

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

**DISEÑO DE UN EQUIPO GENERADOR DE OZONO CLINICO
PARA BLANQUEAMIENTO DENTAL**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, que presenta el bachiller:

Ricardo Cañedo Arnedo

ASESOR: Ing. Oscar Melgarejo Ponte

Lima, marzo del 2012

RESUMEN

Los cánones de estética de diversas culturas a través de los tiempos han establecido una dentadura saludable y bonita como un símbolo de belleza. En la actualidad el blanqueamiento dental, un procedimiento que mediante el uso de sustancias químicas busca restablecer el color natural de los dientes con el cual nacemos, refuerza esta teoría. Varios métodos y sustancias se usan, sin embargo, uno que está en estudio y teniendo mayor acogida es el blanqueamiento dental con ozono.

El uso del ozono para blanqueamiento dental se viene usando en países como España; Este método presenta grandes ventajas sin embargo uno de los problemas es su manipulación debido que a concentraciones muy altas puede ser altamente tóxico para las personas. Por ello la presente tesis tiene como propósito diseñar e implementar un prototipo generador de ozono clínico para blanqueamiento dental basado en descargas coronas con el fin de controlar eléctricamente su grado de concentración y lograr su producción más estable.

El diseño e implementación del generador de ozono tiene las siguientes etapas. La primera es la de producción de ozono que se encarga de disociar las moléculas de oxígeno y transformarlas en ozono con 0.05 ppm de concentración, la segunda etapa es la de sensado que se encarga de medir la concentración de ozono producido, la tercera etapa mide el tiempo de producción y controla la concentración de ozono generado, la cuarta etapa es el transporte del ozono para su aplicación.

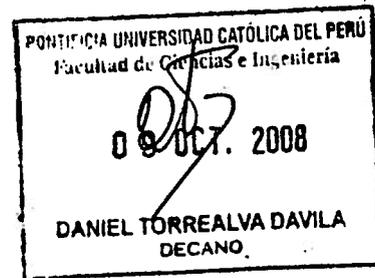
Para la validación de los diseños se efectuaron simulaciones, luego la implementación y pruebas con lo que se comprobó la acción del blanqueamiento de los dientes usando ozono; para lo cual fue necesario exponer la dentadura a la concentración de ozono antes mencionado por 30 minutos.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Diseño de un equipo generador de ozono clínico para blanqueamiento dental
Área : Electricidad 4627
Asesor : Ing. Oscar Melgarejo Ponte
Alumno : Ricardo Cañedo Arnedo
Código : 20020475
Fecha : 6 de Octubre de 2008



Descripción y Objetivos

El deseo de cada vez más personas por lucir una dentadura bonita y saludable, hace que la demanda por productos y tratamientos de dientes crezca enormemente, como se ha venido dando en los últimos años. El blanqueamiento dental es una de las más requeridas, pues devuelve a la dentadura, el blanco natural, haciéndola brillar, lo que se refleja como una mayor autoestima que se obtiene en la persona.

El uso del ozono en la medicina ya viene siendo aplicado en países avanzados, es así que en la odontología es usado para el tratamiento de caries, desodorización bucal, blanqueamiento dental, etc. Para la generación del ozono clínico para tratamientos antes mencionados, se usan principalmente tres métodos, el plasma frío, la luz ultravioleta y la descarga corona, siendo este último el método que usaremos para el diseño del equipo de blanqueamiento dental propuesto.

El presente tema de tesis busca como objetivo principal el diseño y la implementación de un equipo generador de ozono mediante el método de descarga corona, así como un sistema de control y autorregulación de la concentración del ozono clínico producido, con la finalidad de ofrecer a los pacientes una posibilidad de blanqueamiento dental.

Es así que buscaremos demostrar los beneficios del ozono para blanqueamiento dental frente a otros materiales y sustancias usadas, así como las ventajas que se tiene al usar el método de descarga corona en la producción de ozono clínico. Consciente de nuestra realidad y siendo consecuente con el objetivo general, buscaremos implementar el equipo generador de ozono con el menor presupuesto posible.

MÁXIMO 100 PÁGINAS

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
SECCION ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA

Ing. ANDRES FLORES ESPINOZA
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Diseño de un equipo generador de ozono clínico para blanqueamiento dental

Índice

Introducción

1. Ozono y Blanqueamiento Dental
2. Tecnicas de Generación de Ozono y Normatividad
3. Caracterización del Sistema
4. Etapa de Diseño y Análisis
5. Implementación y Experimentación

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos

MÁXIMO 400 PÁGINAS

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
SECCION ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA

Ing. ANDRES FLORES ESPINOZA
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica

INDICE

INTRODUCCION.....	1
--------------------------	----------

CAPITULO 1: OZONO Y BLANQUEAMIENTO DENTAL

1.1 El Ozono.....	4
1.2 El Ozono y su uso en la Odontología.....	5
1.3 Blanqueamiento dental.....	5
1.3.1 Substancias de Blanqueamiento dental.....	6
1.3.2 Tecnicas de aplicación de sustancias al paciente.....	8
1.4 Análisis de la Problemática actual.....	10
1.4.1 Toxicidad.....	10
1.4.2 Disposición de documentación.....	11
1.4.3 Desarrollo del equipo.....	12
1.4.4 Transporte del ozono clínico.....	12
1.4.5 Cliente.....	12
1.5 Declaración del Marco Problemático.....	13

CAPITULO 2: TECNICAS DE GENERACION DE OZONO Y NORMATIVIDAD

2.1 Estado del arte.....	15
2.1.1 Luz Ultravioleta.....	15

2.1.2 Plasma Frio	16
2.1.3 Descarga Eléctrica (Descarga Corona).....	17
2.2 Normatividad	19
2.3 Modelo Teórico.....	20

CAPITULO 3: CARACTERIZACION DEL SISTEMA

3.1 Hipótesis de la Investigación	24
3.1.1 Hipótesis Principal	24
3.1.2 Hipótesis Secundarias	24
3.2 Objetivos de la Investigación	25
3.2.1 Objetivo General.....	25
3.2.2 Objetivos Específicos	25
3.3 Universo y Muestra.....	26
3.4 Generador de ozono. Etapas.....	26
3.4.1 Alimentador	27
3.4.2 Descarga Corona	27
3.4.2.1 Transformador de alto voltaje. Bobina de encendido.....	28
3.4.2.2 Configuración de electrodos.....	29
3.4.3 Medición y control de concentración.....	29
3.4.4 Transporte de ozono a objeto de aplicación al paciente	30
3.4.5 Interfaz de usuario.....	30

CAPITULO 4: ETAPA DE DISEÑO Y ANALISIS

4.1	Consideraciones Preliminares	31
4.2	Diseño de la etapa de generación de Ozono	31
4.2.1	Fuente Switching	31
4.2.2	Transformador de alto voltaje. Bobina de encendido	32
4.2.3	Configuración de Electrodo.....	34
4.3	Diseño de la Etapa de sensado	39
4.4	Diseño del control del sistema	42
4.5	Etapa de transporte de Ozono clínico	44

CAPITULO 5: SIMULACIONES

5.1	Proceso de simulación.....	48
5.1.1	Simulación en Proteus.....	49
5.1.2	Simulación en Spice ICAP/4.....	50
5.2	Análisis de Resultados	51

CAPITULO 6: IMPLEMENTACION Y EXPERIMENTACION

6.1	Implementación de la bobina de encendido	60
6.2	Electrodos, transporte y cámara de prueba	62
6.3	Implementación de etapa de control y potencia	65
6.4	Experimentación.....	68

6.4.1 Consideraciones previas	68
6.4.2 Proceso y Resultados.....	69
CONCLUSIONES.....	71
RECOMENDACIONES.....	73
BIBLIOGRAFIA.....	74



INTRODUCCION

Desde el inicio de los tiempos, el ser humano ha buscado la belleza de varias formas con el fin último de agradarse a sí mismo (autoestima), de esa forma, poder agradar a los demás. Con el transcurrir de los años los cánones de belleza han ido variando a lo largo de la historia, por ejemplo el caso del Japón Medieval, en donde se realizaba la técnica del ohguro con el fin de ennegrecer los dientes usando tintes basados en la mezcla de hongos, hierro oxidado, etc. todo esto para simbolizar la pertenencia a la alta posición social lo cual era muy atractivo para las jóvenes nobles de ese entonces, de la misma forma ocurría con las mujeres. Incrustaciones de jade y limación de los bordes de los dientes era lo que hacían Los mayas como símbolo de buena posición social. [5]

El blanqueamiento dental como símbolo de belleza y aceptación frente a otros no es exclusivo de la sociedad actual. En la España prerromana, se hacían múltiples brebajes con el fin de obtener unos dientes más blancos. Los egipcios, por ejemplo, allá por los años 2000 A.C ya disponían de cosméticos para blanquear los dientes, ya que para ellos, la dentadura blanca era significado de salud, limpieza y fortaleza. [5]

Ya desde hace más 100 años se vienen realizando estudios acerca de nuevos materiales y métodos para el proceso de blanqueamiento dental, actualmente el uso de peróxido de carbamida y peróxido de hidrogeno en diferentes presentaciones y concentraciones son los más difundidos y utilizados. [3]

La utilización del ozono en la odontología tiene sus orígenes en el dentista alemán E. A. Fish quien usaba el agua ozonizada con fines desinfectantes previa a cirugías orales. [7]

El presente trabajo, busca diseñar un equipo de generación de ozono que cumpla con estándares internacionales con el fin de difundir más esta nueva técnica de blanqueamiento dental que sin duda trae mayores beneficios al paciente, puesto que, según estudios, no hay efectos secundarios posteriores, es natural y el procedimiento es menos costoso. [8] [7]

La presente investigación plantea como hipótesis que dado que en el Perú aumenta los problemas dentales, así como el deseo de las personas por una mejor salud dental mediante la aplicación de técnicas de blanqueamiento, y estas a su vez resultan siendo caras pudiendo inclusive traer complicaciones al paciente, entonces el diseño e implementación de un generador de ozono basado en descargas de corona, representa un equipo que cada vez tiene y tendrá mayor acogida en el mercado odontológico, tanto por precio como lo es el manejo y seguridad del paciente.

Se realizara el diseño basado en el método de descarga corona así como un sistema de control y autorregulación de la concentración del ozono producido en el equipo, con la finalidad de crear y ofrecer a los pacientes una posibilidad de blanqueamiento dental que ya viene siendo usado en países avanzados.

La investigación está desarrollada en seis capítulos. En el primer capítulo se ven aspectos relacionados al blanqueamiento dental y la materia prima que se usara, el ozono, finalmente, se analizara la problemática actual del presente tema de investigación.

En el segundo capítulo se presentará las distintas tecnologías que existen en la actualidad para la generación de ozono, se verá la normatividad internacional y se planteara el modelo teórico de la presente tesis.

El tercer capítulo muestra el planteamiento de las hipótesis y objetivos así como la caracterización del sistema y las etapas que la conforman.

El cuarto capítulo contempla todo el proceso de diseño del generador de ozono. El diseño se encuentra dividido en 3 etapas básicamente: (i) la etapa de generación de ozono el cual incluye la etapa de potencia, (ii) la etapa de control de sistema y (iii) la etapa del transporte del ozono clínico producido hacia el dispositivo de aplicación al paciente.

El quinto capítulo presenta las simulaciones que se realizaron con respecto a la etapa de potencia y la etapa de control en el micro controlador para la presente investigación y que permiten demostrar la factibilidad de una futura implementación.

Finalmente el sexto capítulo se refiere a la implementación del diseño del capítulo 4, se explica y detalla la experimentación que se tuvo para probar el funcionamiento del equipo así como validar o no la hipótesis del proyecto.

Como conclusión se tiene que el método de descarga corona resulta ser un método seguro de producción eficaz de ozono.

Para culminar quiero agradecer a mi familia por su empuje y consejos en mi quehacer diario y por enseñarme a ser cada día mejor. Al profesor Oscar Melgarejo por sus consejos en la redacción y aspectos técnicos en la construcción de la presente tesis.

CAPITULO 1

OZONO Y BLANQUEAMIENTO DENTAL

1.1 EL OZONO

El Ozono es una forma alotrópica del oxígeno presente en la atmósfera de modo natural cuya molécula está compuesta por tres átomos de oxígeno y es estructuralmente triangular, en donde el átomo de oxígeno central está implicado en un doble enlace covalente. [13] La molécula de Ozono está formada a partir de la disociación de los dos átomos que componen la molécula de oxígeno, es así que cada átomo de oxígeno liberado se une, por reacción natural con rayos ultravioleta, a otra molécula de oxígeno, formando así el O_3 .

A nivel del suelo el ozono aparece grandemente diluido, siempre presente en mínimas concentraciones (0.001 – 0.003 ppm) y es así como lo respiramos. [8] A temperatura y presión ambientales el ozono es un gas de olor acre y generalmente incoloro, pero en grandes concentraciones puede volverse ligeramente azulado. Si se respira en grandes cantidades, es tóxico y puede provocar la muerte.

Su descubrimiento se debió al Físico Holandés Martinus Van Marum en 1787, quien al estar experimentando con máquinas electrostáticas percibió el olor característico de un gas (ozono). Es en mayo de 1840 que el Químico Alemán Christian Frederick Schönbein de la universidad de Basilea en Suiza le dio el nombre de Ozono, raíz griega que significa *Ozein* (exhalar un olor, sentir); pero gracias a los científicos franceses C. Fabry y H. Bulsson y su espectrógrafo es que se pudieron tener las primeras medidas del ozono en la atmósfera, es decir calcular cantidades de ozono a partir de la medida de la intensidad de la radiación solar. [7]

1.2 EL OZONO Y SU USO EN LA ODONTOLOGIA

El uso del Ozono en la medicina se ve reflejado en la desinfección de heridas, mejoramiento del procesamiento de cicatrización, bactericida, control de hemorragias, desodorizante, etc. Entre las principales propiedades del Ozono tenemos su fuerte carácter oxidante, el mayor después del flúor. [7]

El ozono en la odontología se uso por primera vez por dentista alemán E. Afish por medio de agua ozonizada para efectos desinfectantes como antiséptico previo a cirugías orales.[8] Actualmente su uso se ha extendido, por ejemplo, en tratamientos de caries radicular primaria, mantenimiento de superficies acrílicas de los dientes, etc. Pero en los últimos años el ozono ha tomado un nuevo rumbo en la odontología, presentándose con fines estéticos tales como el blanqueamiento dental, como se explico líneas anteriores, por su potencial de oxido reducción mayor que otros agentes oxidantes. [7]

Está demostrado que niveles de concentración superiores a 0.1 ppm puede traer problemas al sistema respiratorio del humano. La concentración de aplicación de ozono en el humano depende del uso que se dé así como del tiempo de aplicación. En general, la concentraciones de ozono en la medicina es de 0.05 ppm, nivel máximo tolerable establecido por la FDA (Food and Drug Administration); [15] [8] [7] y es el que se plantea usar en la implementación.

1.3 BLANQUEAMIENTO DENTAL

El blanqueamiento dental es un procedimiento clínico que trata de conseguir el aclaramiento del color de uno o varios dientes aplicando un agente químico, y tratando de no alterar su estructura básica. Se dividen en dos grupos según que se

realicen sobre dientes con vitalidad o sin ella. En los primeros el agente químico se aplica desde el exterior y en los no vitales desde dentro. [6] [5]

Para la determinación del tratamiento a usar en el blanqueamiento dental el Estomatólogo, hace uso de una guía de colores de dientes, por ejemplo la guía Chromascop (Ivoclar-Vivadent) o la guía “Lumin Vacuum” (Guía Vita), esta última es la guía más difundida en la actualidad que sirve de referencia para los trabajos dentales. [3] Esta guía estandariza los colores más habituales de los dientes, desde los más blancos hasta los más oscuros, en total es una guía de 15 colores que se dividen en cuatro tonalidades. Marrón rojizo, Naranja amarillento, gris verdoso y gris rosado.

1.3.1 SUBSTANCIAS DE BLANQUEAMIENTO DENTAL

Se cuentan con varias sustancias en diferentes concentraciones y presentaciones, entre los más importantes se tienen.

a. Peróxido de Carbamida y Peróxido de hidrogeno

Estas sustancias son capaces de desprender moléculas de H_2O_2 que se filtran a través del esmalte de los dientes por los tubos dentinarios, de esta forma la dentina que da el color genético a los dientes, sufre un proceso de oxidación que se traduce en un blanqueamiento de los tejidos dentarios. Las concentraciones de aplicación de estas sustancias varían dependiendo del método y duración de la aplicación, las más conocidas se dan por medio de cubetas personalizadas (férulas), con geles de peróxido de hidrogeno (en consultorio) o geles de peróxido de carbamida (domicilio) al 30%. [3] [22]

b. Acido Clorhídrico

Por su acción abrasiva, esta sustancia en una concentración al 18% permite disminuir o eliminar el tono de las manchas superficiales. Se realizan 3 aplicaciones con duración de 30 segundos cada una, es rápido y de bajo costo. Las desventajas de usar esta sustancia como blanqueador dental es que si bien es muy efectivo para manchas eternas, las manchas profundas que aparecen en la dentina no se ven beneficiadas, no solo eso, sino que a mayor uso del acido clorhídrico, mayor es el desgaste que se presenta en el esmalte. [2]

c. Ozono

Por su ya conocidas características de desinfectante, desodorizante, bactericida, cicatrizante, oxigenante, y finalmente el de ser un hiperoxidante natural (reconocido internacionalmente como el más poderoso oxidante de la ciencia química); El ozono se perfila como una sustancia muy útil en el proceso de blanqueamiento dental. La concentración de aplicación al paciente seria de 0.05 ppm (ozono clínico), con lo que no se comprometería la salud del paciente. La vida media del ozono es de unos 30 a 40 minutos a una temperatura promedio de 20°C, si no se utiliza rápido, su potencial oxidante disminuiría hasta un 16% en dos horas, de ahí la necesidad de crear un generador de ozono útil para consultorio. [7]

1.3.2 TÉCNICAS DE APLICACIÓN DE SUBSTANCIAS AL PACIENTE¹

¹ De Bibliografía: Bases para el manejo clínico de un agente blanqueador foto activado mediante una lámpara de arco de plasma sobre dientes vitales.

En lo que respecta a los métodos de blanqueamiento dental tenemos que si bien en la actualidad se utilizan en su mayoría las mismas sustancias, los métodos de aplicación al paciente cambian en función de las características dentales de éste.

Estos métodos [23] se clasifican en:

- Blanqueamiento en Clínica¹
 - a. Técnica de pulido aire-polvo¹

Técnicas de eliminación de unciones mediante pulido con bicarbonato, agua y chorro de aire en la clínica. Este tipo de blanqueamiento aprovecha la presión de un pequeño compresor de aire para que mediante de un micro motor y con un polvo especial, elimine las manchas en los dientes.

- b. Técnica erosivo-abrasiva¹

Consiste en la abrasión mecánica y erosión química, simultaneas, de la superficie del esmalte. Se emplean para ello, fundamentalmente, el carbonato cálcico y la mezcla de ácido clorhídrico con piedra pómez. Su efecto se produce mediante la aplicación por compresión rotatoria de estos agentes, utilizando aplicadores manuales, pulidores mecánicos, cepillo de profilaxis o copas de goma.

- c. Técnica con cepillo dental en la consulta¹

Este procedimiento utiliza pastas blanqueadoras y un cepillo montado en un contra ángulo en el micro motor y puede llegar a eliminar unciones superficiales. Esta técnica tiene un propósito de limpieza más que de blanqueamiento intensivo de dientes.

¹ De Bibliografía: Bases para el manejo clínico de un agente blanqueador foto activado mediante una lámpara de arco de plasma sobre dientes vitales.

d. Técnica de activación química¹

Consiste en la aplicación sobre la superficie del esmalte del agente blanqueador, peróxido de hidrógeno o de carbamida a elevada concentración, y dejarlo actuar el tiempo suficiente, en función de la decoloración, hasta lograr el resultado deseado. El tiempo de reposo del agente blanqueador puede variar dependiendo de la concentración de este, y de la coloración inicial de los dientes a blanquear.

e. Técnica de activación por calor¹

Técnica poco utilizada actualmente por ser molesta para el paciente y por presentar un elevado riesgo de efectos iatrogénicos. Se emplea en discromías intensas, en las que, tras la coloración del agente blanqueador se aplica una fuente de calor para acelerar la reacción de oxidación y la penetración dentinaria.

f. Técnica con matriz en la consulta¹

Técnica basada en el empleo de unas férulas de blanqueamiento para la aplicación de los agentes blanqueadores de elevada concentración empleados en las técnicas de activación química en la consulta, como paso previo a la técnica con férulas a domicilio (punto posterior). Se usa con el fin de acortar el periodo de tratamiento domiciliario, de disminuir el riesgo de efectos adversos posibles en tratamientos prolongados y de conseguir un mejor resultado final.

g. Técnica Fotoactivada¹

Técnica basada en el empleo de una fuente de luz, lámpara halógena, de plasma, o laser para la activación de agentes blanqueadores de activación dual (fotoquímica)

¹ De Bibliografía: Bases para el manejo clínico de un agente blanqueador foto activado mediante una lámpara de arco de plasma sobre dientes vitales.

que incorporan catalizadores fotosensibles en su composición, y que son específicos para este tipo de técnicas.

- Blanqueamiento en domicilio¹
 - a. Técnica con cepillo dental en domicilio¹

El cepillado dental con pastas blanqueadoras y una correcta técnica de cepillado con un cepillo dental adecuado, mantiene los tejidos gingivales sanos, y puede retrasar la posible aparición de la recidiva de la decoloración.

- b. Técnica con férulas en domicilio¹

Es el método de blanqueamiento externo más empleado en la actualidad por su sencillez de aplicación y comodidad para el paciente. Es un procedimiento en el que los dientes se blanquean con una solución de peróxido de hidrógeno y/o carbamida aplicada diariamente con una férula individualizada. Este blanqueamiento también ha sido llamado blanqueamiento vital nocturno, blanqueamiento con matriz o ambulatorio prescrito por el dentista.

1.4 ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA ACTUAL

1.4.1 TOXICIDAD

En la literatura médica está descrita una enfermedad provocada por el ozono al ser inhalado y que se caracteriza por dolor de cabeza, dolor torácico, escozor de ojos y somnolencia. El ozono se encuentra a nivel terrestre en concentraciones que no suelen superar los 0.03 a 0.04 ppm, pero en circunstancias especiales como de

¹ De Bibliografía: Bases para el manejo clínico de un agente blanqueador foto activado mediante una lámpara de arco de plasma sobre dientes vitales.

contaminación industrial excesiva se puede producir ozono y ser considerado como toxico siempre que supere a 0.1 ppm y que sea respirado durante más de 8 horas. Por ello y para evitar en un 100% posibles amenazas hacia el paciente, se debe asegurar concentraciones bajas, pero suficientes para obtener el blanqueado de dientes. Todo esto, claro está, por aplicación en tiempos cortos, ya que por investigaciones se ha demostrado que el ozono es dañino de forma directamente proporcional a la concentración y tiempo de exposición (inhalación) de esta.

1.4.2 DISPOSICION DE DOCUMENTACION

Si bien existe documentación variada acerca del ozono y sus bondades en la medicina, su estudio en la odontología solo es referido a ciertos tipos de tratamientos, como los es el de caries. La información técnica referida a blanqueamiento dental usando ozono es limitada y desarrollada en países de primer mundo; En lo que concierne a Perú, existe un vacío en el tratamiento dental con ozono, específicamente hablando del blanqueamiento dental, inclusive la normatividad respecto a ello no está del todo definida. De aquí que los equipos médicos de generación de ozono usando efecto corona, que es el objetivo de la tesis, serán basados en gran parte en normas de otros países y guiándonos hasta cierto punto, por las únicas dos empresas en el mundo que fabrican generados de ozono con propósito dental.

1.4.3 DESARROLLO DEL EQUIPO

Como se explico en el numeral 1.4.1 la toxicidad que puede llegar a tener el ozono en el cuerpo humano si es que no se trata con cuidado, puede ser grave, de aquí

que se disgrega otro punto en la problemática general, y es el diseño del equipo en su totalidad, es decir, el material de recubrimiento exterior e interior, conexión con la bombona de oxígeno, pero sobretodo el mecanismo de generación y sensado de ozono, procesos claves en la determinación de la calidad de ozono clínico producido.

1.4.4 TRANSPORTE DEL OZONO

No se puede utilizar los tubos flexibles que pueden transportar cualquier otro tipo de gas, debido a que el ozono los corroe muy fácilmente, de aquí que se tiene que buscar el material adecuado para el correcto transporte del ozono, garantizando la hermeticidad del transporte y claro está la seguridad eléctrica, específicamente hablando al aislamiento que también se debe tener en cuenta. El Caucho de silicona se presenta pues como posibilidad de transporte del ozono ya que es resistente al agresivo gas.

1.4.5 CLIENTE

Finalmente en el análisis de la problemática, debemos considerar al cliente, usuario final al cual es destinada la presente tesis.

Se debe procurar en lo posible implementar el equipo al menor costo, y con la mayor efectividad posible, es decir, bajo costo de materia prima y procedimiento (entrada), y grandes resultados a largo plazo (salida) lo que se verá reflejado en un precio módico al usuario o cliente final, de esta forma el equipo tendría cada vez mayor aceptación en el mercado.

1.5 DECLARACION DEL MARCO PROBLEMÁTICO

De lo presentado anteriormente, vemos que el problema sustancial que se presenta en el diseño y posterior implementación del generador de ozono con fines odontológicos, es el mismo tratamiento del ozono y su toxicidad, dada su crítica estabilidad, y el pequeño margen que existe entre beneficio y daño al paciente si es que no garantizamos las concentraciones generadas y mantenidas a lo largo del proceso. Sin embargo, la eficiencia que se obtiene de usar Ozono en el proceso de blanqueamiento dental es muy alto, hablando no solo de resultados, sino de permanencia del tratamiento, eso por el lado del paciente, mientras que por el lado del Estomatólogo, es un procedimiento que no requiere mucho trabajo en la boca del paciente, y tampoco implica gasto excesivo, de insumos, lo que se ve reflejado, en un precio accesible al paciente.

A pesar de los pocos estudios que demuestran que el ozono es beneficioso para la salud, cuando es controlado adecuadamente, aun existe la negación por parte de empresas, específicamente, grandes compañías farmacéuticas que están inmersas en la investigación médica, de investigar más a fondo la aplicación terapéutica del ozono, dado su escasa o nula importancia comercial del cual no obtendrían mucho beneficio económico. [8] Es así que según el documento del Dr. Luis María Ilzarbe [8], se cree que los mismos sujetos financieros están detrás de toda esa campaña de lo beneficioso que pueden resultar los antioxidantes, en contra del poder hiperoxidante del ozono: haciendo creer a la población que el oxígeno es dañino para salud del humano causante de daños tisulares, envejecimiento, etc. [8]

Resulta contradictorio, puesto que el cuerpo humano está compuesto en un 60% de oxígeno y es el elemento de mayor necesidad orgánica, esto se ve demostrado en

el hecho que podemos sobrevivir días sin comer ni tomar agua, pero no podríamos sobrevivir muchos minutos sin oxígeno.

Por otro lado, la poca información acerca de las cualidades en la medicina que presenta el ozono, de la población, hace que se presenten desconfiadas a nuevas investigaciones, y más aun cuando se trata de prestar colaboración para dichas pruebas. Lo mismo podría suceder, en menor medida, con la búsqueda de colaboración de especialistas en los temas.

Con respecto a los procesos de diseño y construcción del equipo generador de ozono, se presentan problemas de tiempo y de la tecnología elegida, puesto que deben medir concentraciones por instante de tiempo, y deben ser los más exactas posibles, dado el riesgo crítico que podría presentar el paciente, si se le aplica concentraciones inadecuadas.

CAPITULO 2

TECNICAS DE GENERACION DE OZONO Y NORMATIVIDAD

2.1 ESTADO DEL ARTE

Se tienen en la actualidad tres métodos para la generación de ozono clínico, que son, por medio de plasma frio, rayos ultravioleta, que es también el método natural como el ozono se forma y se destruye, y finalmente el de arcos eléctricos o mejor conocido como descarga de corona. [8]

2.1.1 LUZ ULTRAVIOLETA

Naturalmente, los rayos ultravioleta contribuyen en la creación y destrucción de ozono, es así que para la creación de estos, Los enlaces O-O de una molécula se oxígeno se rompen ante la presencia de luz ultravioleta intensa, con ella los átomos de oxígeno libres reaccionan con moléculas de oxígeno, y es así como se crean las moléculas de O₃ (ozono). De la misma forma los átomos de oxígeno libres pueden también reaccionar con moléculas de O₃ ya existentes y con ello, se forman dos moléculas de oxígeno, destruyendo así una molécula de O₃.

Experimentalmente, con una longitud de onda de 185 nm. de radiación ultravioleta se puede producir ozono, aproximadamente cada dos fotones de luz UV ayudan a producir una molécula de ozono, siempre y cuando se utilicen lámparas de vapor de mercurio de baja o media presión. [18] Para este método es necesario la utilización de un tanque de oxígeno médico. En la figura 2.1 se muestra un ejemplo de un equipo generador de ozono basado en luz ultravioleta.

Desafortunadamente el costo de producir el ozono bajo esta tecnología es caro en comparación, por ejemplo, con la de Descarga Corona, que se explica más adelante.



Figura 2.1. Generador de ozono mediante el uso de luz ultravioleta
<<http://www.itav.com.mx/articulos/ozono.html>>

2.1.2 PLASMA FRIO

La generación de ozono por medio de este método consiste en una sonda de cristal con una combinación de gases como Helio, Neón y Argón que se activa por una fuente eléctrica que al ponerse en contacto con el tejido en tratamiento estimula el oxígeno contenido en la hemoglobina produciendo así ozono en cantidades necesarias para curar el área dañada sin riesgos de intoxicación.

Actualmente es uno de los métodos más usados en el tratamiento dental con ozono, puesto que existen una gran cantidad de sondas para varias formas de aplicación al paciente, y a esto hay que agregar que no se necesita la alimentación de oxígeno, lo que representa un ahorro directo en el tratamiento.



Figura 2.2. Generador de ozono mediante plasma frio
<<http://www.itav.com.mx/articulos/ozono.html>>

2.1.3 DESCARGA ELECTRICA (DESCARGA CORONA)

El efecto corona es un fenómeno producido en conductores eléctricos de alta tensión desnudos y se manifiesta en forma de un halo luminoso a su alrededor. El nombre proviene por la forma que toma la descarga al provenir en su mayoría de conductores de sección circular. Este efecto corona se presenta cuando se eleva el potencial de un conductor hasta valores tales que sobrepasan la rigidez dieléctrica del aire que rodea al conductor, es así que se ioniza el aire alrededor y permite la rápida conducción de una gran corriente a través de él.

Una de las características principales de este método es que el ozono producido es de muy alta calidad en pureza, es decir, se asegura que esté libre de bacterias que puedan traer complicaciones al paciente. Es debido a esto que se hace necesario una alimentación de un tanque de oxígeno clínico externo, la generación de ozono se realizaría por medio de descargas eléctricas, interviniendo químicamente en nada a la formación de las moléculas de ozono.

Como se mencionó anteriormente, esta tecnología es de las más económicas, pudiendo inclusive convertirse en la más segura, si se asegura cumplir con la normativa de la FDA, el Colegio de Odontólogos del Perú, IEC y las ISO en el diseño e implementación de equipos.

En la figura 2.3 se muestra un equipo generador de ozono basado en descarga corona. Notar que ya viene incluido una bombona pequeña de oxígeno.



Figura 2.3. Generador de ozono mediante descarga de corona
<<http://www.itav.com.mx/articulos/ozono.html>>

2.2 NORMATIVIDAD

Para el desarrollo de la presente Tesis consideraremos las siguientes normas internacionales de la IEC (International Electrotechnical Commission), ISO (International Organization for Standardization) y COPANT (Comisión Panamericana de Normas técnicas).

IEC 60601-1-8:2006
ICS: 11.040.10

Equipos electro médicos - Parte 1-8: Requisitos generales de seguridad básicas y esenciales de rendimiento – Estándar de garantía: Requisitos generales, ensayos y guía para los sistemas de alarma en equipos electromédicos y sistemas electromédicos.

IEC 60601-1-10:2007
ICS: 11.040.10

Equipos electromédicos - Parte 1-10: Requisitos generales de seguridad básicas y esenciales de rendimiento – Estándar de garantía: Requisitos para el desarrollo fisiológico de controladores de lazo cerrado (realimentación).

ISO 7326 : 2006
ICS: 23.040.70

Mangueras de plástico y caucho – Evaluación de la resistencia al ozono bajo condiciones estáticas.

ISO 10960: 1994
ICS: 23.040.70

Mangueras de plástico y caucho – Evaluación de la resistencia al ozono bajo condiciones dinámicas.

Estas dos últimas normas ISO serían utilizadas en el diseño y construcción de la etapa de transporte del ozono clínico producido desde el generador de ozono hasta el instrumento de aplicación al paciente.

COPANT - ISO 10012: 2004
ICS: 03.120.10

Sistemas de gestión de las mediciones - Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición.

Esta norma sería usada en el diseño y construcción del sistema de medición de concentración de ozono producido y el correspondiente algoritmo de control.

2.3 MODELO TEORICO

“Dado que ninguna bacteria anaerobia, virus u hongos pueden vivir en una atmosfera con alta concentración en oxígeno, todas las enfermedades causadas por estos agentes patógenos son potencialmente curables mediante la acción del ozono” [8]. De aquí que al usar el ozono en el blanqueamiento dental no solo se estarían eliminando las bacteria causantes de la coloración de la dentina sino también se estaría colaborando en el tratamiento contra las caries y limpieza bucal.

Mediante la generación de una alta tensión eléctrica en presencia de oxígeno proveniente de una bombona de oxígeno medicinal, se produce ozono.

Básicamente la producción de un arco eléctrico se produce por una diferencia de potencial de varios miles de voltios, por lo que la tendencia de la investigación será

la electrónica de potencia que nos permitirá crear la descarga corona a partir de un “pequeño” voltaje como lo es los 220 voltios que existen en hogares y consultorios. Los sensores son indispensables para el adecuado control de la concentración de ozono puesto que como se dijo, concentraciones elevadas pueden causar complicaciones en el paciente inclusive la muerte. De aquí que el algoritmo y futuro circuito de control para regular la frecuencia de las descargas así como la intensidad de este es necesario.

No solo debemos considerar la producción y concentración del ozono en el generador (0.05 ppm, nivel máximo tolerable emitido por cualquier aparato fabricado para uso médico establecido por la FDA), sino también los materiales a utilizar en dicho generador, dado que el ozono es altamente reactivo y el usar materiales inadecuados estaría poniendo en riesgo la salud del paciente y personas en contacto con el generador.

Por consiguiente, en el proceso de creación del generador de ozono se deben tener en cuenta varios aspectos, el material debe ser elegido cuidadosamente, debemos contar con elementos de medición para determinar la concentración de ozono en todo momento, inclusive dependiendo de la complejidad del sistema, se podría crear un algoritmo de control; para que las mediciones y control sea un proceso automático y más exacto.

El asesoramiento constante con estomatólogos es esencial en la construcción del generador ya que nos brindara información más detallada de requerimientos que suelen esperarse del generador, como lo son, facilidad de manejo del equipo; En caso de tener el algoritmo control, una adecuada interfaz.

Finalmente se debe también considerar el transporte del ozono producido hacia el método de aplicación al paciente elegido por el doctor. Este debe considerar

aislamientos eléctricos y de salud (gérmenes en el aire, bacterias, etc.), todo esto claro está bajo las normas impuestas por los entes reguladores respectivos.

En la figura 2.4 a continuación se intenta explicar de manera grafica el modelo teórico

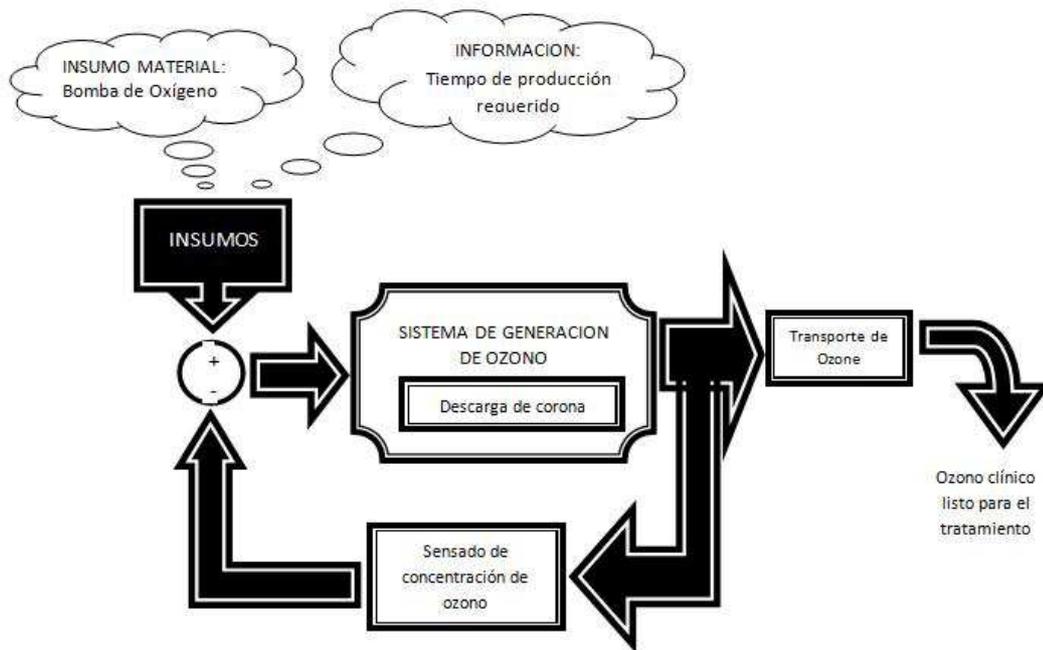


Figura 2.4. Representación grafica del modelo teórico

CAPITULO 3

CARACTERIZACION DEL SISTEMA

3.1 HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION

3.1.1 HIPOTESIS PRINCIPAL

Dado que en el Perú aumenta los problemas dentales, así como el deseo de las personas por una mejor salud dental mediante la aplicación de técnicas de blanqueamiento, y estas a su vez resultan siendo caras pudiendo inclusive traer complicaciones al paciente, entonces el diseño e implementación de un generador de ozono basado en descargas de corona, representa un equipo que cada vez tiene y tendrá mayor acogida en el mercado odontológico, tanto por precio como lo es el manejo y seguridad del paciente.

3.1.2 HIPOTESIS SECUNDARIAS

- 1) Los pacientes que requieren una correcta higiene bucal y están dispuestos a realizarse tratamientos dentales como lo es el blanqueamiento es cada vez mayor.
- 2) La técnica de blanqueamiento dental mediante la generación y aplicación de ozono representa un avance en el área odontológica, y un gran beneficio para los pacientes, tanto en la economía, como en la salud del paciente ya que al provenir del oxígeno, el ozono no representa un agente externo en el cuerpo humano, claro está bajo las concentraciones adecuadas.
- 3) El método de Descarga de corona entre la tres alternativas de generación de ozono, indicados anteriormente, resulta siendo la de mayor producción de ozono,

así como la de mayor calidad de este, el único requerimiento externo es la bombona de oxígeno, el cual todo centro dental posee.

4) La necesidad de un algoritmo de control así como el censado de la concentración de ozono producido es un requerimiento indispensable con vías de la automatización del equipo, así como de hacerlo más exacto y seguro para el paciente.

3.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

3.2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e Implementar el equipo de generación de ozono mediante el método de descarga corona, así como un sistema de control y autorregulación de la concentración del ozono producido en el equipo, con la finalidad de crear y ofrecer a los pacientes una posibilidad de blanqueamiento dental que ya viene siendo usado en países avanzados.

3.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1) Demostrar la factibilidad de blanqueamiento dental ante la aplicación de ozono clínico.
- 2) Implementar un equipo prototipo seguro cuyas aplicaciones estén acorde con las normas vigentes de los entes reguladores.

- 3) Implementar un algoritmo de control lo más exacto y rápido posible de manera que se la concentración de ozono producido del equipo cuente con márgenes de error mínimos.
- 4) Producir en lo posible un equipo este acorde con nuestra realidad actual, de manera que el costo del tratamiento, precio directo al paciente, se vea reducida también.
- 5) Beneficiar al público usuario buena higiene bucal ya que el método de blanqueamiento dental mediante el uso de ozono también colabora en la eliminación de caries.
- 6) Demostrar la posibilidad de blanquear un diente ante la exposición de esta a concentraciones de ozono 0.05ppm por 30 minutos.

3.3 UNIVERSO Y MUESTRA

El universo de la investigación consiste en todo procedimiento, técnica o tecnología, documentación escrita o electrónica que permita al paciente obtener una mejora estética en sus dientes, en este caso concreto, el blanqueamiento dental.

Se diseñará e implementará un equipo generador de ozono que justamente cumpla con ese requerimiento, el de blanquear dientes, realizando paralelamente la eliminación de bacterias y deodorización de la boca.

3.4 GENERADOR DE OZONO. ETAPAS

3.4.1 ALIMENTADOR

Consiste en la bombona de oxígeno, el regulador, la válvula de seguridad y un adaptador especial hacia la entrada del generador. En la figura siguiente se tiene una figura de lo que se quiere.



Figura 3.1. Bombona de oxígeno
<www.raulybarra.com>

3.4.2 DESCARGA CORONA

Esta etapa, en la que se generara el ozono clínico que posteriormente será aplicado al paciente, puede ser dividida en dos sub-etapas, la primera de ellas, se refiere al proceso de producción de descarga corona que en principio se efectuara por medio de una bobina de encendido, que es un transformador de voltaje elevador, y un circuito oscilador asociado a determinadas frecuencias. La segunda de ellas es el elemento en donde se va a producir la descarga corona, es decir, una configuración determinada de electrodos que nos permita producir ozono por descarga corona con la mayor eficiencia, limpieza y brindándonos la mejor posibilidad de control de concentración posible.

3.4.2.1 TRANSFORMADOR DE ALTO VOLTAJE. BOBINA DE ENCENDIDO

La Bobina de encendido es un transformador de alto voltaje que a diferencia de los transformadores de uso común se diferencia por su menor tamaño si lo comparamos con uno con la misma relación de transformación.

Esta bobina de encendido como se aprecia en la figura 3.2 está formada por dos circuitos, el primario, constituido por una decenas de espiras de cable de cobre y el secundario que posee varios millares de espiras de cable de sección mucho menor que en la de primario. Ambas espiras están enrolladas sobre un núcleo de hierro magnético, todo esto sumergido en aceite aislante, aunque actualmente se viene usando resina asfáltica en vez del aceite.

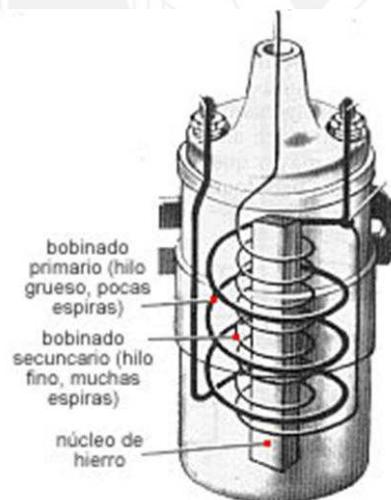


Figura 3.2. Bobina de Encendido.
<Catálogos Bosch>

3.4.2.2 CONFIGURACION DE ELECTRODOS

Como se menciono anteriormente, se debe diseñar el arreglo de electrodos que permita la descarga corona. Los requerimientos y disposición de ello deben ser tal que se tenga la descarga corona lo más uniforme posible a través del oxígeno clínico que estaría en la zona de descarga, de aquí que la zona de descarga así como el arreglo de electrodos debe ser cerrado y aislado del resto del equipo tanto por protección al micro controlador y demás dispositivos discretos como para el ozono que se quiere producir ya que debe mantener su pureza con fines de uso médico. Otra de las razones del aislamiento del arreglo de electrodos es que hay que considerar que al producir las descargas corona cabe la posibilidad de que se genere algo de humedad, en cantidades mínimas claro está, pero que a largo plazo pueda dañar los dispositivos discretos como los son el micro controlador, circuito de potencia, transistores, etc.

3.4.3 MEDICION Y CONTROL DE CONCENTRACION

Se hace necesario un sistema de toma de datos y procesamiento del mismo con el fin de controlar una variable que es la que nos permitirá producir la descarga corona que concluirá en la generación de ozono. Se usara el micro controlador para implementar en él un algoritmo que controle una señal en su salida que nos permita a su vez controlar la transferencia de energía desde la bobina de encendido hacia los electrodos de descarga. La etapa de realimentación se dará por medio de un modulo sensor de ozono que brinda valores de voltaje equivalentes a la concentración de ozono que se está midiendo.

3.4.4 TRANSPORTE DE OZONO A OBJETO DE APLICACIÓN AL PACIENTE

Esta etapa es relativamente crítica pues se debe considerar aspectos eléctricos durante el transporte, es decir, aislar correctamente la manguerilla para evitar problemas al momento del tratamiento y aplicación del ozono al paciente. Para ello se tiene que encontrar un material adecuado para el transporte, que sea resistente a la corrosión que pueda presentar el ozono, sea lo suficientemente maleable para garantizar la durabilidad de la manguerilla al ser sometido a golpes, dobleces exagerados, etc. Como se indico líneas arriba una de las características principales que debe presentar el material constituyente de la manguerilla es su capacidad de aislamiento eléctrico para evitar problemas de gravedad en el momento del tratamiento.

3.4.5 INTERFAZ DE USUARIO

Necesario es una interfaz de usuario amigable y de fácil uso para la persona encargada de usar el equipo generador de ozono. Por ello se aprovechara las bondades del micro controlador y dispositivos periféricos como el LCD y teclado matricial así como indicadores leds para implementarlo. Se procura diseñar el programa de interfaz de usuario de manera que el manejo de este sea inductivo, es decir, no haya necesidad de revisar un manual para el manejo de este.

CAPITULO 4

ETAPA DE DISEÑO Y ANALISIS

4.1 CONSIDERACIONES PRELIMINARES

En el diseño del generador de ozono, se ha buscado dividirlo en varias etapas de tal manera que tenga un diseño modular, así en caso de presentarse un error, este sea fácilmente identificable y solucionable.

El área al que pertenece el presente diseño es el de Electricidad, con aplicación de electrónica de potencia y la programación de bajo nivel así como de control automático.

4.2 DISEÑO DE LA ETAPA DE GENERACION DE OZONO

4.2.1 FUENTE SWITCHING

En esta etapa, se acondiciona el voltaje comercial (220 AC) al voltaje DC requerido para la bobina de encendido que es 12VDC.

El esquema y características de esta fuente se muestran en el siguiente diagrama.

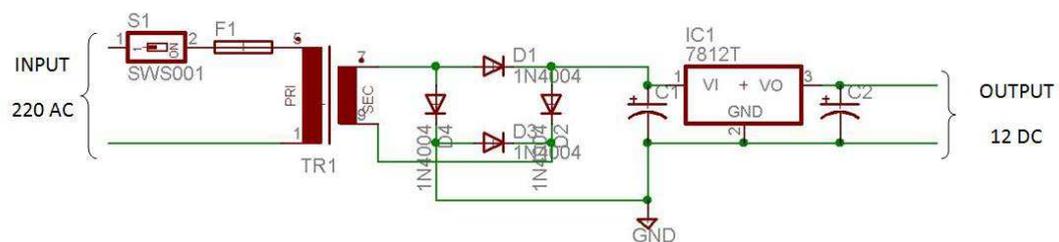


Figura 4.1. Circuito Esquemático de la fuente switching

Según el circuito esquemático mostrado en la figura anterior la tensión de entrada es de 220 V y el voltaje de salida es de 12VDC que será la que se aplique en la entrada de la bobina de encendido

Los componentes usados son los siguientes:

- 4 diodos 4N4004
- 1 condensador de 100 μ F (C1) – 25v
- 1 condensador de 10 μ F (C2) – 25v
- Un regulador de voltaje LM7812
- Un transformador de 220AC a 12AC , 60Hz 50W
- Un fusible a 2 A
- Un interruptor DE 220 V – 6 A

4.2.2 TRANSFORMADOR DE ALTO VOLTAJE. BOBINA DE ENCENDIDO

Para obtener la descarga corona, se debe romper la rigidez dieléctrica en este caso del oxígeno, esto se da con voltajes elevados de aproximadamente 1 mil voltios o mayores por milímetro lineal. Entre los dispositivos que nos permiten tener esta elevación en voltaje se encuentran el flyback y las bobinas de encendido.

Debido a la facilidad con la que se pueden trabajar las bobinas de encendido en comparación a los flyback, y dado que se cuenta con mayor literatura e información técnica de los primeros [24], se elijen a las bobinas de encendido como dispositivo a utilizar para generar nuestro alto voltaje.

En el mercado encontramos dos tipos de bobina de encendido en función a la substancia que se le adiciona para aislar a los bobinados.

- Las bobinas de ignición impregnada en aceite que trabajan a 6VDC y 12VDC.
- Las bobinas de ignición secas. Se denominan así porque en vez de utilizar aceite utilizan una resina especial, con altas propiedades dieléctricas, para aislar a los bobinados.

El tipo de bobina que se utilizará para el proyecto es la segunda opción, la bobina de encendido seca con resina especial, con ello no estaríamos limitando la orientación de instalación de la bobina, es decir, podríamos colocarla de forma horizontal sin la preocupación de que el aceite se pueda gotear, ni producir explosiones (si eligiéramos la bobina de encendido sumergido en aceite).

El control de apertura y cierre de corriente para la generación del alto voltaje en la bobina es por medio de un transistor de potencia que actúa en corte y saturación, es decir un interruptor.

El periodo de oscilación del interruptor variara en función de la concentración de ozono que se esté produciendo en el momento. El rango de frecuencias de funcionamiento del transistor estará entre los 200Hz y 1800Hz, aproximadamente.

En el siguiente diagrama se muestra el circuito esquemático para este tipo de arreglo.

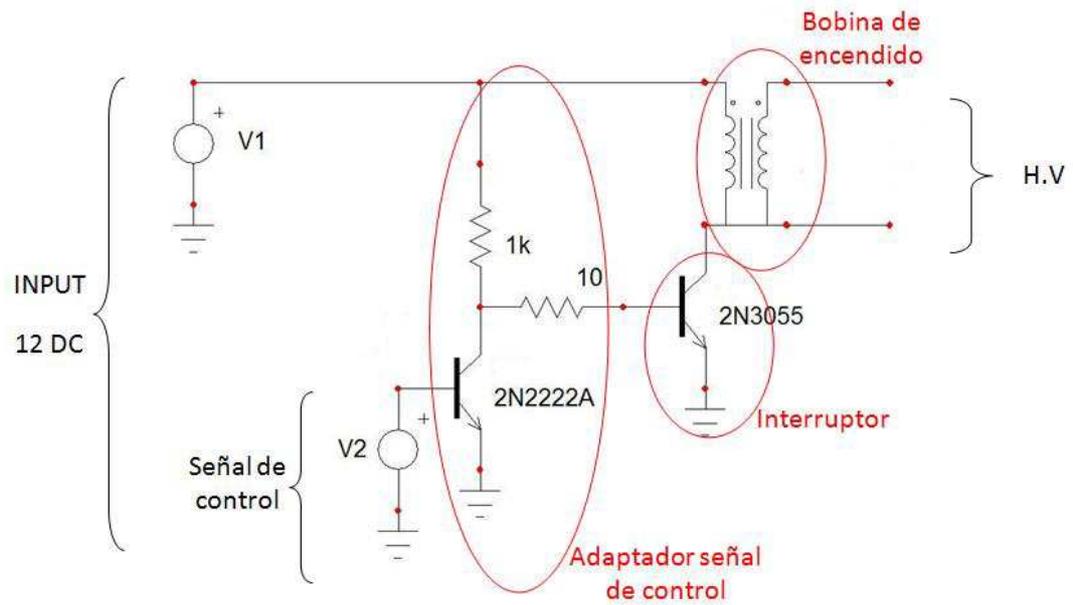


Figura 4.2. Circuito Excitador de bobina de encendido

Como se observa, el voltaje de la alimentación es una fuente de 12VDC. El control de carga y descarga en los electrodos se da por medio del interruptor, un transistor 2N3055 que funcionará en corte y saturación en función a la señal de control de entrada en su base proveniente del micro controlador ATmega8.

Esta señal de control desde el microcontrolador es aislado eléctricamente de la parte de control en potencia por medio de un opto acoplador 4N33 y adaptado en nivel de voltaje a través de un puente transistor emisor común.

4.2.3 CONFIGURACION DE ELECTRODOS

En principio se conoce que la descarga corona no es más que la ruptura del dieléctrico natural del aire, de ahí que se crea como un “puente” por donde los electrones pueden circular desde un potencial al otro.

Con base en lo escrito anteriormente elegimos pues al condensador como dispositivo de almacenamiento de energía buscando sobrepasar su tensión de trabajo para producir el arco eléctrico.

La tensión nominal del condensador depende del tipo y grosor del dieléctrico. Ya que lo que se desea es la disociación de las moléculas del oxígeno, el dieléctrico del condensador debe ser considerada de tal forma que podamos llegar a sobrepasar su resistencia dieléctrica. En principio se piensa en el vidrio como material dieléctrico para el condensador cuyo valor de resistencia dieléctrica es de 14×10^6 V/m. Hay que considerar que habrá un espacio de aire en el condensador cuya resistencia dieléctrica (3×10^6 V/m) hay que vencer. Por ello se considerara llegar a voltajes superiores a los 17×10^6 V/m en un espacio de 2mm lineales para asegurarnos de tener la descarga corona que buscamos.

Esto es precisamente lo que se necesita para la disociación del oxígeno formando el ozono clínico, para ello se considero dos configuraciones posibles de electrodos, la primera de ellas, un condensador de placas paralelas, y el segundo un condensador cilíndrico.

- El condensador de placas paralelas tiene su ecuación de capacitancia como sigue.

$$C = \epsilon A / d$$

Donde:

A: es el área de las placas de capacitor en m².

D: la distancia de separación de las placas en metros.

ε: coeficiente de rigidez dieléctrica del medio de separación entre placas.

- El diseño del condensador cilíndrico considera un valor de capacitancia y una resistencia en paralelo que representa el valor de pérdidas de su dieléctrico.

EL valor de la capacitancia se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$C / L = k / (2 \times K_e \times \ln (b/a))$$

Donde:

C: Es la capacitancia deseada en Faradios.

L: Longitud del cilindro en metros.

K_e: Constante de coulomb (8.9875x10⁹ Nm²/C²)

a : Radio interno en metros.

b : Radio externo en metros.

k : constante dieléctrica

Y su componente resistiva se obtiene con:

$$R = (\rho / 2 \pi L) \times \ln (b/a)$$

Donde:

R: Resistencia del dispositivo en ohmios.

L: Longitud del cilindro en metros.

a : radio interno en metros.

b : Radio externo en metros.

ρ : Resistividad del dieléctrico

Siendo este último el modelo de capacitor que se usa para los efectos de la simulación debido a que tiene una geometría simétrica para una densidad de flujo constante a través de ella. Podemos asumir que las descargas corona en este tipo de geometría sería más uniforme que en el condensador de placas paralelas, además que no consideraríamos el efecto de borde existente en este último que para un funcionamiento de descargas constantes resulta peligroso.

Según la ecuación de capacitancia del condensador cilíndrico; La capacidad tiene sentido puesto que indica que es proporcional a la longitud lineal del cilindro. Lógicamente, la capacidad depende también de los radios de los dos conductores cilíndricos y del dieléctrico usado. La componente resistiva se refiere a las pérdidas que tendría el condensador, específicamente a las pérdidas en el dieléctrico.

Para el caso del condensador cilíndrico, utilizaremos a modo de electrodo interior un hilo de cable de cobre y exterior una malla metálica; con ello definiremos los radios interior y exterior en el condensador. La distancia entre los radios de la malla e hilo deben ser como máximo 2 mm para cumplir con el voltaje mínimo requerido

para romper la rigidez dieléctrica para producir la descarga corona. Como dieléctrico del condensador y soportes para ambas mallas interior y exterior, podría implementarse un pírex tubular de los usados en los laboratorios.

Los valores equivalentes al capacitor y a la resistencia asociada del capacitor son de 50 pF y 700Kohmios respectivamente según la literatura, sin embargo nos valdremos de los valores obtenidos en las simulaciones (capítulo 5) para definir la capacitancia y resistencia equivalentes finales en función a valores de voltaje obtenidos en la salida (secundario de la bobina de encendido).

En la figura 4.3 que se presenta a continuación se muestra la distribución de elementos que conforman el electrodo de descarga corona.

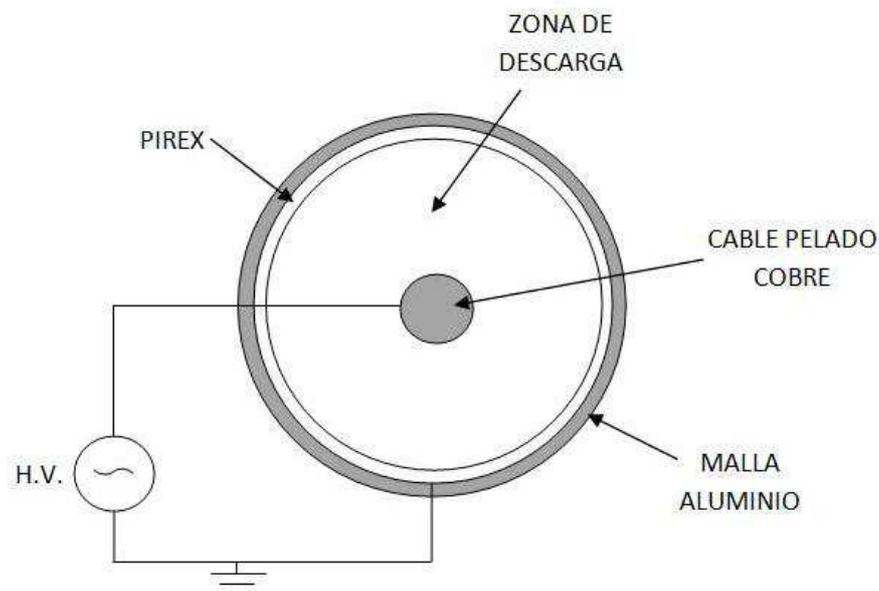


Figura 4.3. Disposición de elementos que conforman los electrodos de descarga corona

4.3 DISEÑO DE LA ETAPA DE SENSADO

El modulo sensor A051020-SP-61-02 de la compañía FIS Inc. es el que se elige para el diseño del generador de ozono debido a la fácil adaptabilidad que tiene este, es decir, una de las salidas del modulo SP-61 nos facilita valores entre el rango de 0 a 5 voltios que corresponden a la concentración que se estaría sensando. Esta salida iría a través de un modulo adaptador de impedancias a la entrada del modulo ADC del ATmega8.

Una variedad de este sensor es un modulo que permite ver por medio de un LCD la concentración de ozono en el ambiente, dicho modulo se denomina SDM-06 el cual trabaja con un sensor SP-61 hecho también en base a ITO (Indium Tin Oxide), un material especial para la detección de ozono.

Las características principales de este sensor son:

- Puede detectar desde 0 a 0.25 ppm de ozono en la atmósfera
- El sensor es de tipo semiconductor
- Libre de mantenimiento
- Larga duración.

Dependiendo de las necesidades, el sensor SP-61 viene en dos modelos con dos rangos de voltaje en su salida analógica, de 0 a 1 voltios y de 0 a 5 voltios.

Considerando que el sensor puede detectar en un rango de 0 a 0.25 ppm y se quiere trabajar en un rango útil de 0 a un máximo de 0.1 ppm, se elige utilizar el modelo SP-61-02 cuya salida analógica está entre los 0 y 5 voltios, de esta forma el rango de trabajo de voltaje de salida del sensor de ozono estaría entre 0 y 2 voltios aproximadamente.

Otra característica especial de este sensor de la Compañía FIS Inc[®]. es que en caso que la concentración de ozono sea de 0.08 ppm, un pin en la interfaz de salida del sensor se activa, si a ello le conectamos un buzzer conectado a tierra por medio de una resistencia podríamos implementar una alarma sonora.

A continuación se presenta algunas especificaciones del sensor de ozono.

Alimentación	5 VDC +/- 5%
Tiempo inicial de calentamiento (warm-up)	3 minutos aprox.
Rango de detección	0 a 0.25 ppm
Salida analógica	0 a 5VDC (SP61-02)
Salida de alarma	Salida MOS, 5 VDC cuando esta activado
Concentración de alarma	0.08 ppm
Consumo	Menor a 600 mW de los cuales 2/3 partes los consume el sensor
Temperatura de operación	0°C a 40 °C
Temperatura de almacenamiento	-10°C a 60°C
Tamaño	51mm x 37 mm (base) 22 mm (altura)
Peso	15 g

Figura 4.4. Especificaciones del sensor de Ozono

La salida y alimentación es un conector B5B-XH-A de la compañía JST® como se muestra en la figura 4.5.

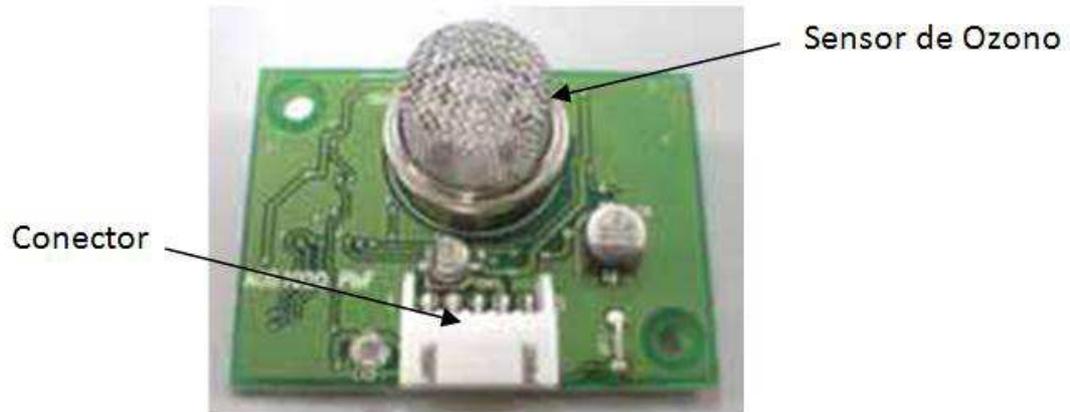


Figura 4.5. Sensor de ozono SP-61
Hoja de datos del sensor. Anexo 2

Disposición de pines en conector (de izquierda a derecha):

1. GND de alimentación
2. +5 VDC de alimentación
3. Salida analógica
4. GND de salida analógica
5. Alarma

Finalmente se podría añadir la relación que existe entre el voltaje de salida del sensor y la concentración de ozono que se está midiendo. Según la compañía FIS Inc., que es la encargada de fabricar los sensores de ozono, nos da la concentración de ozono medido en ppb; Puesto que se quiere trabajar con

concentraciones en unidades de ppm, se debe convertir de ppm a ppb y esto se da en una sencilla relación lineal de 1000.

Después de la transformación de unidades, la relación entre voltaje de salida del sensor y ppm medible sería:

$$\text{PPM de ozono} = 0.051 \times \text{voltaje de salida (v)}$$

4.4 DISEÑO DEL CONTROL DEL SISTEMA

Para el diseño del control del sistema utilizaremos el micro controlador ATmega8 de la compañía ATMEL, en él conectaremos la salida del sensor de ozono al ADC que nos servirán de referencia para variar la salida, en este caso, la señal de control en frecuencia, que controla la bobina de encendido, función al voltaje que censemos, entre 0 y 2 voltios aproximadamente, equivalente a la concentración de ozono que estemos produciendo. También utilizaremos el micro controlador para implementar el programa de interfaz de usuario en el que se tendrán un LCD modos del generador de dos líneas y un teclado matricial 4x4. En este programa podremos ingresar el tiempo de producción de ozono que necesitemos.

En la figura 4.6 se presenta el diagrama de flujo del programa total.

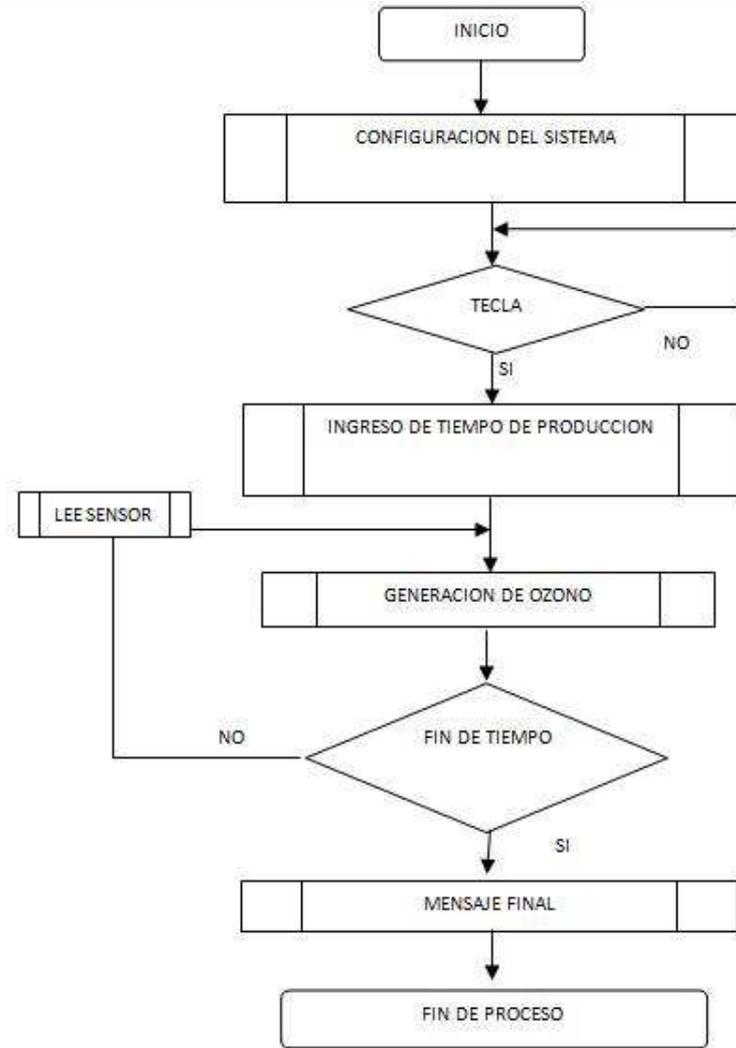


Figura 4.6. Diagrama de flujo general del programa

Las subrutinas se detallan a continuación:

- Configuración del sistema

Configuración inicial de variables previamente definidas, elementos internos como los timers, ADC y configuración de los periféricos al micro controlador como los son el teclado y el LCD.

- Ingreso de tiempo de producción

Rutina que está en la espera de datos por parte del usuario mientras tanto muestra en el LCD un mensaje de petición así como el rango de tiempos de producción de ozono admisibles. Si no se registra ningún dato pasado un tiempo el programa pasa al Modo Ahorro.

- Generación de ozono

Rutina que en función a los datos ingresados por parte del usuario y la concentración que pueda obtener del sensor de ozono realiza los respectivos cálculos, para finalmente generar una onda de control en frecuencia que permita generar el ozono en la concentración requerida siguiendo una tendencia lineal.

- Lee Sensor

Rutina en la cual “lee” el valor de voltaje que brinda el sensor de ozono.

- Mensaje Final

Se para inmediatamente la producción de ozono, y se muestra un mensaje de finalización del proceso.

Se utilizo el programa VMLAB y AVR Studio4 para la programación del micro controlador ATmega8, simulando el código en el programa PROTEUS.

4.5 ETAPA DE TRANSPORTE DE OZONO CLINICO

Finalmente para la etapa de transporte de ozono, se decide hacerlo mediante una manguerilla que derivará al instrumento de aplicación del ozono elegido por el

estomatólogo. Debemos considerar que no se puede utilizar los tubos flexibles que pueden transportar cualquier otro tipo de gas, dado que el alto poder oxidante del ozono lo corroería y desgastaría rápido.

Es así que se elige el caucho de silicona como material para ser usado en el transporte ya que es resistente al agresivo gas, garantizando con esto la hermeticidad del transporte.

El caucho de silicona es una material polímero que tiene excelentes propiedades físicas. Cuenta con gran resistencia térmica pudiendo comportarse establemente entre -50°C y $+220^{\circ}\text{C}$. Es apto para uso médico, farm acéutico y alimentario cumpliendo las normas de la FDA 177, BGVV y la USP Clase VI. Gran resistencia química frente a corrosivos, incluyendo el ozono. Considerando que es un equipo médico lo que estamos diseñando, debemos también considerar las propiedades de aislamiento eléctrico del material que estamos usando, satisfactoriamente, el caucho de silicona funciona como un| gran dieléctrico, manteniendo sus propiedades mecánicas y eléctricas en un amplio margen de temperatura (-50°C a $+220^{\circ}\text{C}$).

Entre las varias compañías que ofrecen este material se eligió para el diseño del generador de ozono las manguerillas de caucho de silicona de la compañía JJB EUROMANGUERAS que son aptas para impulsión en instalaciones fijas y envasados. Como se menciona anteriormente su composición las hacen inodoras, insípidas y atóxicas, encontrando diversa variedad de colores y diámetros (interior / exterior). Considerando que no transportamos gran volumen de ozono por la manguerilla de caucho de silicona, el modelo Euro EPDM Chimiflex con un diámetro interior de 13 mm es más que suficiente, de aquí que elegimos el caucho de silicona de 13 x 23 (diámetro interior x diámetro exterior), proporcionando una

protección de 10 mm contra la corrosión, radiación eléctrica, etc. Específicamente este cable soporta la impulsión de productos químicos a concentración media y las normas de fabricación con las que cumple son EN-12115 e ISO-1307. Con refuerzos textiles y trenchilla de protección contra descarga estática es la más apta para nuestro diseño.

En las figuras 4.7 se muestra la manguerilla de caucho elegida, se puede ver las capas de protección que posee. A continuación, en la figura 4.8 se muestra una tabla con datos técnicos del fabricante.



Figura 4.7. Manguerilla de caucho de silicona
Euro EPDM Chimiflex

Resistencia a la tracción (Kg/cm ²)	Goma Pura	Menos de 110
	Con Carga Negra	Más de 110
Limite de Dureza (Shore A)		40 a 85
Peso Especifico (Material Base)		1.1 a 2.05
Adhesión a Metales		Excelente
Adhesión a telas		Excelente
Resistencia al desgarro		Pobre
Resistencia a la abrasión		Pobre
Deformación por compresión		Regular
Rebote	Frio	Excelente
	Caliente	Excelente
Resistencia dieléctrica		Buena
Electro aislamiento		Excelente
Permeabilidad a los gases		Bastante baja
Acido-resistencia	Diluido	Excelente
	Concentrado	Regular
Resistencia a los disolventes	Hidrocarburos Alifáticos	Pobre
	Hidrocarburos Aromáticos	Pobre
	Solventes Oxigenados (Cetonas)	Regular
	Disolventes de Lacas	Pobre
Resistencia a:	Hinchamiento en Aceite Lubricante	Regular
	Aceite y Gasolina	Regular
	Aceites vegetales y animales	Buena a Excelente
	Higroscopicidad	Excelente
	Oxidación	Excelente
	Ozono	Excelente
	Envejecimiento a la luz solar	Excelente
	Envejecimiento en caliente	Prominente
	Bajas Temperaturas	Prominente
	Llama	Regular a Buena

Figura 4.8. Ficha Técnica del caucho de silicona obtenida del fabricante

CAPITULO 5

SIMULACIONES

5.1 PROCESO DE SIMULACION

Para la simulación del sistema se ha hecho uso de dos programas, denominados PROTEUS y el PSPICE.

El primero de ellos, el PROTEUS, un entorno integrado para la realización completa de proyectos desde diseño hasta su construcción. El programa se compone de cuatro elementos el ISIS, ARES, PROSPICE y VSM pero se utilizara dos ellos, el ISIS para la elaboración del diagrama esquemático de la parte de control del generador de ozono y el VSM que nos permite la simulación, con una característica muy especial que lo resalta de otros, y es que mediante el Proteus podemos simular también el comportamiento completo de micro controladores, vale decir, las familias PIC, AVR, 8051, HC11, etc. Es decir, se podría cargar el archivo *.hex del programa hecho y junto con otros periféricos, por ejemplo, leds, LCD, teclados, terminales RS232, I2C, hacer una simulación casi real de lo que sucedería físicamente con todo los elementos implementados.

El SPICE ICAP/4 de la compañía Intusoft es el segundo programa que se utilizara para la simulación del generador de ozono. Específicamente se simula el comportamiento de la etapa de potencia del generador, la bobina de encendido, aplicando una señal de control variable en frecuencia desde 200Hz hasta 1800Hz en el primario y midiendo los valores de voltaje en el secundario que es justamente la salida que conecta directamente con el condensador que son los electrodos para la descarga corona que se quiere producir.

5.1.1 SIMULACION EN PROTEUS

Como se mencionó anteriormente, se procedió a simular la etapa del control del generador de ozono usando el Proteus y su capacidad de simular los programas en micro controladores, en este caso particular, del PIC 16F877 de la compañía MICROCHIP.

Como entradas para el micro controlador se tiene el teclado matricial de 4 x 4 mediante el cual se ingresaran los valores de tiempo de generación. Se tiene también como entrada al micro controlador la salida del sensor de ozono simulado por medio de un potenciómetro que da en su salida un rango aproximado de 0 a 2 voltios, siendo el rango que se aproximó en la etapa de diseño. Esta salida irá conectado al ADC del ATmega8 y que servirá de referencia para estimar el error en la concentración de ozono que se desea producir, y por el cual se variará la salida de control en frecuencia de la bobina de encendido.

Con respecto a las salidas del microcontrolador, en la simulación tenemos el LCD LM032 que nos permitirá visualizar los distintos mensajes para el correcto uso del equipo. La salida de control visualizada a través del osciloscopio virtual del Proteus es otra de las salidas y como se mencionó será nuestro control para la generación de ozono por medio de variación en frecuencia. A continuación se presenta en la figura 5.1 el diagrama esquemático planteado para la simulación

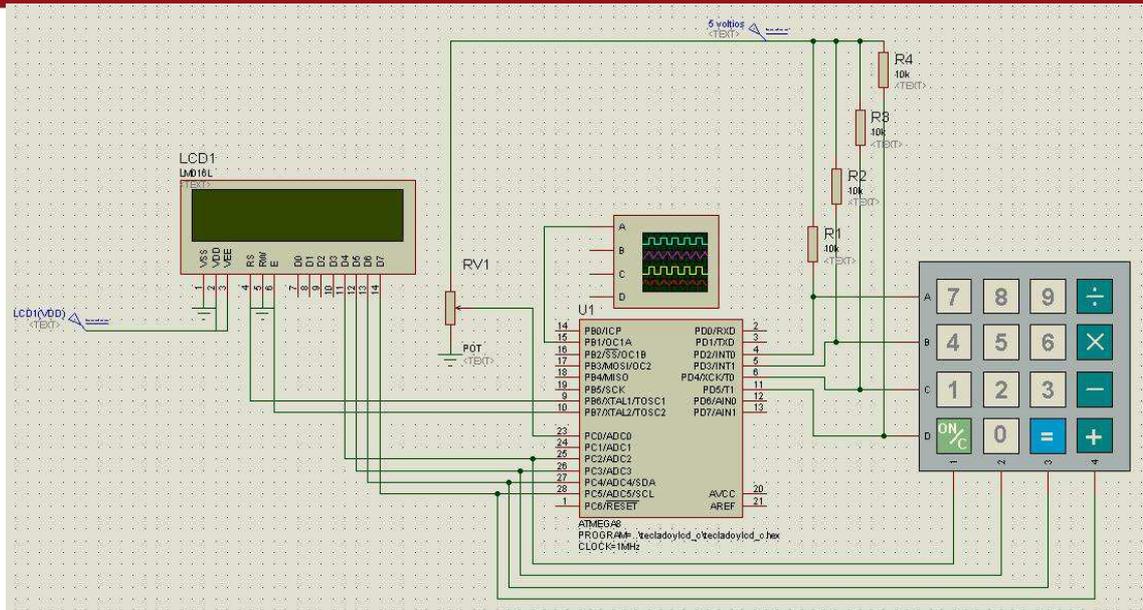


Figura 5.1. Interfaz grafica de simulación en Proteus

5.1.2 SIMULACION EN SPICE ICAP/4

De la misma forma que con el Proteus, se pasa a realizar la simulación correspondiente a la etapa de potencia, es decir, la bobina de encendido, el circuito excitador de la bobina y los electrodos.

En la figura 5.2 se presenta el esquema el circuito que se simulo, vale decir que se obvio los opto acopladores puesto que solo representan el aislamiento entre la etapa de potencia y la etapa de control.

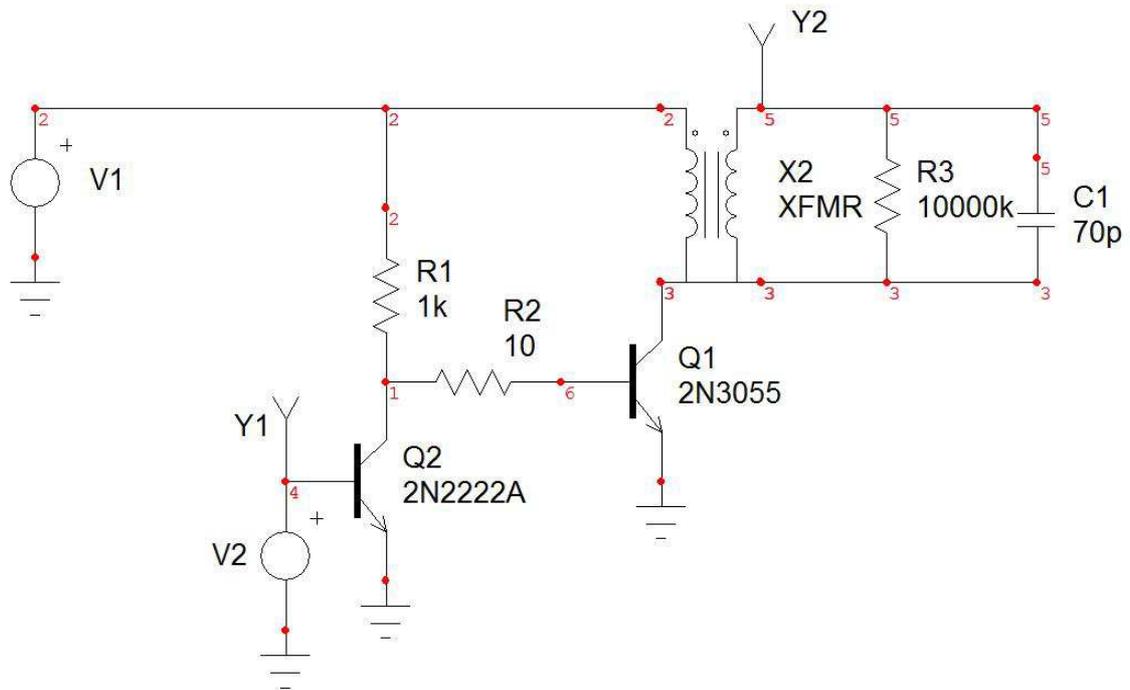


Figura 5.2. Interfaz grafica de simulación en SPICE ICAP/4

5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se aprecian tanto en la simulación con el Proteus y con el Spice el correcto funcionamiento del sistema considerando que la salida que se tiene del micro controlador es la entrada de control de la bobina de encendido.

.La primera simulación estuvo acorde a lo esperado, comenzando con la muestra del mensaje de bienvenida (figura 5.3-A), luego solicitando el valor de tiempo de generación de ozono (figura 5.3-B). Mientras dure la generación de ozono se muestra en pantalla el mensaje de generando ozono, el tiempo de producción así como la concentración en cada instante de tiempo.

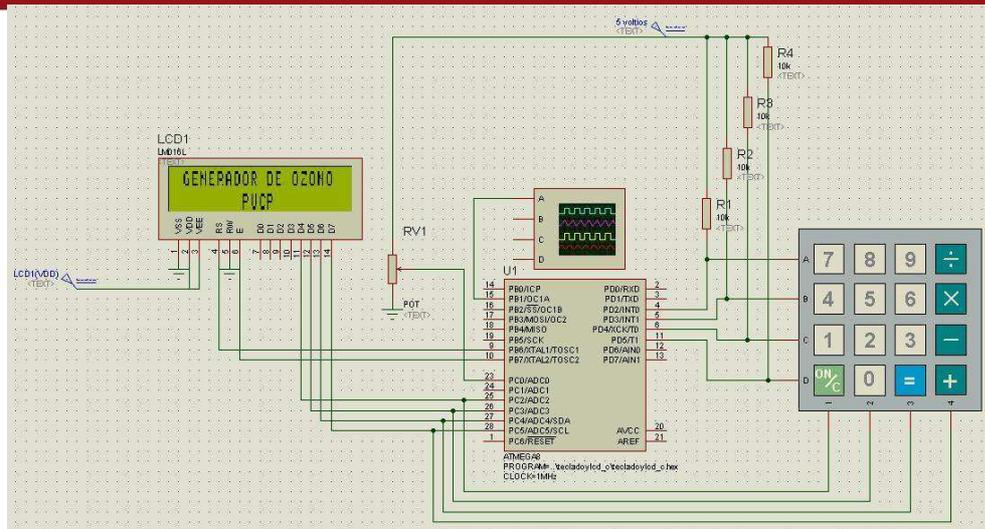


Figura 5.3. Comportamiento del programa en micro controlador PIC. Muestra del mensaje de bienvenida.

La segunda simulación correspondiente al SPICE también resulto exitosa, aunque con un poco mas de dificultades que el primero. Por el alto voltaje con el que se trabajaría se tenía que encontrar un circuito que pueda soportar los altos valores de corriente en el primario comparados con los requeridos por los sistemas de control como es el micro controlador, por lo que se hace necesario aislarlos óptimamente. Considerando que la relación de transformación en la bobina de encendido es de aproximadamente 57 y que la alta tensión se produce ante la interrupción de corriente en el devanado primario; para un voltaje de 12v DC en la entrada tendríamos que obtener un alto voltaje en el secundario que rompería la rigidez dieléctrica del aire, obteniendo así el arco corona que generara el ozono. Esto se logra variando el valor de la capacitancia y resistencia en el modelo del condensador. Es en función de la frecuencia de la señal de control que controlaremos la potencia transmitida hacia el condensador y en consecuencia los niveles de concentración de ozono producido.

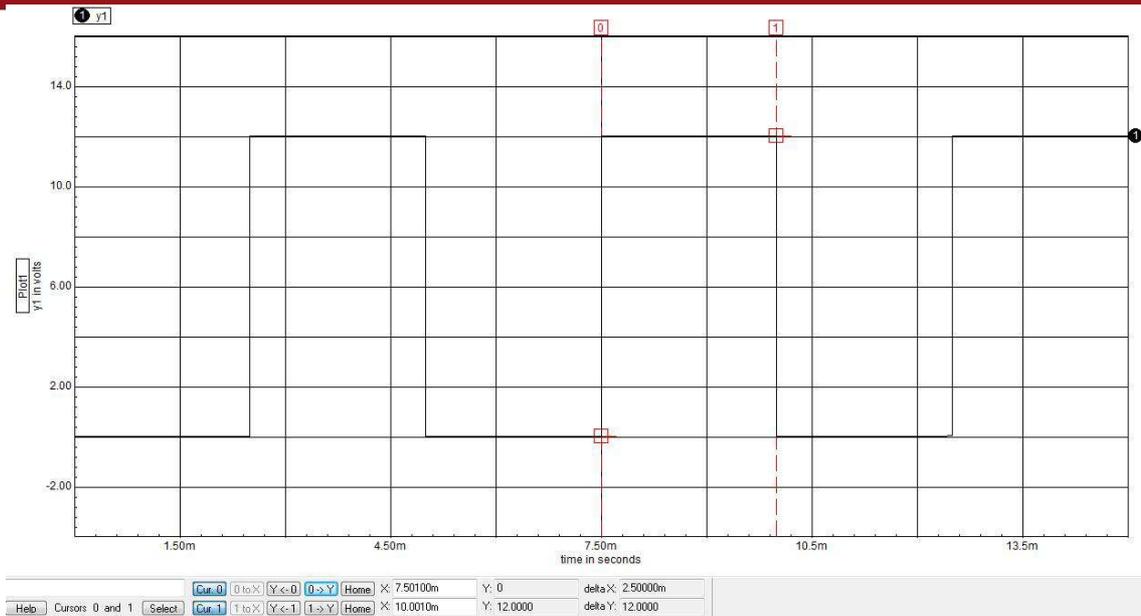
Como se observa en las siguientes gráficas se obtuvieron resultados esperados en la salida para distintas frecuencias de trabajo en el primario de la bobina de encendido. Lo que se verificó una vez implementado el proyecto, son las opciones de control on-off y una señal de control variable en voltaje.

También hay que considerar que los valores obtenidos en las gráficas son referenciales, no exactos, y que en la implementación se verificó la veracidad de esto y más importante aún, se comprobó la posibilidad de blanquear dientes con esta concentración de ozono; esto debido a que hay un margen de error entre la simulación y la realidad en donde se debe considerar los materiales, valores de presión temperatura, etc.

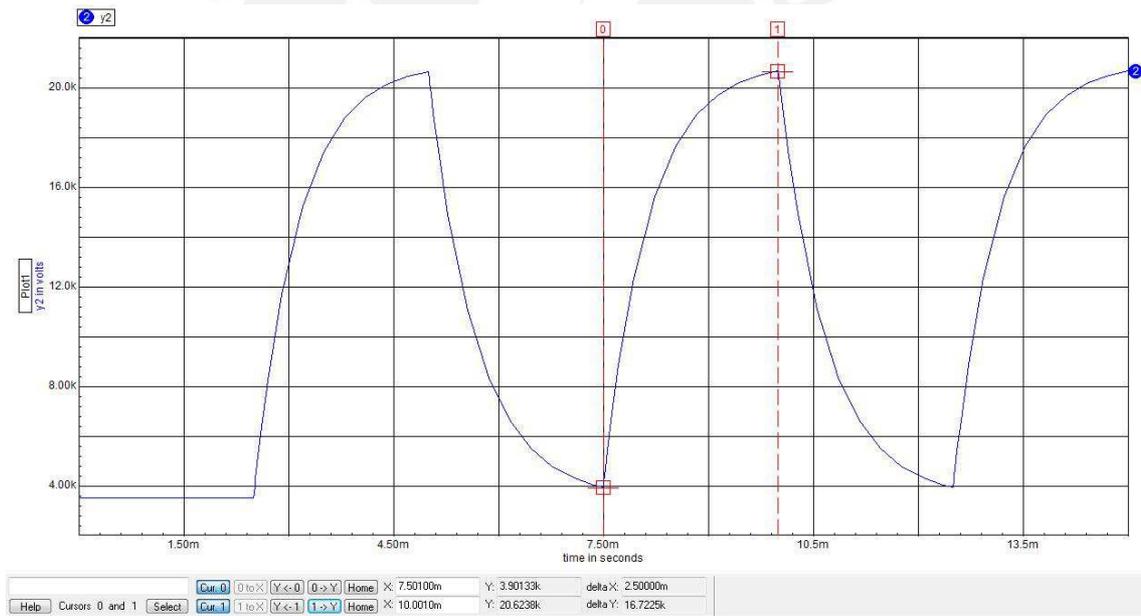
Cabe distinguir en las gráficas de las figuras 5.4 a 5.9 que se ha modelado la bobina de encendido como un transformador de uso común con la particularidad de cortocircuitar los terminales comunes, aun así, tenemos los niveles de voltaje en el orden de los kilovoltios en el secundario lo que corrobora el diseño y la producción de ozono debido al arco corona que se produciría. Se aprecia también el pico de corriente en el orden de los mA que se genera en el momento de carga y descarga del condensador.

Como se ve en las gráficas, estaríamos venciendo la resistencia dieléctrica del aire y produciendo arcos coronas para valores de capacitancia y resistencia de 70pF y 100Kohmios respectivamente.

Finalmente se deduce de las gráficas, que la concentración de ozono que se produzca estará en función de la frecuencia de la señal de control proveniente del micro controlador. A menor frecuencia, mayor la energía transferida y por ende mayor la concentración que se estaría produciendo por periodo de descarga. Esto último queda demostrado con las cuatro últimas gráficas (5.6 al 5.9).

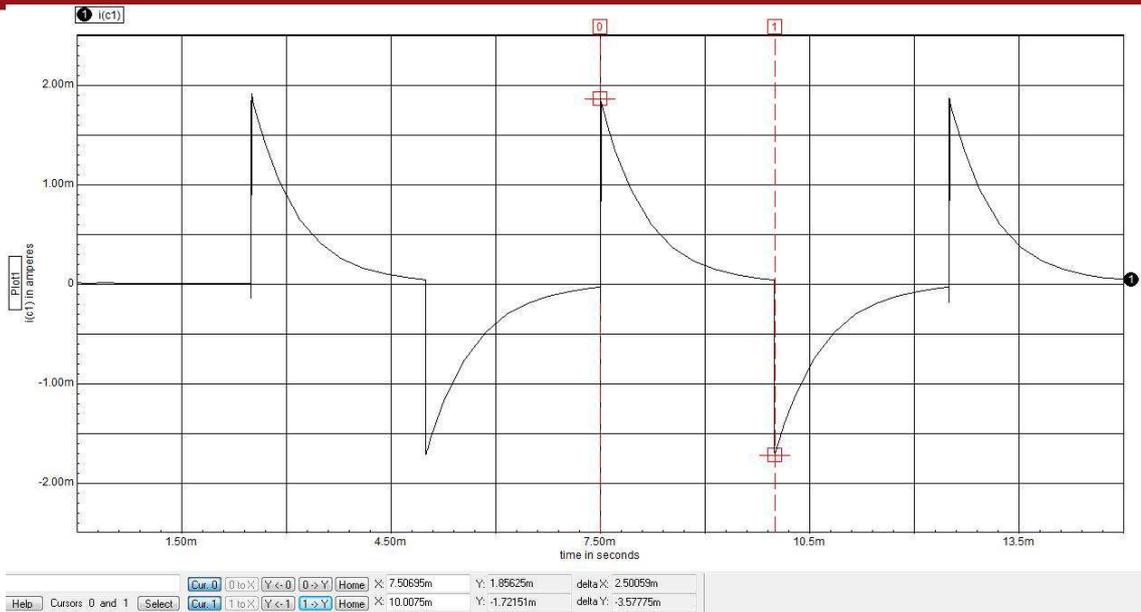


(A)

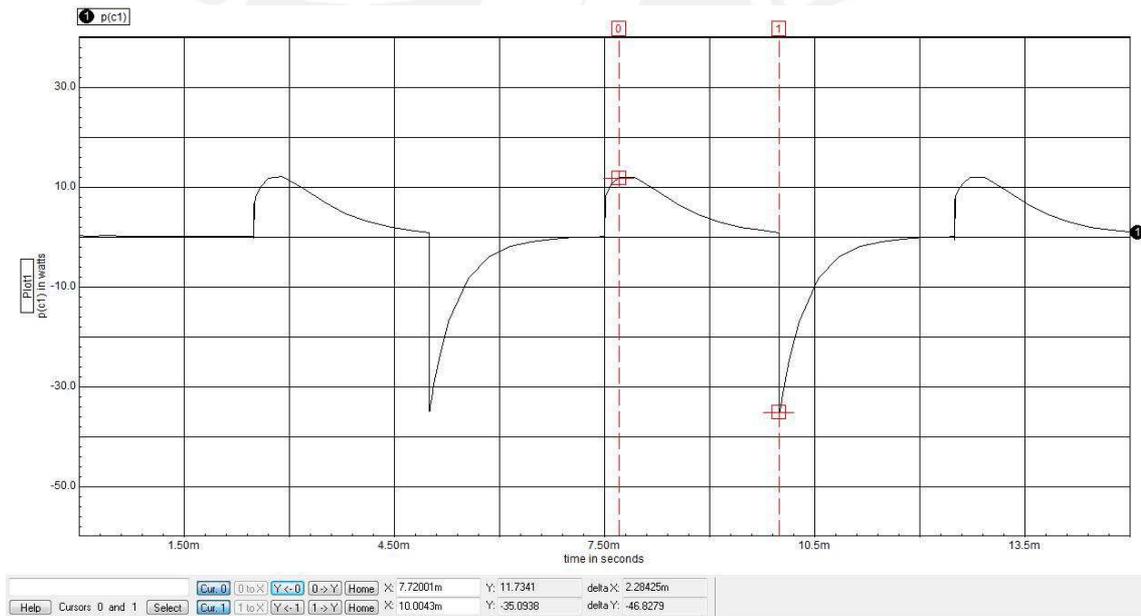


(B)

Figura 5.4. Comportamiento del circuito para una señal de control de 200Hz. (A) Señal de control a la bobina. (B) Señal de voltaje aplicado en condensador.

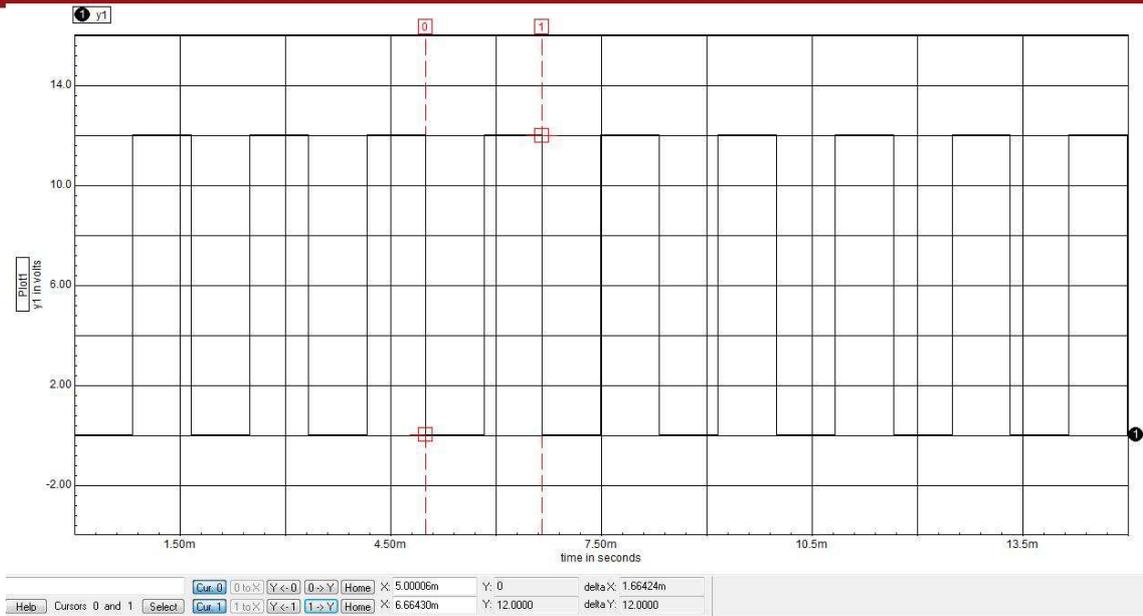


(A)

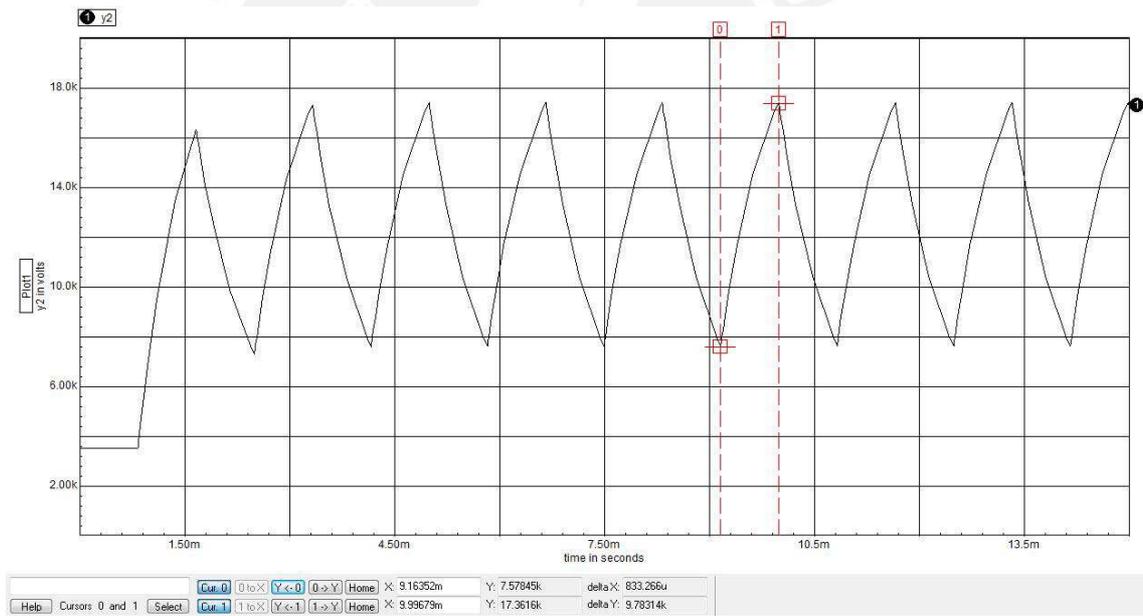


(B)

Figura 5.5. Comportamiento del circuito para una señal de control de 200Hz. (A) Señal de corriente producida en el condensador. (B) Potencia emitida en condensador.

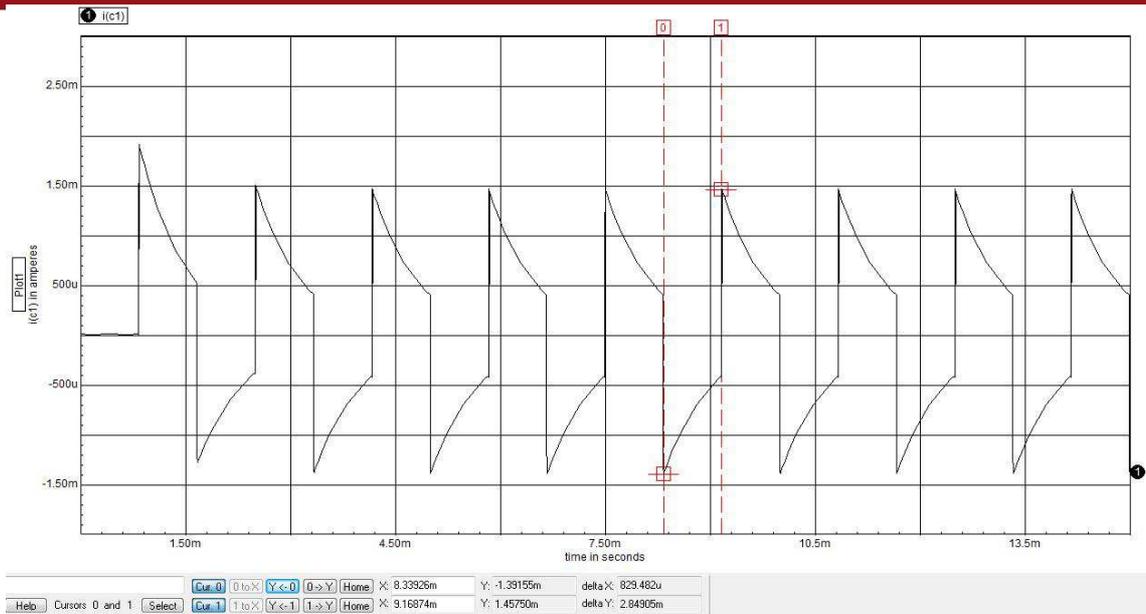


(A)

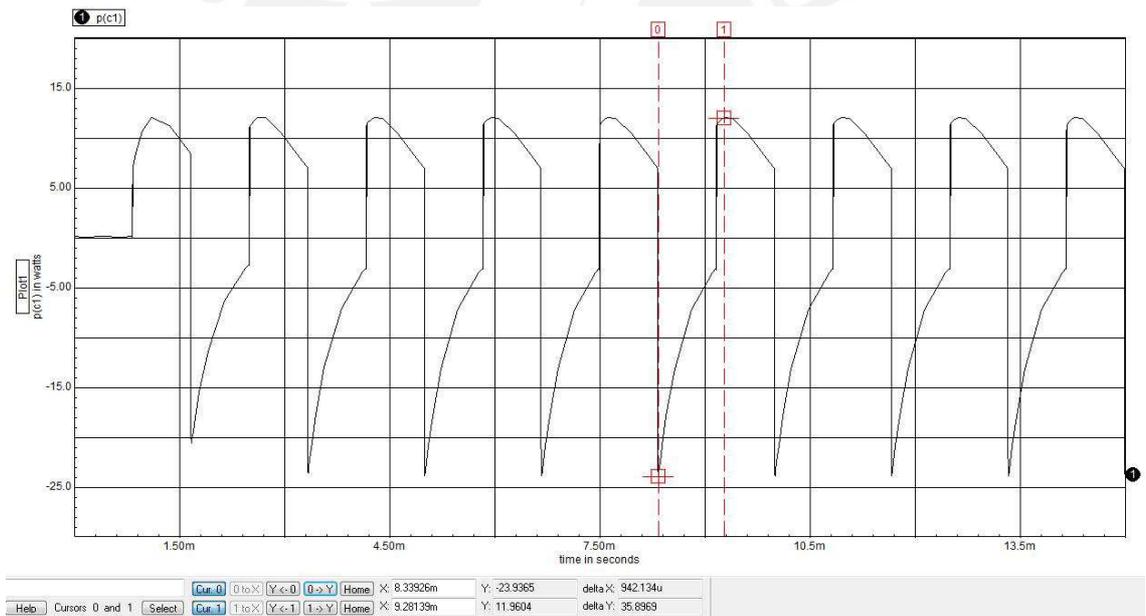


(B)

Figura 5.6. Comportamiento del circuito para una señal de control de 600Hz. (A) Señal de control a la bobina. (B) Señal de voltaje aplicado en condensador.

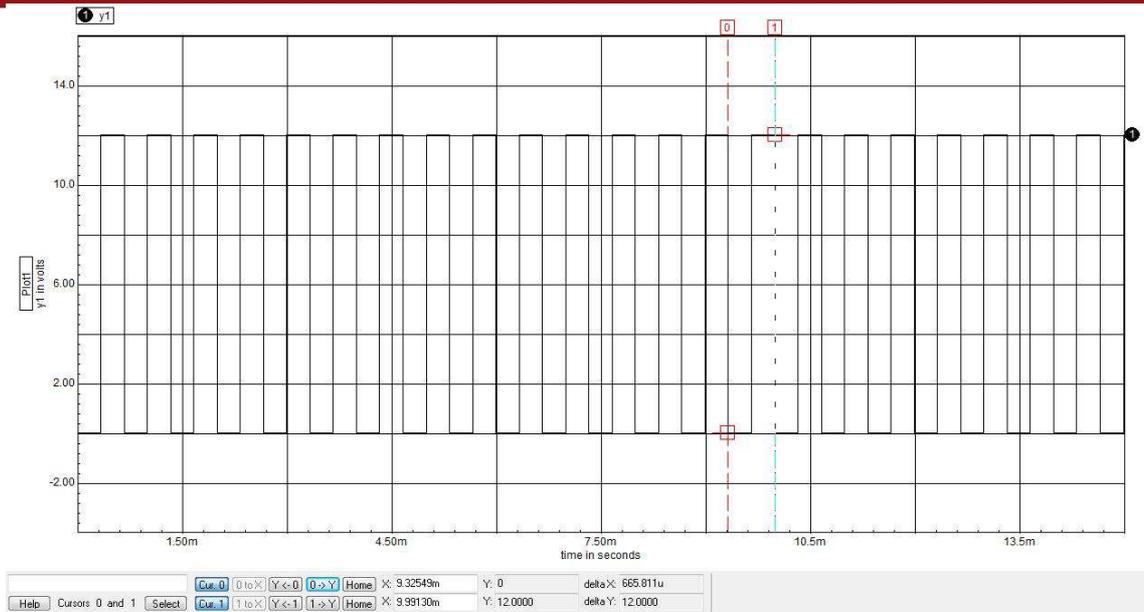


(A)

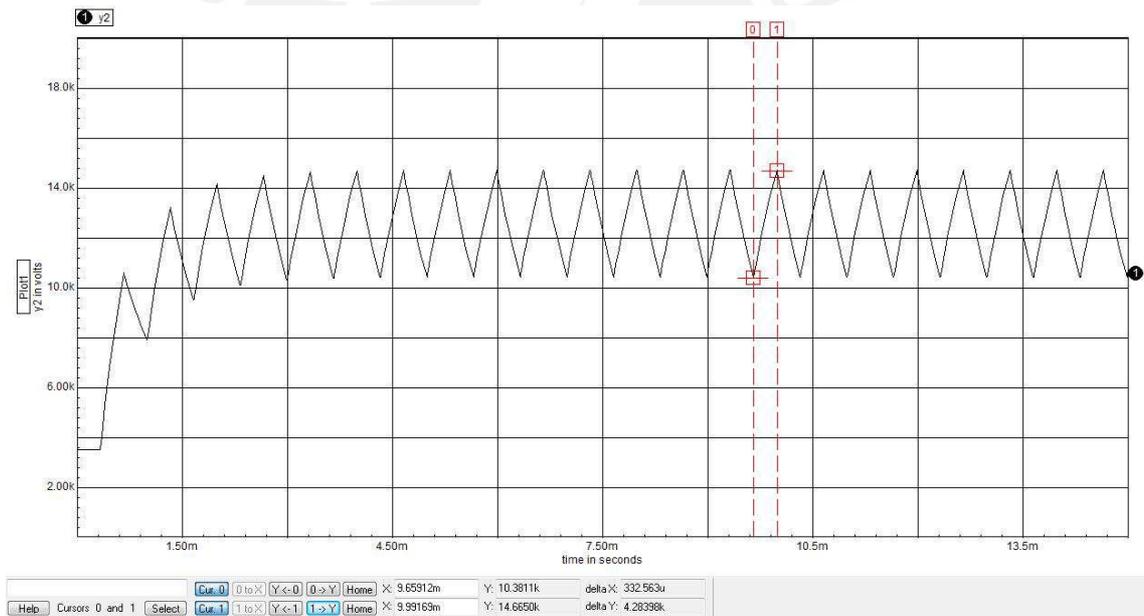


(B)

Figura 5.7. Comportamiento del circuito para una señal de control de 600Hz. (A) Señal de corriente producida en el condensador. (B) Potencia emitida en condensador.

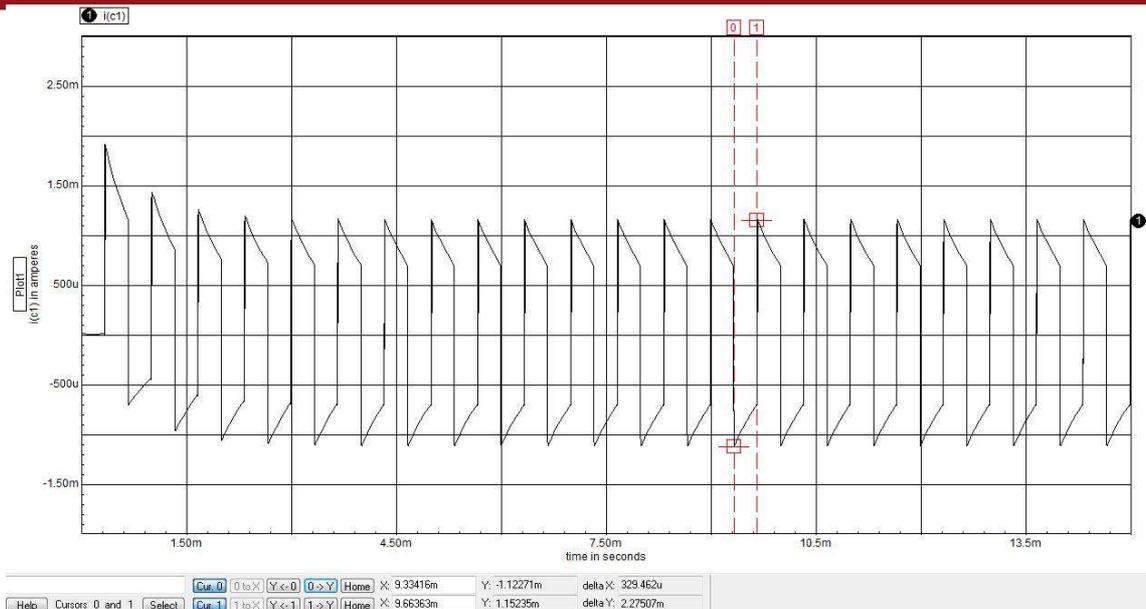


(A)

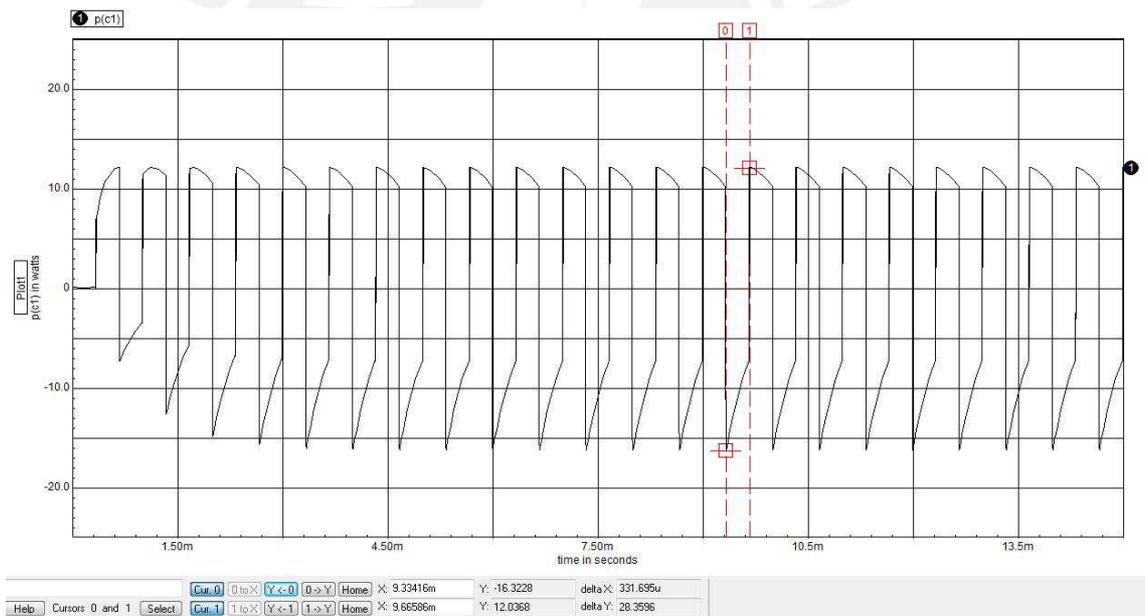


(B)

Figura 5.8. Comportamiento del circuito para una señal de control de 1500Hz. (A) Señal de control a la bobina. (B) Señal de voltaje aplicado en condensador.



(A)



(B)

Figura 5.9. Comportamiento del circuito para una señal de control de 1500Hz. (A) Señal de corriente producida en el condensador. (B) Potencia emitida en condensador.

CAPITULO 6

IMPLEMENTACION Y EXPERIMENTACION

6.1 IMPLEMENTACION DE LA BOBINA DE ENCENDIDO

Como se especifico en el punto 4.2.2 se utilizara una bobina de encendido seca de tal forma que evitemos goteos y explosiones. La bobina de encendido marca Bosch es la utilizada en este proyecto, dada la generosa información que podemos encontrar acerca de su gama de productos.

Específicamente utilizaremos el modelo 9 220 081 054 rellena con resina asfáltica que implica un mejor aislamiento, mayor rigidez dieléctrica, manteniendo también los enrollamientos primario y secundario fijos evitando cortocircuitos internos como se puede apreciar en la siguiente figura.



Figura 6.1 Componentes internos de la bobina de encendido Bosch.
<Catalogo Bosch>

Adicionalmente puede trabajar a altas temperaturas permitiéndole tener una tensión nominal de trabajo es de 26000V, suficiente para el alto voltaje que necesitamos generar.

Según los datos técnicos del fabricante, esta bobina debería ser alimentada con 12 VDC en el primario compuesta con aproximadamente 350 espiras, muchísimo menor cantidad considerando que en el secundario son aproximadamente 20000 las espiras alrededor del núcleo, naturalmente de un cable de calibre mucho más delgado. Según el fabricante la impedancia en sus enrollamientos es como sigue:

Enrollamiento primario → entre 2.9 y 3.8 ohmios.

Enrollamiento secundario → entre 6.5 y 10.8 KOhmios.

El resultado de la medición en los bobinados de la nuestra bobina arrojo lo siguiente:

Enrollamiento primario → 3.6 ohmios.

Enrollamiento secundario → 8.79 KOhmios.

Lo cual está bien considerando los valores teóricos del fabricante mencionados líneas arriba. Con estos resultados tendríamos la relación de transformación exacta de la bobina que sería de 49.4132 que nos ayudaran a tener una simulación más real de la etapa de potencia.

Una recomendación del fabricante es, que para mantener un óptimo desempeño en la bobina de encendido, se recomienda mantener su temperatura de trabajo alrededor de los 33°C, es por ello que se decide ar mar una caja rectangular con un ventilador por fuera a modo de implementar el enfriamiento recomendando. En la figura 6.2 se aprecia la implementación del cubículo de enfriamiento de la bobina de

encendido con los terminales extendido hacia afuera a través de terminales tipo banana.

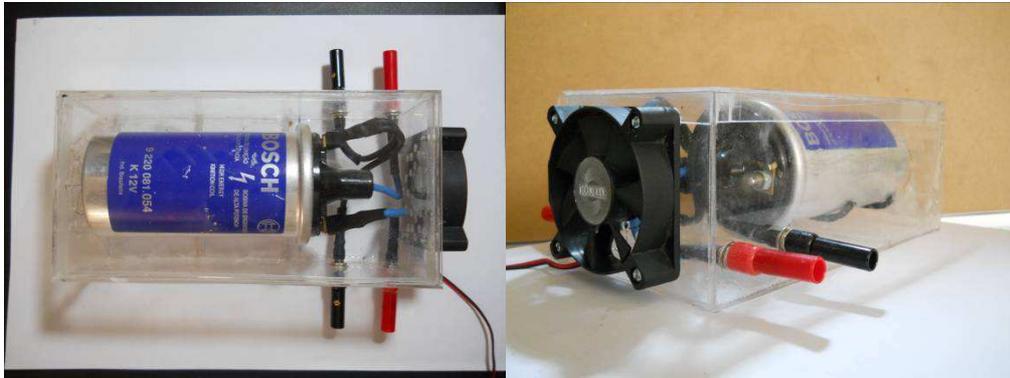


Figura 6.2 Cubículo de enfriamiento y adaptación de terminales en bobina de encendido

6.2 ELECTRODOS, TRANSPORTE Y CAMARA DE PRUEBA

Como se explico, para la implementación se busca tener una producción de ozono lo más uniforme posible por ello se trato de armar un arreglo de electrodos a modo de condensador cilíndrico con la única diferencia que en vez de tener como electrodo interior una barra conductora de cobre, tendríamos una malla interior en el tubo pírex implementado. La razón de esto es que se debe evitar mantener el espacio de generación de ozono caliente dado que provocaría la inestabilidad de las moléculas de ozono. Por ello el espacio dejado por la malla interior seria para el enfriamiento del ambiente y para direccionar el flujo hacia la cámara de prueba en donde se colocara el diente de prueba.

Los valores de capacitancia y resistencia que se buscan alcanzar para el condensador cilíndrico como se detallo en los capítulos 4 y 5 serán de 70pF y 10Mohmios respectivamente.

Según las formulas:

$$C / L = k / (2 \times K_e \times \ln (b/a)) \text{ y } R = (\rho / 2 \pi L) \times \ln (b/a)$$

Considerando la constante y resistividad dieléctricas del pírex, un radio interno (a) de 6.5 mm, un radio externo (b) de 8.5mm y una longitud de cilindro (L) de 6cm obtenemos un valor de capacitancia (C) de 69.6799779 pF y una resistencia asociada de 9.962292555 Mohmios.

El condensador cilíndrico implementado así como la cámara de generación de ozono se puede ver en la siguiente figura 6.3.

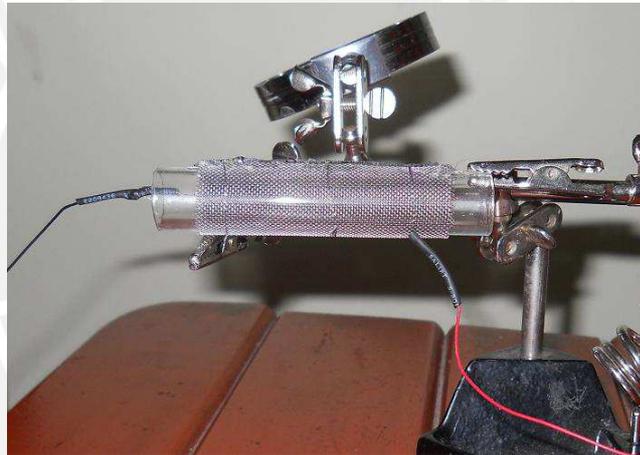


Figura 6.3 Arreglo de electrodos con geometría cilíndrica y cámara de generación de ozono

Con respecto al transporte de ozono se busco la simulación en una distancia corta, por ello la implementación se realizo mediante una manguerilla de 12 cm de largo con una prensa estopa en cada extremo para el acoplamiento hermético de la cámara de generación con la cámara de prueba en donde se coloca el diente a ser blanqueado (Figura 6.4).



Figura 6.4. Manguerilla implementada para simulación de transporte de ozono

La implementación de la cámara de prueba se hizo con acrílico, se trata de un cubo de 6.5 cm de arista (Figura 6.5). En esta cámara es donde se posicionara el diente de prueba a ser blanqueado.



Figura 6.5 Piezas en acrílico de la cámara de prueba

A su vez, aquí se adaptara el sensor de ozono implementando también la etapa de sensado de concentración de ozono, esto para tener la mayor exactitud posible en la realimentación del control.

Finalmente en la figura 6.6 se presenta la implementación del ensamblaje de estas tres partes previamente construidas, incluyendo el sensor y el ventilador que, como se explico, ayudara a la ventilación de la cámara de generación de ozono y direccionara el flujo hacia la cámara de pruebas.

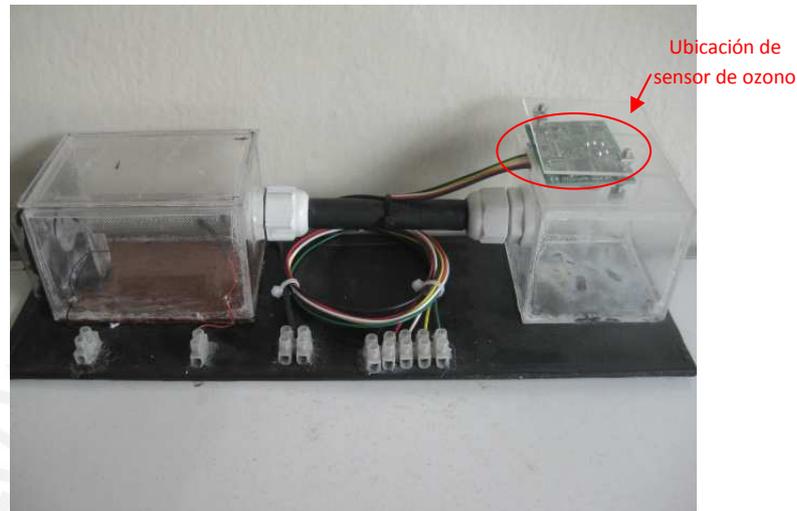


Figura 6.6. Implementación de electrodos, transporte y cámara de pruebas

6.3 IMPLEMENTACION DE ETAPA DE CONTROL Y POTENCIA

Se trata de implementar una tarjeta que reúna lo diseñado y simulado en los capítulos 4 y 5, las etapas de control y potencia.

Esta tarjeta incluirá las entradas lógicas desde el teclado, el valor analógico desde el sensor de ozono, las salidas de muestra hacia la pantalla LCD y la salida de control en frecuencia hacia el transistor excitador de la bobina de encendido. El esquemático y diseño en tarjeta general se presenta en la figura 6.7 y su correspondiente implementación en la figura 6.8.

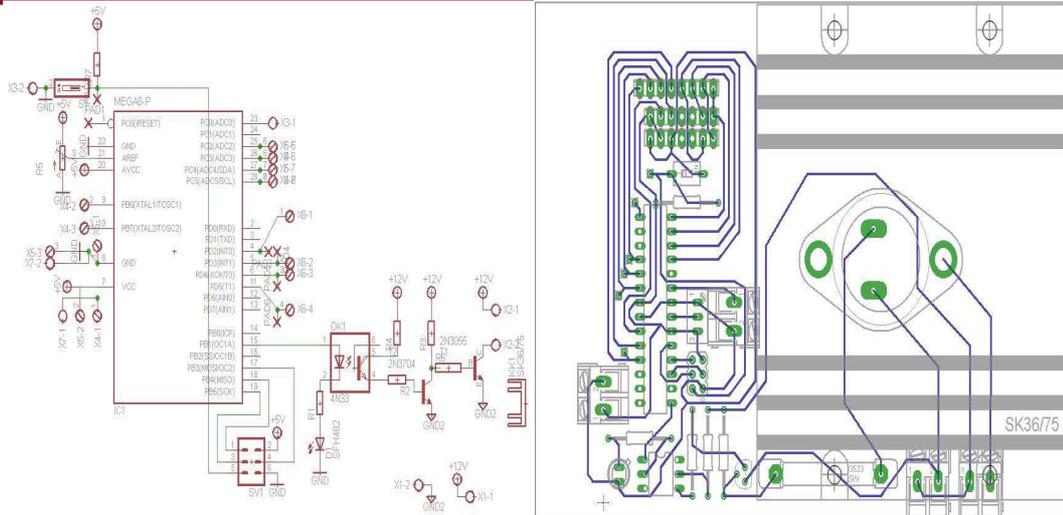


Figura 6.7. Esquemático y diseño de tarjeta de control y potencia



Figura 6.8 Implementación de tarjeta de control y potencia

6.4 EXPERIMENTACION

6.4.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

En este punto se precisan algunos detalles previos a la experimentación con el diente de prueba.

- En Odontología, se recurre a una guía de colores como punto de referencia para definir la tonalidad del diente a tratar, en base a esto se prevé cual sería el color final después del tratamiento y se le informa al cliente. Estas guías de colores estandarizan los colores más habituales de los dientes.

Para este experimento se utilizó la guía de colores Chromascop de la empresa Ivoclar-Vivadent (Figura 6.9).



Figura 6.9 Chromascop by Ivoclar Vivadent

- La parte dentaria objetivo donde se expondrá mayoritariamente el flujo de ozono corresponde al esmalte.
- El procedimiento se realizó en el laboratorio y bajo la supervisión de la Dra. Ana María Díaz Soriano, Cirujano Dentista del Instituto de Investigación de la UNMSM.

6.4.2 PROCESO Y RESULTADOS

Se limpia el diente de grasas e impurezas y se procede, con la ayuda de la guía de colores, a determinar el color previo de la pieza dentaria antes de su exposición al ozono (Figura 6.10a), Luego se coloca la pieza dentro de la cámara de prueba (Figura 6.11).

La exposición del diente al flujo de ozono a 0.05ppm se realizó por un tiempo de 30 minutos contabilizados a partir desde el instante en que la generación de ozono se establece en la concentración requerida.

Luego de los 30 minutos se procede a sacar el diente de la cámara de prueba a compararlo con la guía de colores para ver la tonalidad final. La diferencia es notable a primera vista (Figura 6.10b)

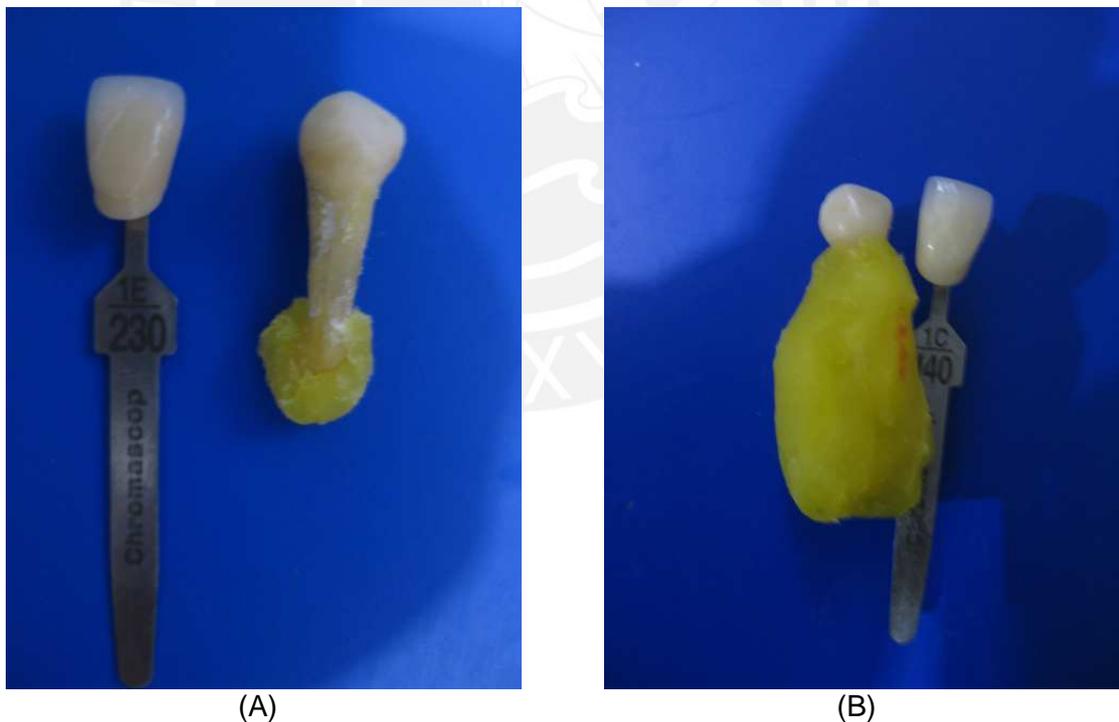


Figura 6.10 Tonalidad del diente. (A) previa exposición al ozono. (B) Después de 30 minutos de exposición a ozono.



Figura 6.11 Pieza dentaria en cámara de prueba ante exposición de ozono.

Se puede apreciar en la figura 6.12 el comparativo entre el antes y después según la guía de colores. Con una sola exposición de 30 minutos se pudo lograr aclarar la pieza dentaria desde el tono 230 hasta el tono 140 según la guía de colores Chromascope Ivoclar; es decir, de un tono inicial amarillento se logró tener al final de la experiencia un color blanco oscuro, lo que sugiere que a mayor cantidad de exposiciones del diente se podría tener una mayor oxidación. Con ello se prueba que si es posible tener un grado de blanqueamiento bajo la hipótesis planteada de concentración de 0.05ppm a 30 minutos de exposición.



Figura 6.12 Comparativo según guía de colores.

CONCLUSIONES

1. El método de descarga corona resulta ser un método seguro y eficiente de producción eficaz de ozono considerando que se utilizó aire como insumo material en vez de oxígeno puro.
2. Se ha verificado la propiedad de blanquear el esmalte de dientes extraídos (no vitales) ante una ola directa de ozono a concentración de 0.05ppm por un tiempo de exposición de 30 minutos. Se realizaron pruebas con al menos 4 dientes previamente hidratados con colores iniciales en el rango de tonalidad entre 220 a 310, los cuales significan dientes que han perdido su blancura, según la guía de colores referencial Chromascop usado por odontólogos; Luego de la exposición al ozono cambiaron su rango de tonalidad entre 130 a 210, lo que se considera como blanqueamientos buenos. La experiencia en el presente documento muestra la obtención de una tonalidad final 140 correspondiente a los tonos blancos, partiendo de una coloración 230 correspondiente a tonos amarillentos.
3. El uso de un micro controlador y su reloj interno de 1 Mhz brinda tiempos de respuesta del generador de onda en el orden de los milisegundos ante cambios externos, lo que permite controlar el nivel de concentración del ozono en tiempos muy breves y como consecuencia, su estabilización dentro de la cámara de prueba. Debido a la naturaleza del ozono y la sensibilidad en su producción, se debería tener la cámara de prueba cerrada, dado que en las pruebas se observó que si bien la respuesta del micro controlador es rápida, la estabilización demora unos segundos (7 segundos en el caso de la experiencia).
4. El equipo prototipo ha sido diseñado e implementado pensando también en un futuro uso comercial luego de cumplir con la normatividad correspondiente, para

ello se han considerado varios factores: construcción, mediante elementos que se encuentran en el medio local (excepto por el sensor de ozono); mantenimiento, mediante el ensamblado modular lo que facilita la detección de errores; finalmente el precio, factor determinante en nuestra realidad y mercado.

5. La generación de ozono por el método de descargas coronas se presenta como muy eficiente (considerando que se utilizó aire como materia prima, se incrementa potencialmente su eficiencia al usar oxígeno puro), poco contaminante (siempre que no se pasen los límites de seguridad establecidos) y económica en su producción (insumos ubicados en medio local) tal como se había investigado en la literatura revisada.



RECOMENDACIONES

1. Para que el Generador de ozono diseñado sea más robusto, habría que consultar a estomatólogos especializados en el tema acerca de los beneficios de usar el ozono frente a otros elementos más invasivos y contaminantes inclusive. Indicaciones como tiempos de tratamiento con el ozono clínico en el paciente y condiciones físicas del lugar ayudarían a una adecuada construcción del equipo.
2. Se plantea la posibilidad de implementar el generador de ozono diseñando una etapa final del proceso en donde, por medio de este, se aplique el ozono generado hacia la boca del paciente para el tratamiento, considerando recomendaciones que nos puedan brindar los estomatólogos.
3. Para futuras implementaciones, se busca cumplir con normas internacionales explicados en los primeros capítulos de la presente tesis.
4. Habiendo comprobado la posibilidad de blanqueamiento sobre dientes extraídos. Se recomienda, después de implementar el modulo con las normas internacionales correspondientes, realizar las pruebas sobre pacientes simulando intervenciones de blanqueamiento reales. Naturalmente estos procedimientos deberán realizarse bajo la supervisión de Estomatólogos especializados como el caso de la Dra. Ana María Díaz Soriano.

BIBLIOGRAFIA

- [1] GROSSMAN, LI.
1981 Practica endodóncica. 9na edición
Buenos aires: Mundi
- [2] FRAGOSO RIOS, Rodolfo et al.
1997 Efectividad del acido clorhídrico como blanqueador dental en piezas con fluorosis dental.
Revista ADM, 219-222.
- [3] INSTITUTO DR. E. LALINDE
Blanqueamiento Dental [en línea] Madrid [Consultado 2008/04/15]
<<http://www.drlalinde.com/odontologia/blanqueamiento.htm>>
- [4] DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION
2002 Mejor cuidado de la salud con dispositivos médicos de calidad: FDA a la cabeza en tecnología de Dispositivos Médicos.
Rockville. Maryland (E.E.U.U.): Publicación No. FSS 01-5
- [5] CARREÑO, Miguel A.
Web de información General de blanqueamiento dental [en línea] Barcelona [Consultado 2008/03/28]
<<http://blanquemientodental.com>>
- [6] RIVAS, Carolina
2006 Blanqueamiento interno. Fundamentos teóricos y prácticos
Argentina: Universidad Nacional La Plata (UNLP)
- [7] GALLEGO, Gabriel Jaime et al.
2007 Uso del ozono en diferentes campos de la odontología.
Colombia: Revista CES Odontología Vol.20 No2

- [8] ILZARBE, Luis María
2000 Nuevo método para blanqueamiento de dientes vitales mediante hiperoxidantes naturales.
Valencia: Revista Maxillaris N°25 [Consultado 2008/ 04/12]
<http://www.electrozono.com/articulos/blanqueamiento/art_blanq.htm>
- [9] DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION
2002 La Protección del ser Humano: El papel de la FDA en un sistema de seguridad.
Rockville. Maryland (E.E.U.U.): Publicación No. FSS 01-11
- [10] FOS GALVE, Pablo
2007 Introducción al blanqueamiento de dientes endodonciados.
Rev. Asoc Univ. Valenciana Blanq Dent
- [11] HOLMES, Julian
2007 The FDA & Ozone Treatment in the USA
- [12] SHEVTSOVA DE VARGAS, Galina
1992 Procesos Heterogéneos en la atmosfera terrestre y su implicancia en la destrucción de la capa de ozono
Revista de Química. Vol. VI. N°1
- [13] SALA REY, Rafael F. y SQUADRITO, Giuseppe L.
1992 El Ozono como oxidante de lípidos biológicos: Causas y efectos. Parte A: Química y generación.
Revista de Química. Vol. VI. N°1
- [14] HOLMES, Julian
2008 Ozone information for Clinicians and the General Public [en línea] [Consultado 2008/04/15]
<<http://www.the-o-zone.cc/HTMLOzoneF/index.html>>

- [15] DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION
2008 Warning Letter FLA-08-04. Notificación a Care Tech Industries Inc. Maitland. Florida (E.E.U.U.)
- [16] ARTEAGA, Catalina y ECHEVARRIA, Ignacia
2004 Generación de ozono en descargas tipo Barrera Santiago. Física Experimental Avanzada
- [17] YANUZZI, Hernán
2007 ABC del Ozono.
FG Ingeniería
- [18] CABRERA SILVA, Sergio
2005 Radiación Ultravioleta y salud Chile: Universitaria
- [19] LYNCH, Edward
2004 Ozone: The revolution in Dentistry Barcelona: Quintessence
- [20] STANLEY, Bruce
2004 Generación Electrolítica de ozono y su Aplicación en Sistemas de agua pura
Agua latinoamericana
- [21] HERREROS RODRIGUEZ, Juan Ramón
2005 Descarga de Arco
Departamento de Física. Universidad Carlos III de Madrid
- [22] ARIAS LOPEZ, Rafael et al.
Análisis del efecto erosivo de tres sistemas de blanqueamiento sobre el esmalte dental en un estudio in vitro.
- [23] AMENGUAL LORENZO, José et al.

Bases para el manejo clínico de un agente blanqueador fotoactivado mediante una lámpara de arco de plasma sobre dientes vitales Valencia. Clínica Odontológica Universidad de Valencia.

- [24] BOSCH Autopartes
Bobinas de Encendido. ¿Por qué usarlas?
- [25] Melgarejo Ponte, Oscar et al.
2008 Desarrollo de un sistema desinfectante y esterilizador aplicado a la producción de espárrago mediante el uso de Ozono.
PUCP. Electro Electrónica. Publicación No. 30
- [26] JAQUENOD, Guillermo y CHARRO, Rafael
Diseño de fuentes de alimentación por switching con conversión directa desde 110/220 VAC.
Departamento Técnico de ELKO/ARROW