\\_RICARDO\\_GENERADOR\\_BLANQUEAMIENTO\\_DENTAL.pdf?sequence=1](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/1266/CANEDO_ARNEDO_RICARDO_GENERADOR_BLANQUEAMIENTO_DENTAL.pdf?sequence=1)
- Carolina Senabre, B. (2010). *Diseño mecánico con Autodesk inventor paso a paso*. Alicante: Club Universitario. Obtenido de <http://www.editorial-club-universitario.es/libro.asp?ref=3582>
- Consultation, Guidelines for Safe Recreational-water Environments Final Draft for. (2000). MANAGING WATER AND AIR QUALITY. *Swimming Pools, Spas and Similar Recreational-wate*, 23. Obtenido de [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/bathing/recreaII-ch5.pdf?ua=1](http://www.who.int/water_sanitation_health/bathing/recreaII-ch5.pdf?ua=1)
- Creus, A. (1997). *Instrumentación Industrial* ( 6ta ed. ed.). Barcelona: Marcombo S.A.
- Environmental Protection Agency. (1999). Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Desinfección con ozono. *EPA 832-F-99-063*, 9. Obtenido de <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/cs-99-063.pdf>

EUROZON, S.L. . (2014). *Aplicaciones del Ozono*. Obtenido de EUROZON, S.L:  
<http://www.eurozon.com/aplicaciones/ambientes.html>

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](http://www.cenidet.edu.mx/subaca/web-elec/tesis_mc/167MC_jfe.pdf)

Galvis, A., Aponte, G., Echeverry, D., González, M., & Cardona, D. (2005). Evaluación del funcionamiento de un Generador de Ozono a escala piloto en la desinfección de agua para consumo humano. *Revista Ingeniería*, 8. Obtenido de <http://revistaingenieria.univalle.edu.co:8000/index.php/incompe/article/viewFile/99/98>

García, M. (2009). Tratamiento de Aguas Residuales Industriales. *Tratamientos Tratamientos específicos de vertidos industriales industriales – Parte I Parte I*, 28. Obtenido de <http://www.ugr.es/~mgroman/archivos/TARI/teari-1.pdf>

García, R., & Millan, L. (18 de Mayo de 2001). *Todo lo que un vendedor de instalaciones de generadores de ozono para desinfección de aire y agua debe saber*. Obtenido de TRIOZON: [http://www.triozon.org/documentos/manuales/Manual\\_del\\_Vendedor.pdf](http://www.triozon.org/documentos/manuales/Manual_del_Vendedor.pdf)

Gobierno del principado de Asturias. (2006). *Guía de ayuda para la implantación del sistema de autocontrol en piscinas*. Obtenido de [http://tematico8.asturias.es/export/sites/default/consumo/sanidadAmbiental/sanidad-ambiental-documentos/Guxa\\_de\\_ayuda\\_para\\_la\\_implantacixn\\_del\\_sistema\\_de\\_autocontrol\\_en\\_piscinas.pdf](http://tematico8.asturias.es/export/sites/default/consumo/sanidadAmbiental/sanidad-ambiental-documentos/Guxa_de_ayuda_para_la_implantacixn_del_sistema_de_autocontrol_en_piscinas.pdf)

Golemelectronics. (s.f.). *Sensor de agua – Sensor de nivel de agua*. Obtenido de <http://www.golemelectronics.com/producto/sensor-de-humedad-suelo-arduino-picavr-copiar/>

GOTTCHALT, C., LIBRA, J., & SAUPE, A. (2010). *Ozonation of Water and Waste Water* (Segunda ed.). Alemania: WILEY-VCH.

HANNA INSTRUMENTS. (s.f.). *MANUAL DE MANTENIMIENTO DE PISCINAS*. Obtenido de <http://www.laboaragon.com/docs/marcas/hanna/Manual%20de%20piscinas.pdf>

Instruments, T. (Febrero de 2000). *LM555 Timer*. Obtenido de Texas Instruments Incorporated : <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm555.pdf>

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 tratamiento 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.pdf](http://www.sadyt.com/es_en/Images/Ozone%20Generator_tcm23-4724.pdf)  
[http://lapham25.tripod.com/archivos/prototipo\\_ozono.pdf](http://lapham25.tripod.com/archivos/prototipo_ozono.pdf)  
[https://www.researchgate.net/publication/265510735\\_Estu](https://www.researchgate.net/publication/265510735_Estu)

López, D., & Vásquez, 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>

Microelectronics. (s.f.). *Arduino Mega 2560*. Obtenido de Microelectronics, Datasheets: <http://www.microelectronics.com/datasheets/ArduinoMega2560.pdf>

Oyarzún, J. I. (26 de Noviembre de 2015). *Historia de los desinfectantes*. Obtenido de Aplicación de la medición de potencial de óxido reducción en desinfección de frutas y hortalizas: <http://www.hannacolombia.com/blog/item/472-aplicacion-de-la-medicion-de-potencial-de-oxido-reduccion-en-desinfeccion-de-frutas-y-hortalizas?tmpl=component&print=1>

Ozoleg. (2007). *Manual de aplicaciones del ozono para el control de legionella*. Valencia: Ainia Centro Tecnológico. Obtenido de [https://www.ainia.es/html/archivos/manual\\_de\\_aplicaciones\\_del\\_ozono\\_para\\_el\\_control\\_de\\_legionella.pdf](https://www.ainia.es/html/archivos/manual_de_aplicaciones_del_ozono_para_el_control_de_legionella.pdf)

OzonoEcuador. (2014). *Ozonoterapia*. Obtenido de OZONO ECUADOR: <http://www.ozonoecuador.com/index.php/ozonoterapia>

Pérez, P., & Banderas, R. (2005). *Comparación de ozonoterapia externa vs. solución salina en la velocidad de cicatrización de heridas limpias y limpias contaminadas*. Obtenido de Pontificia Universidad Católica del Ecuador: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/4371>

Plastigama. (17 de Abril de 2014). *Roscable\_PP\_HT\_2014 Roscable PP*. Obtenido de PLASTIGAMA: [http://sitio.plastigama.com/images/hojasTecnicas/Roscable\\_PP\\_HT\\_2014.pdf](http://sitio.plastigama.com/images/hojasTecnicas/Roscable_PP_HT_2014.pdf)

Rashid., M. H. (1995). *Electrónica de potencia*. (2da ed.). Prentice Hall: Hispanoamericana S.A.

Rip, G. P., & Larson, K. (1998). *Ozone Treatment of Small Water Systems*. Obtenido de Mazzei: [www.mazzei.net/wp-content/uploads/Paper8\\_iopag98.pdf](http://www.mazzei.net/wp-content/uploads/Paper8_iopag98.pdf)

Rotoplas. (24 de Septiembre de 2013). *FILTRO-STANDARD Filtro Estándar*. Obtenido de Rotoplas más y mejor agua: <http://rotoplas.com.ec/wp-content/uploads/2015/03/08-FILTRO-STANDARD.pdf>

Saladin, M. (2001). Department of water and Sanitation in developing countries at the swiss federal institute for aquatic science and technology.

Sefiltra S.A. (2010). *Osmosis Inversa*. Obtenido de Sefiltra: <http://www.sefiltra.com/osmosis-inversa-purificacion-agua.php>

Shah, S. (Junio de 1996). *Adopting German & Australian swimming Pool Ozonation technique in India*. Obtenido de Chemtronics Technologies (India) Pvt. Ltd: [http://www.chemtronicsindia.com/Swimming\\_pool\\_case\\_studies.htm](http://www.chemtronicsindia.com/Swimming_pool_case_studies.htm)

Swancarra, J. (2008). El Uso Efectivo del Ozono en la Producción de Agua Embotellada. *Agua Latinoamerica*, 3. Obtenido de [http://www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/Swancarra\\_V12N8.pdf](http://www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/Swancarra_V12N8.pdf)

THINKING ELECTRONIC INDUSTRIAL Co., LTD. (Marzo de 2008). *NTC Thermistor-TTC05 Series* . Obtenido de <http://www.taydaelectronics.com/datasheets/A-410.pdf>

Trexx . (9 de Agosto de 2013). *bomba-agua-chorro-ajm75s LEO*. Obtenido de Pintulac el color de tus ideas: [http://pintulac.com.ec/images/productos/docs\\_descarga/bomba-agua-chorro-ajm75s.pdf](http://pintulac.com.ec/images/productos/docs_descarga/bomba-agua-chorro-ajm75s.pdf)

Ures, P., Jácome, A., & Suárez, J. (2015). Ozonización (FT-TER-004). *TRATAMIENTOS TERCARIOS*, 24. Obtenido de <https://www.wateractionplan.com/documents/186210/186348/INDITEX-FT-TER-004-OZONIZACI%C3%93N.pdf/9859f940-4403-4247-bdaa-5f7b135945b3>

Véliz, E., Fernández, L., Bataller, M., Sánchez, E., Alvarez, C., Fernández, I., & Hernández, C. (2005). Determinación de Parámetros de Diseño Y Desinfección con Ozono de un Efluente Municipal. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 36, 8. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181620511004>

Villacís, M. (2006). *Determinación de la Cinématica de Inactivación de la Escherichia Coli con ozono*. Obtenido de Escuela Superior Politécnica del Litoral: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/11978/7/ESCUELA%20SUPERIOR%20POLIT%C3%89CNICA%20DEL%20LITORAL.pdf>

VILLACIS, M., & COSTA, A. (03 de MARZO de 2009). *Determinación de la cinética de inactivación de la escherichia coli con ozono*. Obtenido de dspace,espol: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/1578>

Wayne, S. (2008). PRINCIPLES OF OZONE GENERATION. *Watertec Engineering Pty Ltd*, 17. Obtenido de <http://watertecengineering.com/TZ000002%20Principles%20of%20Ozone%20Generation.pdf>

WITHERIDGE, N., & YAGLOU, C. (1939). Ozone in ventilation. *Its possibilities and limitations*, 45.



## ANEXOS

### ANEXO A

#### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PLACA DE CONTROL ARDUINO MEGA 2560

Arduino Mega 2560



#### Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

## ANEXO B

### HOJA DE DATOS SENSOR DE PRESENCIA DE AGUA.



Sensor de agua Sensor de nivel de agua es un fácil de usar, el alto costo de agua/gotas de agua sensor de reconocimiento, Que es por tener una serie de líneas paralelas cables expuestos rastros medidos gotitas/agua a fin de determinar el tamaño del nivel de agua. Agua para convertir fácilmente los valores analógicos de señales analógicas, la salida se puede leer directamente placa de desarrollo, para el nivel de efecto de la alarma.

#### **Especificaciones:**

**Nombre del producto:** sensor de nivel de agua

**Voltaje de funcionamiento:** DC3-5V

**Corriente de funcionamiento:** menos de 20mA

**Tipo de sensor:** analógico

**Área de detección:** 40mm x 16mm

**Proceso de producción:** FR4 HASL de doble cara

**Temperatura de funcionamiento:** 10-30

**Humedad:** 10%-90% sin condensación

**Peso:** 3.5G

**Tamaño:** 62mm x 20mm x 8mm

**Embalaje:** bolsa antiestática sellada

ANEXO C.

HOJA DE DATOS SENSOR DE TEMPERATURA TTC103

# NTC Thermistor: TTC05 Series



Φ5 mm Disc Type for Temperature Sensing/Compensation

■ Features

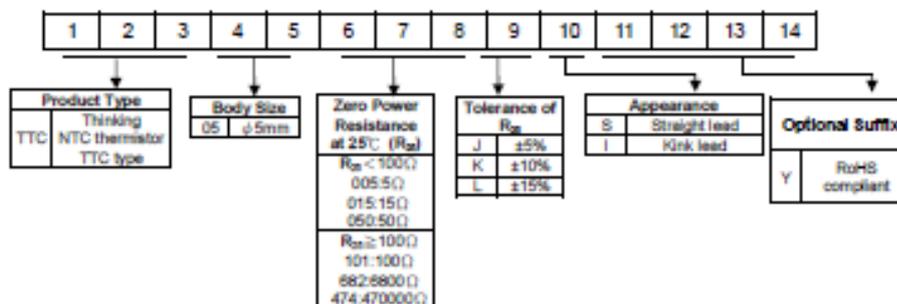
1. RoHS compliant
2. Body size Φ5mm
3. Radial lead resin coated
4. -30 ~ +125°C operating temperature range
5. Wide resistance range
6. Cost effective
7. Agency recognition :UL /CSA/TUV/CQC



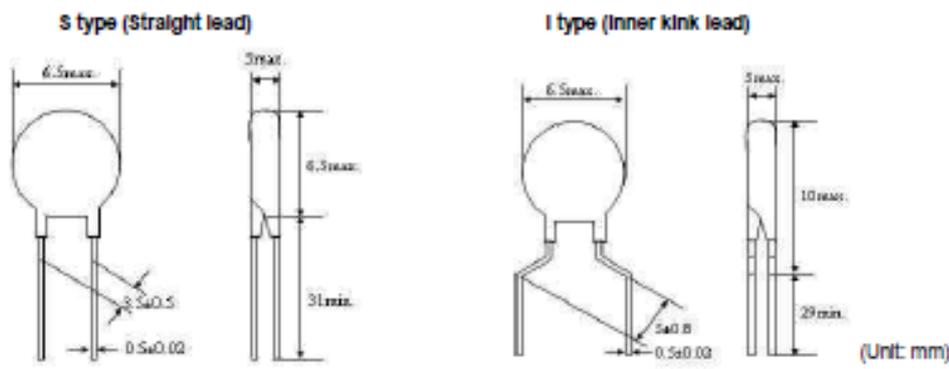
■ Recommended Applications

1. Home appliances (air conditioner, refrigerator, electric fan, electric cooker, washing machine, microwave oven, drinking machine, CTV, radio.)
2. Automotive electronics
3. Computers
4. Digital meter

■ Part Number Code

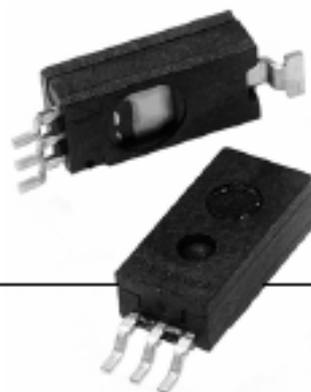


■ Structure and Dimensions



ANEXO D.

## HOJA DE DATOS SENSOR DE HUMEDAD HIH4030

## HIH-4030/31 Series

### Humidity Sensors

#### DESCRIPTION

Honeywell has expanded our HIH Series to include an SMD (Surface Mount Device) product line: the new HIH 4030/4031. The HIH 4030/4031 complements our existing line of non-SMD humidity sensors. SMD packaging on tape and reel allows for use in high volume, automated pick and place manufacturing, eliminating lead misalignment to printed circuit board through-hole.

The HIH-4030/4031 Series Humidity Sensors are designed specifically for high volume OEM (Original Equipment Manufacturer) users.

Direct input to a controller or other device is made possible by this sensor's near linear voltage output. With a typical current draw of only 200  $\mu$ A, the HIH-4030/4031 Series is often ideally suited for low drain, battery operated systems.

Tight sensor interchangeability reduces or eliminates OEM production calibration costs. Individual sensor calibration data is available.

#### FEATURES

- Tape and reel packaging allows for use in high volume pick and place manufacturing (1,000 units per tape and reel)
- Molded thermoset plastic housing
- Near linear voltage output vs %RH
- Laser trimmed interchangeability
- Low power design
- Enhanced accuracy
- Fast response time
- Stable, low drift performance
- Chemically resistant

The HIH-4030/4031 Series delivers instrumentation-quality RH (Relative Humidity) sensing performance in a competitively priced, solderable SMD.

The HIH-4030 is a covered integrated circuit humidity sensor. The HIH-4031 is a covered, condensation-resistant, integrated circuit humidity sensor that is factory-fitted with a hydrophobic filter allowing it to be used in condensing environments including industrial, medical and commercial applications.

The RH sensor uses a laser trimmed, thermoset polymer capacitive sensing element with on-chip integrated signal conditioning.

The sensing element's multilayer construction provides excellent resistance to most application hazards such as condensation, dust, dirt, oils and common environmental chemicals.

Sample packs are available. See order guide.

#### POTENTIAL APPLICATIONS

- Refrigeration equipment
- HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) equipment
- Medical equipment
- Drying
- Metrology
- Battery-powered systems
- OEM assemblies

TABLE 1. PERFORMANCE SPECIFICATIONS (At 5 Vdc supply and 25 °C [77 °F] unless otherwise noted.)

Parameter	Minimum	Typical	Maximum	Unit	Specific Note
Interchangeability (first order curve)	-	-	-	-	-
0% RH to 50% RH	-5	-	5	% RH	-
60% RH to 100% RH	-8	-	8	% RH	-
Accuracy (best fit straight line)	-3.5	-	+3.5	% RH	1
Hysteresis	-	3	-	% RH	-
Repeatability	-	±0.5	-	% RH	-
Settling time	-	-	70	ms	-
Response time (1/6 in slow moving air)	-	5	-	s	-
Stability (at 50% RH in a year)	-	±1.2	-	% RH	2
Stability (at 50% RH in a year)	-	±0.5	-	% RH	3
Voltage supply	4	-	5.8	Vdc	4
Current supply	-	200	500	µA	-
Voltage output (1 <sup>st</sup> order curve fit)	$V_{out} = (V_{supply})[0.0062(\text{sensor RH}) + 0.16]$ , typical at 25 °C				
Temperature compensation	True RH = (Sensor RH)/(1.0546 - 0.00216T), T in °C				
Output voltage temp. coefficient at 50% RH, 5 V	-	-4	-	mV/°C	-
Operating temperature	-40[-40]	See Figure 1.	85[185]	°C[°F]	-
Operating humidity (HIH-4030)	0	See Figure 1.	100	% RH	5
Operating humidity (HIH-4031)	0	See Figure 1.	100	% RH	-
Storage temperature	-50[-58]	-	125[257]	°C[°F]	-
Storage humidity	-	See Figure 2.	-	% RH	5

**Specific Notes:**

- Can only be achieved with the supplied slope and offset. For HIH-4030/31-003 catalog listings only.
- Includes testing outside of recommended operating zone.
- Includes testing for recommended operating zone only.
- Device is calibrated at 5 Vdc and 25 °C.
- Non-condensing environment. When liquid water falls on the humidity sensor die, output goes to a low rail condition indicating no humidity.

**General Notes:**

- Sensor is ratiometric to supply voltage.
- Extended exposure to ≥90% RH causes a reversible shift of 3% RH.
- Sensor is light sensitive. For best performance, shield sensor from bright light.

**FACTORY CALIBRATION DATA**

HIH-4030/31 Sensors may be ordered with a calibration and data printout. See Table 2 and the order guide on the back page.

TABLE 2. EXAMPLE DATA PRINTOUT

Model	HIH-4030-003
Channel	02
Wafer	030906M
MRP	337313
Calculated values at 5 V	
$V_{out}$ at 0% RH	0.958 V
$V_{out}$ at 75.3% RH	3.268 V
Linear output for 3.5% RH accuracy at 25 °C	
Zero offset	0.958 V
Slope	30.680 mV/%RH
Sensor RH	$(V_{out} - \text{zero offset})/\text{slope}$ $(V_{out} - 0.958)/0.0307$
Ratiometric response for 0% RH to 100% RH	
$V_{out}$	$V_{supply} (0.1015 \text{ to } 0.8130)$



FIGURE 1. OPERATING ENVIRONMENT (Non-condensing environment for HH-4030 catalog listings only.)

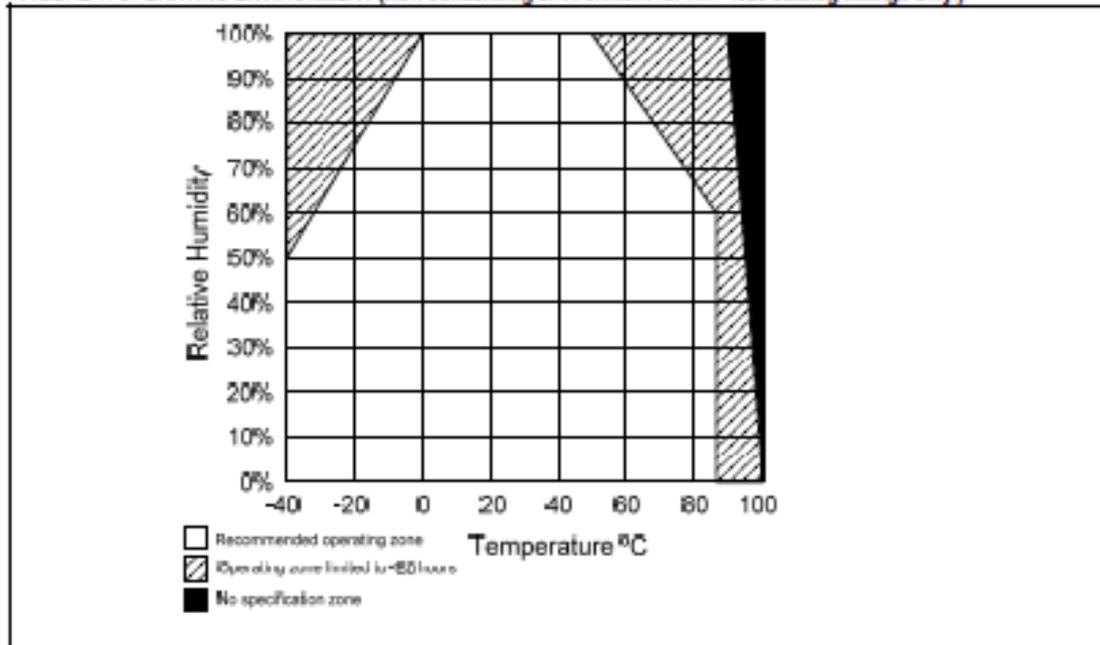


FIGURE 2. STORAGE ENVIRONMENT (Non-condensing environment for HH-4030 catalog listings only.)

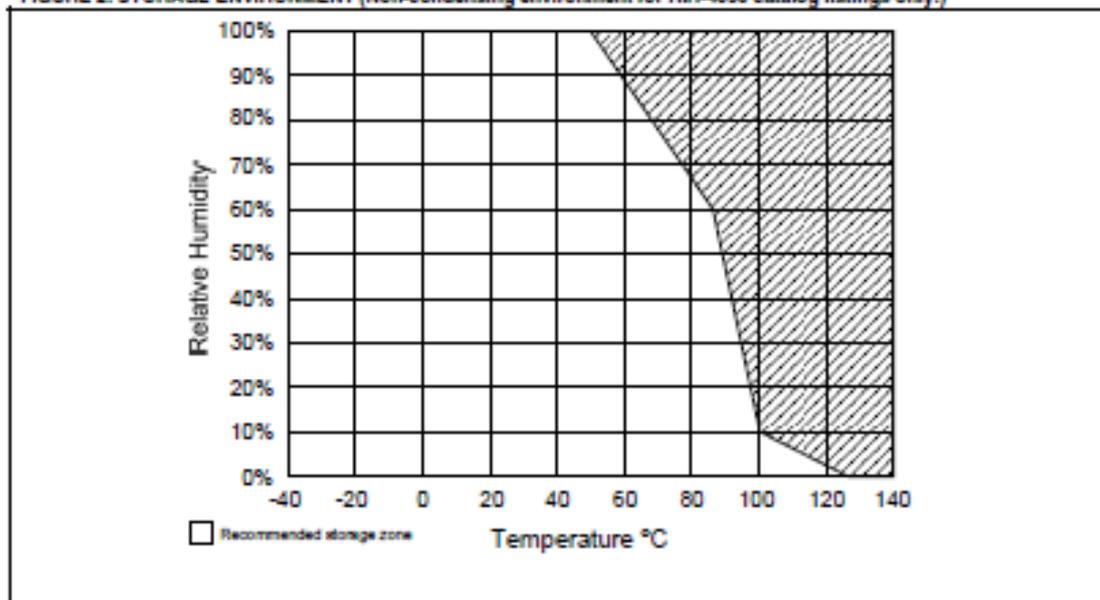


FIGURE 3. TYPICAL OUTPUT VOLTAGE VS RELATIVE HUMIDITY (At 25 °C and 6 V.)

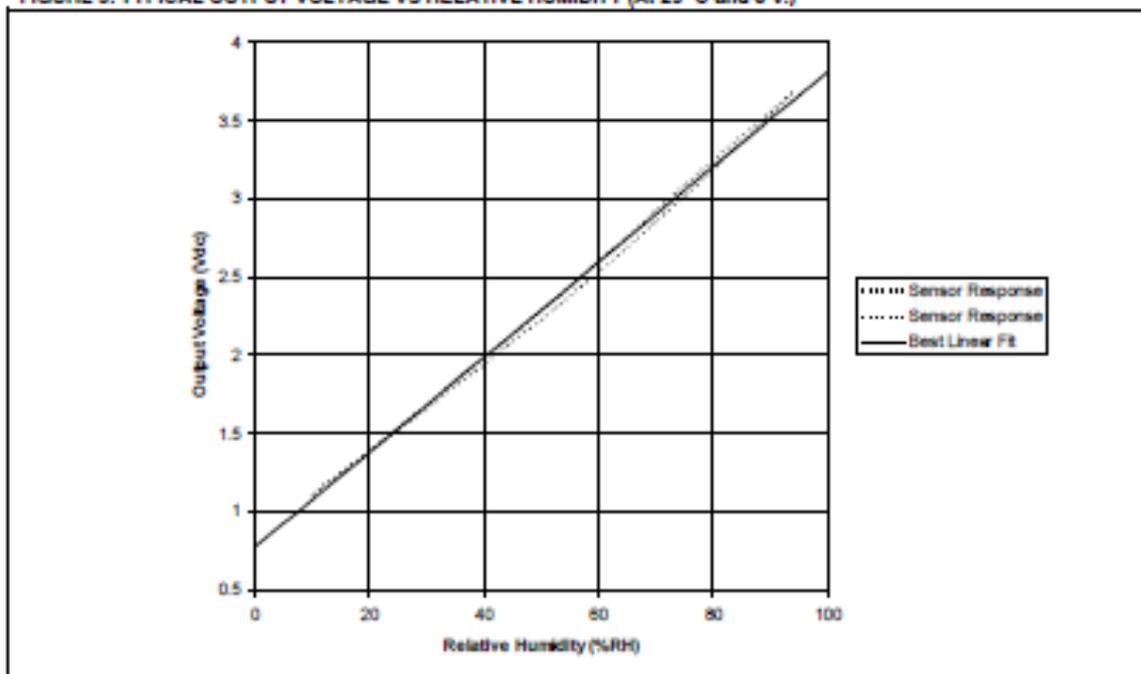
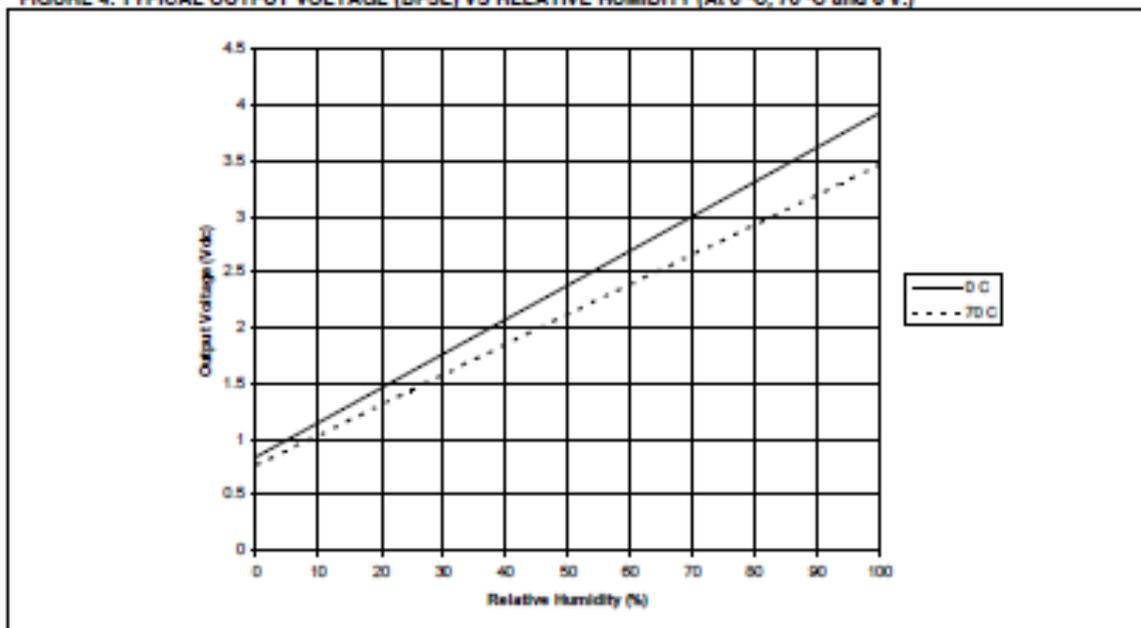


FIGURE 4. TYPICAL OUTPUT VOLTAGE (BFSL) VS RELATIVE HUMIDITY (At 0 °C, 70 °C and 6 V.)



## ANEXO E.

## HOJA DE DATOS SENSOR DE OZONO MQ 131

鼎盛科技 Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd

[www.winsentech.com](http://www.winsentech.com)

### MQ131 Ozone Gas Sensor (High Concentration)

#### Profile

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

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

#### Features

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

#### Main Applications

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


**Technical Parameters Stable.1**

Model			MQ131
Sensor Type			Semiconductor
Standard Encapsulation			Bakelite, Metal cap
Target Gas			Ozone
Detection range			10~1000ppm Ozone
Standard Circuit Conditions	Loop Voltage	$V_L$	$\leq 24V$ DC
	Heater Voltage	$V_H$	$5.0V \pm 0.1V$ AC or DC
	Load Resistance	$R_L$	Adjustable
Sensor character under standard test conditions	Heater Resistance	$R_H$	$31\Omega \pm 5\Omega$ (room temp.)
	Heater consumption	$P_H$	$\leq 900mW$
	Sensitivity	S	$R_A(\text{in } 200ppm O_3) / R_A(\text{in air}) \geq 2$
	Output Voltage	$\Delta V_A$	$\geq 1.0V$ (in 200ppm $O_3$ )
	Concentration Slope	$\alpha$	$\leq 0.5$ ( $R_{100ppm} / R_{100ppm} O_3$ )
Standard test conditions	Tem. Humidity		$20^\circ C \pm 2^\circ C$ ; $55\% \pm 5\% RH$
	Standard test circuit		$V_L: 5.0V \pm 0.1V$ $V_H: 5.0V \pm 0.1V$
	Preheat time		Over 48 hours

NOTE: The change of Output voltage ( $\Delta V_A$ ) is the difference value between  $V_A$  in test environment and

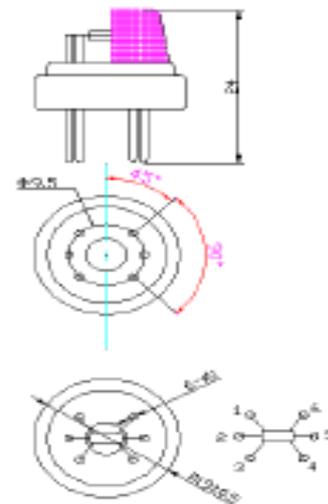


Fig1. Sensor Structure  
Unit: mm

### Basic Circuit

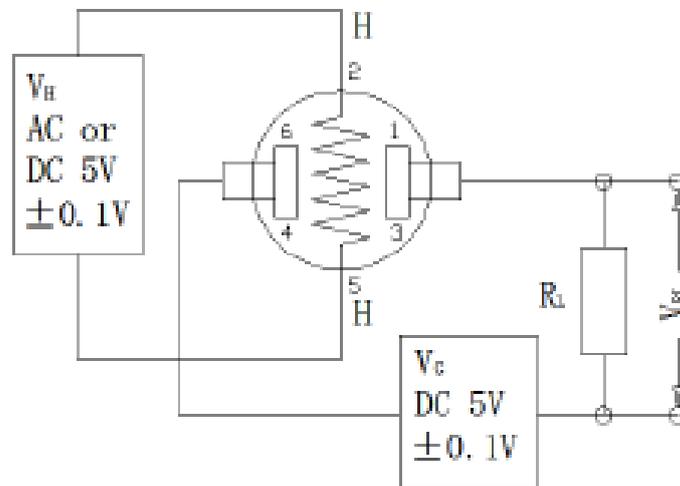


Fig2. MQ131 Test Circuit

Instructions: The above fig is the basic test circuit of MQ131. The sensor requires two voltage inputs: heater voltage ( $V_H$ ) and circuit voltage ( $V_C$ ).  $V_H$  is used to supply standard working temperature to the sensor and it can adopt DC or AC power, while  $V_C$  is the voltage of load resistance  $R_L$  which is in series with sensor.  $V_C$  supplies the detect voltage to load resistance  $R_L$  and it should adopt DC power.

### Description of Sensor Characters

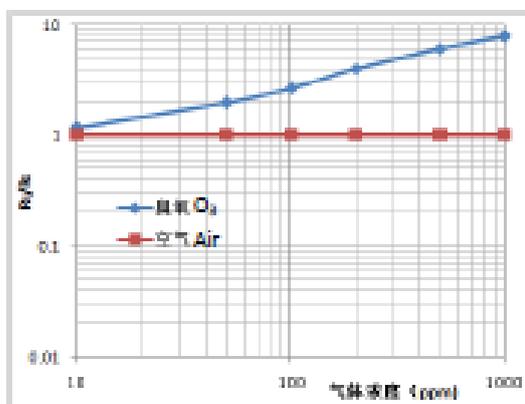


Fig3. Typical Sensitivity Curve

The ordinate is resistance ratio of the sensor ( $R_A/R_{A0}$ ), the abscissa is concentration of gases.  $R_A$  means resistance in target gas with different concentration,  $R_{A0}$  means resistance of sensor in clean air. All tests are finished under standard test conditions.

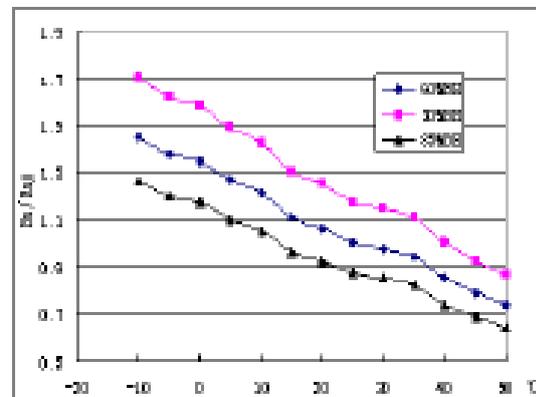


Fig4. Typical temperature/humidity characteristics

The ordinate is resistance ratio of the sensor ( $R_A/R_{A0}$ ).  $R_A$  means resistance of sensor in 200ppm  $O_3$  gas under different tem. and humidity.  $R_{A0}$  means resistance of the sensor in 200ppm  $O_3$  gas under 20°C/55%RH.



**ANEXO F.**

**PLANOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS DEL PROTOTIPO**



**ANEXO G**

**PLANOS MECÁNICOS DE LA CELDA DE DESGARGAS**

## ANEXO H

### CÓDIGO PROGRAMACIÓN ARDUINO

```
#include <LiquidCrystal.h> // Llamada de la libreria de la LCD 16 X 2
/*
* PINES DE CONEXION LCD 2X16
* LCD RS pin to digital pin    52
* LCD Enable pin to digital pin 50
* LCD D4 pin to digital pin    48
* LCD D5 pin to digital pin    46
* LCD D6 pin to digital pin    44
* LCD D7 pin to digital pin    42
* LCD R/W pin to ground
*
* PINES DE CONEXION SEÑALES
* S1 ELECTROVALVULA 1          23
* S2 ELECTROVALVULA 2          25
* S3 ELECTROVALVULA 3          27
* S4 ELECTROVALVULA 4          31
* S6 CORTE ENERGIZADO PLANTA   33
* S7 ENERGIZADO BOMBA DE AGUA  35
* S8 ACCIONAMIENTO GENERADOR DE OZONO 29
*
* PINES CONEXION INDICADORES DE FASE
* ie1 indicador etapa 1        41
* ie2 indicador etapa 2        43
* ie3 indicador etapa 3        37
* ie4 indicador etapa 4        39
* ie5 indicador etapa 5        45
*
* CONEXIONES SENSOR MQ131
* G ----GND
* Ao----A2
* DO----N/C
* V-----5v
*
*
*/
int ws =A3; // sensor de nivel de agua
int so3= A2;// sensor de ozono
int sh =A1;// sensor de humedad
int st =A0;// sensor de temperatura
```

```

int ctr =9; // control llenado o vaciado del tanque
int ie1=41, ie2=43, ie3=37, ie4=39, ie5=45;
int s1=23, s2=25, s3=27, s4=29, s6=33, s7=35, s8=31;
int lc= 40; // on/off lcd
int estado =0;
int RE =2000; // Retardo Etapas
//int DO3 =600000; // Retardo generacion de Ozono 100minutos
//int DF =600000; // Retardo Tiempo de Filtracion 10 minutos
//int DVT = 60000; //Retardo Tiempo de Vaciado 1 minuto
float volt_sensor;
float RS;
float relacion;

double sv =0, sv2=0, sensor3, sv4;

LiquidCrystal lcd(52,50, 48, 46, 44, 42);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  analogWrite(lc, 200); // ON LCD
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.println(" PRO PURIF O3 ");
  delay(2000);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.println(" UTN / FICA ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.println(" CIME ");
  delay(2000);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.println(" INICIANDO... ");
  delay(2000);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.println(" Planta ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.println(" Encendida ");
  delay(2000);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.println(" SELECCIONE ");
  delay(2000);
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.println(" ON LLENAR ");
  delay(2000);
}

```

```

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.println(" OFF VACIAR ");
delay(5000);

pinMode(ie1, OUTPUT); // SALIDA DIGITAL INDICADOR ETAPA 1
pinMode(ie2, OUTPUT); // SALIDA DIGITAL INDICADOR ETAPA 2
pinMode(ie3, OUTPUT); // SALIDA DIGITAL INDICADOR ETAPA 3
pinMode(ie4, OUTPUT); // SALIDA DIGITAL INDICADOR ETAPA 4
pinMode(ie5, OUTPUT); // SALIDA DIGITAL INDICADOR ETAPA 5
pinMode(s1, OUTPUT); // SALIDA DIGITAL ELECTROVALVULA 1
pinMode(s2, OUTPUT); // SALIDA DIGITAL ELECTROVALVULA 2
pinMode(s3, OUTPUT); // SALIDA DIGITAL ELECTROVALVULA 3
pinMode(s4, OUTPUT); // SALIDA DIGITAL ELECTROVALVULA 4
pinMode(s6, OUTPUT); // SALIDA DIGITAL CORTE FUNCIONAMIENTO ETAPAS
pinMode(s7, OUTPUT); // SALIDA DIGITAL ENERGIZADO DE LA BOMBA DE
AGUA
pinMode(s8, OUTPUT); // SALIDA DIGITAL ENERGIZADO DEL GENERADOR DE
OZONO
pinMode(lc, OUTPUT); // SALIDA DIGITAL ON OFF LCD 16X2
pinMode(ctr, INPUT); // ENTRADA DIGITAL CONTROL INICIO ETAPAS

}

void loop() {
  analogWrite(lc, 200); // ON LCD
  delay(50);
  Control_Sistema();

}

void Control_Sistema(){
  SensorAgua();
  estado= digitalRead(ctr);
  if(estado == HIGH){
    if(sensor3 !=0){
      lcd.clear();
      lcd.setCursor(0, 0);
      lcd.println(" TANQUE LLENO ");
      lcd.setCursor(0, 1);
      lcd.println(" 60 LITROS ");
      delay(2000);
      apagadoEtapa1();
      lcd.clear();
      lcd.setCursor(0, 0);
      lcd.println(" INICIO ETAPA 2 ");
      delay(RE);
    }
  }
}

```

```
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.println(" ETAPA 2 ");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.println("FILTRADO DE AGUA");
delay(RE);
recirculacionFiltrado();
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.println(" FIN ETAPA 2 ");
delay(RE);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.println(" INICIO ETAPA 3 ");
delay(RE);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.println(" ETAPA 3 ");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.println(" OZONIZACION ");
delay(RE);
ozonizacionAgua();
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.println(" FIN ETAPA 3 ");
delay(RE);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.println(" INICIO ETAPA 4 ");
delay(RE);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.println(" ETAPA 4 ");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.println(" REPOSO ");
delay(RE);
reposoAgua();
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.println(" FIN ETAPA 4 ");
delay(RE);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.println(" FIN DEL PROCESO");
delay(RE*10);
digitalWrite(s6, HIGH); // FIN DEL PROCESO
delay(RE);
}
```

```

else{
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.println(" TANQUE VACIO ");
delay(RE);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.println(" INICIO ETAPA 1 ");
delay(RE);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.println("  ETAPA 1  ");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.println(" LLENADO TALQUE ");
delay(RE);
llenadoTanque();
}
}
else{
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.println(" INICIO ETAPA 5 ");
delay(RE);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.println("  ETAPA 5  ");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.println(" VACIADO TANQUE ");
delay(RE);
vaciadoTanque();
delay(RE);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.println("  FIN ETAPA 5 ");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.println(" TANQUE VACIO ");
delay(RE);
tanqueVacio();
delay(RE);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.println(" FIN DEL PROCESO");
delay(RE*10);
digitalWrite(s6, HIGH); // FIN DEL PROCESO
}
}
////////// ** ETAPA 1 LLENADO DEL TANQUE ** //////////

```

```

void llenadoTanque(){
digitalWrite(ie5,LOW); // SE APAGA EL INDICADOR DE LA ETAPA 5
delay(500);
digitalWrite(ie1,HIGH); // SE ENCIENDE EL INDICADOR DE LA ETAPA 1
delay(500);
digitalWrite(s4, HIGH); // VALVULA 4 ON
delay(500);
digitalWrite(s7, HIGH); // BOMBA ON
}
////////// ** APAGADO ETAPA 1 LLENADO DEL TANQUE ** //////////
void apagadoEtapa1(){
digitalWrite(s7, LOW); // BOMBA OFF
delay(RE);
digitalWrite(s4, LOW); // VALVULA 4 OFF
delay(RE);
digitalWrite(ie1,LOW); // SE APAGA EL INDICADOR DE LA ETAPA 1
delay(5000);
}
////////// ** ETAPA 5 VACIADO DEL TANQUE ** //////////
void vaciadoTanque(){
digitalWrite(ie5,HIGH); // SE ENCIENDE EL INDICADOR DE LA ETAPA 5
delay(RE);
digitalWrite(ie1,LOW); // SE APAGA EL INDICADOR DE LA ETAPA 1
delay(60000); // 1 MINUTO DE PRUEBA
digitalWrite(s7, HIGH); // BOMBA ON
delay(RE);
digitalWrite(s4, HIGH); // ON ELECTROVALVULA 4
delay(5000);
}
////////// ** APAGADO ETAPA 5 VACIADO DEL TANQUE ** //////////
void tanqueVacio(){
digitalWrite(s7, LOW); // BOMBA ON
delay(500);
digitalWrite(s4, LOW); // OFF ELECTROVALVULA 4
delay(500);
digitalWrite(ie5,LOW); // SE APAGA EL INDICADOR DE LA ETAPA 5
delay(500);
}
////////// ** ETAPA 2 FILTRADO DE AGUA ** //////////
void recirculacionFiltrado(){
digitalWrite(ie2,HIGH); // SE ENCIENDE EL INDICADOR DE LA ETAPA 2
delay(500);
digitalWrite(s1, HIGH); // ELECTROVALVULA 1 ON
delay(500);
digitalWrite(s2, HIGH); // ELECTROVALVULA 2 ON
}

```

```

delay(500);
digitalWrite(s7, HIGH); // BOMBA ON
delay(600000);
digitalWrite(s7, LOW); // BOMBA OFF
delay(500);
digitalWrite(s2, LOW); // ELECTROVALVULA 2 OFF
delay(500);
digitalWrite(s1,LOW); // ELECTROVALVULA 1 OFF
delay(500);
digitalWrite(ie2,LOW); // SE APAGA EL INDICADOR DE LA ETAPA 2
delay(500);
}
////////// ** ETAPA 3 OZONIZADO DE AGUA ** //////////
void ozonizacionAgua(){
digitalWrite(ie3,HIGH); // SE ENCIENDE EL INDICADOR DE LA ETAPA 3
delay(500);
digitalWrite(s1, HIGH); // ELECTROVALVULA 1 ON
delay(500);
digitalWrite(s7, HIGH); // BOMBA ON
delay(500);
digitalWrite(s8, HIGH);
//////////
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.println(" GENERADOR O3 ON");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.println("  LEYENDO  ");
  delay(RE);
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.println("  TEMPERATURA  ");
  delay(RE);
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.println("    Y    ");
  delay(RE);
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.println("  HUMEDAD  ");
  delay(RE);
  Temperatura_Humedad();
  delay(RE*10);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.println("  LEYENDO  ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.println("GENERACION DE O3");
  delay(RE);

```

```

sOzono();
delay(600000);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.println("GENERACION DE O3");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.println("  TERMINADA  ");
delay(RE);
digitalWrite(s8, LOW); // GENERADOR O3 OFF
delay(500);
digitalWrite(s7, LOW); // BOMBA ON
delay(500);
digitalWrite(s1, LOW); // ELECTROVALVULA 1 OFF
delay(500);
digitalWrite(ie3,LOW); // se apaga el indicador de la etapa TRES **
delay(500);
}
////////// ** ETAPA 4 REPOSO DE AGUA ** //////////
void reposoAgua(){
digitalWrite(ie4,HIGH); // se enciende el indicador de la etapa dos **
delay(600000); //10 minutos
digitalWrite(ie4,LOW); // se enciende el indicador de la etapa dos **
delay(500);
}
//////////CONFIGURACION SENSOR DE PRESENCIA DE AGUA
//////////
void SensorAgua(){
sensor3= (5*analogRead(ws))/1024;
Serial.print(" ws = ");
Serial.println(sensor3);
}
////////// CONFIGURACIÓN DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA Y
HUMEDAD //////////
void Temperatura_Humedad(){
for(int x = 0 ; x < 100 ; x++)
{
sv2 = sv2 + (5.0*analogRead(st)*10)/1024;
}
sv2=sv2/100.0;
sv2=sv2-5.0;
delay(10);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print(" T = ");
lcd.setCursor(6, 0);

```

```

lcd.print(sv2);
lcd.setCursor(10, 0);
lcd.print("deg");
lcd.setCursor(13, 0);
lcd.println(" ");

for(int y = 0 ; y < 100 ; y++)
{
sv = sv + ((5.0*analogRead(sh)/1023)-0.8)/0.031;
}
sv=sv/100.0;
sv=sv-50.0;
delay(10);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print(" H = ");
lcd.setCursor(6, 1);
lcd.print(sv);
lcd.setCursor(12, 1);
lcd.print("%");
lcd.setCursor(13, 0);
lcd.println(" ");
delay(RE/2);
}
//////////////////// CONFIGURACIÓN DEL SENSOR DE OZONO //////////////////////
void sOzono(){
sv4=analogRead(A2);
volt_sensor=(float)sv4/1024*5.0;
RS= (5.0- volt_sensor)/volt_sensor;
relacion= RS/0.04;
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print(" V_sensor_Ozono ");
lcd.setCursor(6, 1);
lcd.print( volt_sensor);
lcd.setCursor(11, 1);
lcd.print(" ");
delay(RE);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print(" RS ");
lcd.setCursor(6, 1);
lcd.print( RS);
lcd.setCursor(11, 1);
lcd.print(" ");
delay(RE);
}

```

```
lcd.clear();  
lcd.setCursor(0, 0);  
lcd.print("  RS/RO  ");  
lcd.setCursor(6, 1);  
lcd.print( relacion);  
lcd.setCursor(11, 1);  
lcd.print("      ");  
delay(RE);  
}
```

**ANEXO I**

**PRUEBAS MICROBIOLÓGICAS MUESTRA DE AGUA NATURAL**

**ANEXO J**

**PRUEBAS MICROBIOLÓGICAS AGUA TRATADA CON OZONO**

## ANEXO K

## PROCEDIMIENTO DEL MÉTODO DE TEST DE OZONO MEDIANTE EL KIT

## HI38054.

**Manual de Instrucciones**

# HI 38054

## Test Kit

### Ozono

  
www.hannainst.es

Estimado Cliente,

Gracias por elegir un Producto Hanna.

Sírvase leer las instrucciones detenidamente antes de utilizar el Kit de Análisis Químico para, de este modo, tener la información necesaria para el correcto uso del mismo. Si necesita más información técnica, no dude en contactar nuestra dirección de correo electr.: [sat@hannaspain.com](mailto:sat@hannaspain.com). Desembale el kit y examínelo minuciosamente para asegurarse de que no ha sufrido daños durante el transporte. Si hay algún desperfecto, notifíquelo inmediatamente a su Distribuidor o al Servicio de Atención al Cliente de Hanna más cercano.

Cada kit se suministra con:

- HI 93711-0 Reactivo Cloro Total, paquetes (100 u.);
- Agua Desionizada, 1 botella (500 ml);
- 1 checker disc (contiene disco 38054);
- 2 viales de vidrio con tapas;
- 1 pipeta de plástico (3 ml).

**Nota:** Todo elemento defectuoso ha de ser devuelto en su embalaje original.

**ESPECIFICACIONES**

Rango	0 a 2,3 mg/l (ppm) como Ozono
Incremento Mínimo	0,1 mg/l
Método Análisis	Colorimétrico
Cantidad Muestra	5 ml
Número de Tests	100
Dimensiones	235x175x115 mm
Peso embarque	966 g

**TRANSCENDENCIA Y USO**

El Ozono es un agente oxidante y un germicida. Se utiliza para la oxidación de materia orgánica, que produce color u olor en el agua potable.

**Nota:** mg/l equivale a ppm (partes por millón).

**REACCION QUIMICA**

La reacción entre el ozono y el reactivo origina una coloración rosa en la muestra que es proporcional a la concentración de ozono.

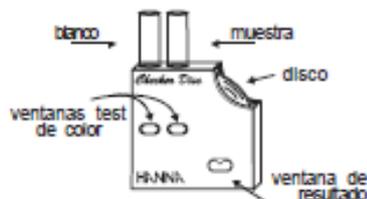
## INSTRUCCIONES

LEA LAS INSTRUCCIONES COMPLETAS ANTES DE USAR EL KIT

- Use la pipeta para llenar cada vial de cristal con 5 ml de muestra (hasta la marca).

5 ml

- Inserte uno de los viales en el orificio izquierdo del checker disc. Este es el blanco.



- Añada al otro vial agua desionizada hasta la marca de 10 ml. Coloque la tapa y agítelo para mezclar.



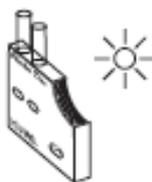
- Quite la tapa y añada 1 paquete de reactivo HI 93711-0. Coloque la tapa y mezcle.



- Espere 2 minutos para permitir que ocurra la reacción. Esta es la muestra tratada.



- Quite la tapa e inserte la muestra tratada en el orificio derecho del checker disc.



- Sujete el checker disc de forma que una fuente de luz ilumine las muestras desde la parte posterior de las ventanas.

- Mantenga el checker disc a una distancia de 30-40 cm para comparar el color. Haga girar el disco mientras mira a las ventanas de test de color y pare cuando encuentre el color coincidente. Lea el valor en la ventana de resultado directamente en mg/l (o ppm) de Ozono.



Para lograr los mejores resultados: Realice la lectura tres veces y coja el valor medio (divida entre 3 la suma de los tres números). Las muestras intensamente coloreadas dificultan la comparación de color y deberán ser tratadas adecuadamente antes de realizar el test. La materia suspendida en grandes cantidades deberá ser eliminada mediante filtrado previo.

**Atención:** La radiación ultravioleta puede hacer que los colores se apen. Cuando no lo esté utilizando, mantenga el disco protegido de la luz, en un lugar seco y fresco.

**Interferencias:** cloro, bromo, yodo y manganeso oxidado.

## REFERENCIAS

Adaptación del método DPD 390.5 recomendado por EPA.

## SEGURIDAD E HIGIENE

Los productos químicos contenidos en este kit pueden ser peligrosos si son manipulados indebidamente. Lea la Hoja Informativa de Seguridad e Higiene antes de efectuar este test.

## ANEXO L

## HOJA DE DATOS LM555 TIMER.



LM555

SNAS548D – FEBRUARY 2000 – REVISED JANUARY 2015

## LM555 Timer

## 1 Features

- Direct Replacement for SE555/NE555
- Timing from Microseconds through Hours
- Operates in Both Astable and Monostable Modes
- Adjustable Duty Cycle
- Output Can Source or Sink 200 mA
- Output and Supply TTL Compatible
- Temperature Stability Better than 0.005% per °C
- Normally On and Normally Off Output
- Available in 8-pin VSSOP Package

## 2 Applications

- Precision Timing
- Pulse Generation
- Sequential Timing
- Time Delay Generation
- Pulse Width Modulation
- Pulse Position Modulation
- Linear Ramp Generator

## 3 Description

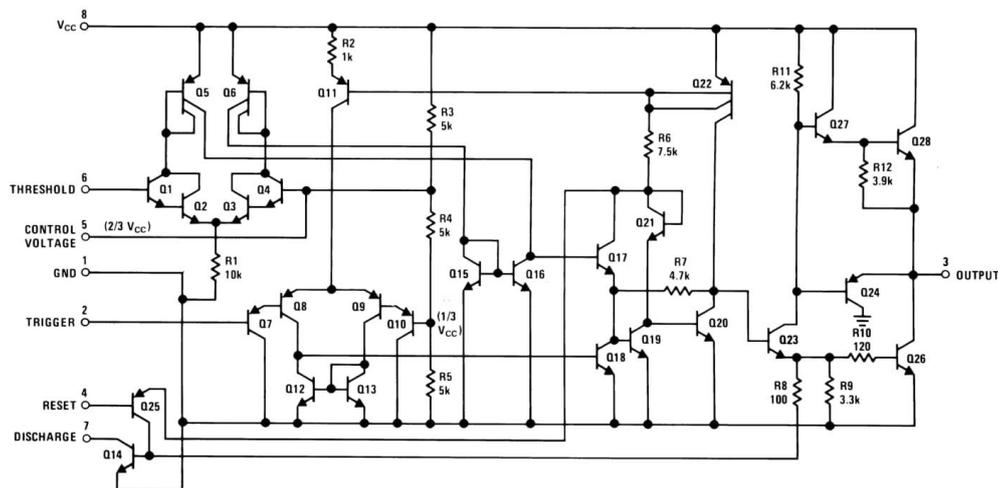
The LM555 is a highly stable device for generating accurate time delays or oscillation. Additional terminals are provided for triggering or resetting if desired. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For a stable operation as an oscillator, the free running frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output circuit can source or sink up to 200 mA or drive TTL circuits.

Device Information<sup>(1)</sup>

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM555	SOIC (8)	4.90 mm × 3.91 mm
	PDIP (8)	9.81 mm × 6.35 mm
	VSSOP (8)	3.00 mm × 3.00 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

## Schematic Diagram



An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

## ANEXO M

### MANUAL OPERACIÓN DEL PROTOTIPO



### MANUAL DE OPERACIÓN

#### ADVERTENCIAS

- 1.- Lea de manera comprensiva por completo el manual de instrucciones antes de intentar encender la máquina.
- 2.- Este prototipo está diseñado para purificar una cantidad máxima de agua de 180 Litros por hora y o después de hacer un tratamiento de purificación de agua.
- 3.- El agua a ser purificada necesariamente debe no ser tratada con cloro, ya que la cantidad de cloro residual existente en el agua tratada con este elemento disminuye la aceptabilidad o purificación mediante el uso del ozono.
- 4.- Antes de conectar la máquina revise su conexión que provee de energía eléctrica, el voltaje de alimentación corresponde a 110 voltios en corriente alterna.
- 5.- El encendido general se lo debe realizar siempre y cuando los disyuntores del sistema de encendido estén en la posición OFF.



- b) Una vez completadas las instrucciones previas de encendido del sistema, habilite o deshabilite el llenado del tanque de agua, esto mediante el selector que se indica en la Figura A.2.



**Figura A.2 Selector disponible ON/OFF Llenado del tanque.**

- c) La LCD 16x2 disponible en el panel de control, cumple la función adicional de guiar al usuario en llenar o vaciar el tanque, si selecciona llenar el tanque automáticamente se está dando inicio a la secuencia de funcionamiento de las etapas de:

LLENADO- FILTRACIÓN Y RECIRCULACIÓN – OZONIZACIÓN Y  
RECIRCULACION- REPOSO.

- d) En el caso de ser seleccionada la opción de ON (LLENADO TANQUE), se desarrolla el proceso anteriormente señalado en la instrucción [ c)].
- e) Para dar inicio al proceso de purificación de agua, es más que necesario pulsar una sola vez el botón verde (MARCHA ETAPAS), ver Figura A.3.



**Figura A.3 Botón MARCHA ETAPAS.**

- f) El proceso de purificación está dado un tiempo aproximado de 3 horas, con pausas de 20 minutos establecidas en la configuración en la etapa de REPOSO de funcionamiento de la máquina.
- g) En caso de no requerir generar ozono y vaciar el tanque, solamente seleccione el selector de ON/ OFF (LLENADO DEL TANQUE), y presione así mismo una sola vez el pulsador color verde.
- h) El apagado de la máquina está dado de acuerdo al cumplimiento de la secuencia de etapas después del llenado o vaciado del tanque.

## MANUAL DE MANTENIMIENTO DEL PROTOTIPO



En el mantenimiento que corresponde al gabinete de control, gabinete del generador de ozono y el sistema hidráulico que debe ser realizado por un técnico calificado, para los demás equipos lo puede realizar el operador. Es necesario y de gran importancia realizar un mantenimiento periódico y adecuado de todos los elementos que conforma el equipo generador de ozono.

A continuación, se detalla los procedimientos necesarios para realizar un manteniendo general de la máquina.

### **TABLERO DE CONTROL**

No es necesario una inspección minuciosa del mismo, sino más bien después de una jornada de funcionamiento, será necesario deshabilitar los disyuntores de alimentación general del sistema, una vez realizado este paso es de vital importancia cerrar el panel de control, ya que podría ser utilizado por personal no autorizado.

En caso de que el equipo no se encienda o no logre cumplir con el proceso de purificación, es necesario inmediatamente comunicarse al soporte técnico.

## TIEMPO-MENSUAL

### ACTIVIDADES A REALIZAR

- Verificar los mensajes en la pantalla.
- Verificar los indicadores del tablero funcionen correctamente.
- Verificar el led para un correcto funcionamiento del arduino.
- Verificar las conexiones de la bomba de agua mediante las conexiones de ella y su accionar.

## TIEMPO-SEMESTRAL

### ACTIVIDADES A REALIZAR

- Conectar el compresor para el funcionamiento óptimo.
- Comprobar el calibrado del sensor de ozono para el análisis.
- Verificar la continuidad dentro del gabinete.
- Revisar la placa de control y potencia y sus elementos
- Revisar el cableado y las terminales.

## MANTENIMIENTO GENERAL

El mantenimiento general se lo realizará analizando los problemas, las posibles causas sus soluciones destinadas para un correcto funcionamiento.

## PROBLEMA

- Los equipos no se encienden

## POSIBLES CAUSAS

- No existe alimentación.
- Las terminales se desconectaron.
- Corto circuitos.

## SOLUCIÓN

- Verificar continuidad.
- Verificar conexiones.

## PROBLEMA

- No se visualiza en la pantalla LCD.

## POSIBLES CAUSAS

- Fuente de alimentación.
- Des configuración del micro.

## SOLUCION

- Verificar que la fuente este trabajando correctamente.
- Verificar los botones del sistema.

