



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E  
INDUSTRIAL**

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL EN PROCESOS DE  
AUTOMATIZACIÓN**

**Tema:**

---

**“CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR DE OZONO AUTOMATIZADO  
PARA LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E  
INDUSTRIAL”**

---

Proyecto de Trabajo de Graduación Modalidad: Proyecto de Investigación,  
presentado previo la obtención del título de Ingeniero Industrial en Procesos de  
Automatización.

**SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Sistemas de control automatizados e  
instrumentación virtual para procesos industriales de baja y alta potencia.

**AUTOR:** Samuel Esteban Llagua Paredes

**TUTOR:** Ing. César Aníbal Rosero Mantilla, Mg.

**AMBATO - ECUADOR**

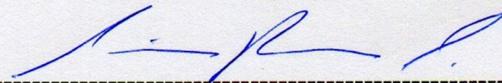
**Junio 2017**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de tutor del Trabajo de Investigación sobre el tema: “Construcción de un generador de ozono automatizado para la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial”, del señor Samuel Esteban Llagua Paredes, estudiante de la Carrera de Ingeniería Industrial en procesos de Automatización, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el numeral 7.2 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, junio 2017

EL TUTOR



---

Ing. César Aníbal Rosero Mantilla Mg.

## AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: “Construcción de un generador de ozono automatizado para la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial”, es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, junio 2017



---

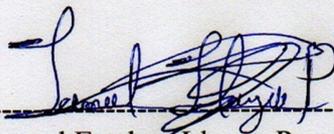
Samuel Esteban Llagua Paredes  
CC: 1804357596

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además autorizo su reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ambato, junio 2017



---

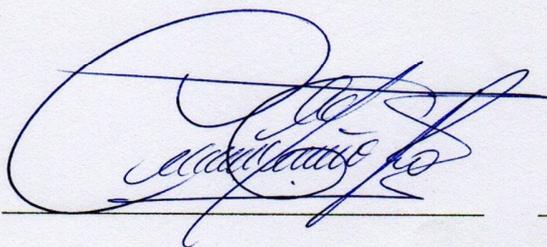
Samuel Esteban Llagua Paredes  
CC: 1804357596

## APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes, revisó y aprobó el Informe Final del Proyecto de Investigación titulado "CONSTRUCCION DE UN GENERADOR DE OZONO AUTOMATIZADO PARA LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL", presentado por el señor Samuel Esteban Llagua Paredes de acuerdo al numeral 9.1 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

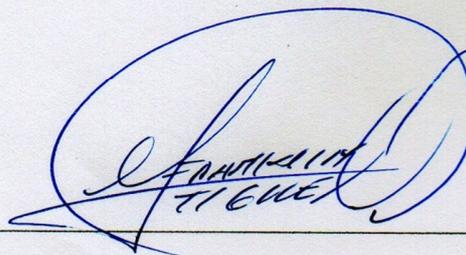
---

Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.  
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL



---

Ing. Christian José Mariño Rivera, Mg.  
DOCENTE CALIFICADOR



---

Ing. Franklin Geovanny Tigre Ortega, Mg.  
DOCENTE CALIFICADOR

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo de investigación va dedicado principalmente a Dios que sin Él pues no estaría donde estoy. También a mis padres Néstor Llagua y Rocío Paredes incluido mi hermano profesional Joel Llagua porque a pesar de las diferentes pruebas de la vida ellos han sido pilares para seguir adelante. Se debe continuar siempre confiando en que todo tiene solución con Dios a nuestro lado.*

*A mis abuelos Néstor y América, Gustavo y Carmen por estar presente siempre en sus oraciones y a mi familia Llagua Gallardo, Llagua Carrasco, Guato Llagua, Llagua Ulloa, Llagua Poaquiza, Paredes Paredes y Caiza Paredes porque cada uno ha brindado su granito de arena en forma de apoyo, en especial esa prima que me alegra el día con su presencia y sus ocurrencias “Peluche”.*

*A todos los estudiantes incentivándoles que no se limiten a hacer un proyecto más, sino aprendan a superarse porque todos somos capaces.*

**Samuel Esteban Llagua Paredes**

## **AGRADECIMIENTO**

*Primeramente a Dios ante todas las cosas, por haberme dado la sabiduría para concluir con el proyecto.*

*A mis padres Néstor Llagua y Rocío Paredes y hermano Joel Llagua, que han sabido darme su apoyo incondicional, cariño, consejo y también comprenderme a pesar de mi carácter.*

*A mi Familia de sangre por ayudarme de una u otra manera en diferentes aspectos manifestando el gran aprecio que me tienen y a mi Familia en Cristo por sus intercesiones, palabras de ánimo y acciones. Cuando todos pueden ayudarte solo pocos lo hacen. (TR.SV.)Ch, MA.*

*Al Ingeniero César Rosero por plantar esa gran idea para comenzar con el proyecto y ayudarme en todo lo que ha estado a su alcance.*

*A los docentes que han inculcado esa prestigiosa enseñanza desde el primer día que ingresé a la Facultad, los recuerdo muy bien por eso MUCHAS GRACIAS*

**Samuel Esteban Llagua Paredes**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	i
AUTORÍA .....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iii
APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN .....	xx
ABSTRACT .....	xxi
INTRODUCCIÓN.....	xxii
CAPÍTULO I.....	1
EL PROBLEMA .....	1
1.1 Tema .....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.3 Delimitación .....	2
1.4 Justificación.....	3
1.5 Objetivos.....	4
1.5.1 Objetivo general .....	4
1.5.2 Objetivos específicos.....	4
CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Antecedentes investigativos .....	6
2.2 Fundamentación teórica.....	7
2.2.1 El ozono .....	7
2.2.2 Organización mundial de la salud referente al ozono .....	11
2.2.3 Generador de ozono.....	12

2.2.4	Partes que conforman un generador de ozono .....	14
2.2.5	Tiempo de funcionamiento del generador de ozono .....	16
2.2.6	Fórmula para determinar la salida de un generador de ozono .....	16
2.3	Propuesta de solución .....	17
CAPÍTULO III .....		18
METODOLOGÍA .....		18
3.1	Modalidad básica de la investigación .....	18
3.2	Recolección de información .....	19
3.3	Procesamiento y análisis de datos .....	19
3.4	Desarrollo del proyecto .....	20
CAPÍTULO IV .....		21
DESARROLLO DE LA PROPUESTA .....		21
4.1	Evaluación del lugar específico para la instalación del generador .....	21
4.2	Parámetros de diseño del generador de ozono .....	27
4.2.1	Referencia teórica .....	27
4.2.2	Cantidad de ozono en un volumen conocido .....	38
4.2.3	Material dieléctrico .....	39
4.2.4	Celda generadora de ozono .....	41
4.2.5	Gas de alimentación .....	42
4.2.6	Fuente de Alto voltaje .....	44
4.2.7	Automatización por ciclos de tiempo .....	45
4.2.8	Caja contenedora del generador de ozono .....	47
4.3	Diseño del generador de ozono con respecto a parámetros establecidos ....	49
4.4	Obtención de materiales en base a parámetros de diseño .....	50
4.5	Construcción del generador de ozono .....	52
4.5.1	Elaboración de la celda generadora de ozono .....	52
4.5.2	Instalación del gas de alimentación .....	61
4.5.3	Selección de fuente de alto voltaje .....	62
4.5.4	Automatización del generador de ozono .....	89
4.5.5	Caja contenedora del generador de ozono .....	101

4.5.6	Ensamble del generador de ozono.....	102
4.6	Pruebas y resultados.....	109
4.7	Instalación del generador de ozono.....	119
CAPÍTULO V.....		120
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		120
5.1	Conclusiones.....	120
5.2	Recomendaciones.....	122
BIBLIOGRAFÍA.....		123
ANEXOS.....		130
ANEXO 1. Medidas con el calibrador pie de rey y diseño en Autocad de la celda generadora de ozono.....		131
ANEXO 2. Pruebas y valores de la fuente de alto voltaje.....		135
ANEXO 3. Construcción del circuito de control con el PIC 16F628A.....		163
ANEXO 4. Resultados de medición de ozono emitidos por AFH Services CIA. LTDA.....		168
ANEXO 5. Manual de uso y mantenimiento del generador de ozono automatizado.....		174

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis del volumen y tipo de ventilación en algunas zonas de la Facultad	22
Tabla 2. Evaluación del lugar de instalación del generador de ozono .....	25
Tabla 3. Clasificación de materiales para trabajar con ozono [10] .....	28
Tabla 4. Comparación de 3 tipos de motores de aire de pecera .....	43
Tabla 5. Pasos para el funcionamiento de los transformadores.....	45
Tabla 6. Características y precio de 3 dispositivos de automatización.....	46
Tabla 7. Cuadro de comparación en la automatización por ciclos de tiempo .....	47
Tabla 8. Materiales para la construcción del generador de ozono .....	51
Tabla 9. Relación de terminales de cada devanado en un Flyback 6174V-6006H.....	64
Tabla 10. Valor de resistencia en los terminales del Flyback 6174V-6006H utilizando el multímetro TRUPER.....	64
Tabla 11. Valor de resistencia en los terminales del Flyback BSC25-5519 utilizando el multímetro TRUPER.....	67
Tabla 12. Valor de resistencia en 6 terminales del Flyback 6174V-6006H y el Flyback BSC25-5519 utilizando el multímetro TRUPER.....	68
Tabla 13. Valores de alto voltaje con 2 transformadores Flyback y 4 balastos electrónicos utilizando el multímetro TRUPER y la sonda negativa.....	87
Tabla 14. Distribución de los puertos del PIC 16F628A [54].....	90
Tabla 15. Tipos de memoria del PIC 16F628A [56].....	91
Tabla 16. Descripción de las terminales del visualizador LCD [57] .....	93
Tabla 17. Valores de concentración pura de ozono durante 25 minutos .....	109
Tabla 18. Valores concentración de ozono en un ambiente cerrado durante 25 minutos .....	110
Tabla 19. Valores de concentración pura de ozono durante 5 minutos .....	112
Tabla 20. Resumen de los cálculos correspondiente a las 3 pruebas del generador de ozono automatizado.....	113
Tabla 21. Cálculo de la salida de ozono en $\text{g/m}^3 \cdot \text{l/min}$ .....	117
Tabla 22. Cálculo de la salida de ozono en $\text{g/h}$ .....	118
Tabla 23. Características del generador de ozono automatizado .....	176

Tabla 24. Instrucción de seguridad en el peligro de electrocución .....	176
Tabla 25. Instrucción de seguridad en el peligro de inhalación .....	177
Tabla 26. Instrucción de seguridad en el peligro de superficies calientes del generador .....	177
Tabla 27. Instrucción de seguridad en el peligro de operación insegura del generador .....	178
Tabla 28. Evaluación y posible solución ante problemas que se presenten en el generador.....	180

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Organismos que ataca el ozono .....	10
Figura 2. Relación Ozono-Oxígeno [18] .....	10
Figura 3. Producción de Ozono [22].....	13
Figura 4. Esquema de funcionamiento del generador de ozono por descarga eléctrica [23].....	13
Figura 5. Diagrama general de las partes de un generador de ozono [9].....	14
Figura 6. Celda generadora de ozono por descargas eléctricas [10].....	14
Figura 7. Esquemática de los trabajos internos de un generador de ozono de descarga en corona [24].....	15
Figura 8. Celda generadora de ozono [25].....	16
Figura 9. Dimensiones del lugar de referencia.....	26
Figura 10. Espacio de descarga en la celda generadora de ozono [33].....	29
Figura 11. Proceso de transformación del ozono en el interior de la celda [33].....	30
Figura 12. Estructura interna de un transformador [40] .....	32
Figura 13. Estructura interna de un transformador elevador [40] .....	32
Figura 14. Modelo externo de un transformador flyback .....	33
Figura 15. Diagrama del circuito de Mazzilli [42].....	34
Figura 16. Etapas del balastro electrónico [43] .....	35
Figura 17. Estructura física del arduino [45].....	36
Figura 18. Microcontrolador PIC16F887 [46] .....	37
Figura 19. Modelo de un PLC Siemens [47].....	37
Figura 20. Tubo de vidrio PIREX .....	40
Figura 21. Dimensión del vidrio circular de una celda generadora usada .....	40
Figura 22. Resistencia en espiral .....	41
Figura 23. Malla de aluminio .....	41
Figura 24. Tubo PVC roscado .....	42
Figura 25. Bomba de aire a utilizar como gas de alimentación.....	44
Figura 26. Manguera de poliuretano .....	44

Figura 27. Diagrama de flujo del diseño del generador de ozono con parámetros establecidos.....	50
Figura 28. Modelos de corte de vidrio circular .....	52
Figura 29. Elementos para el corte del tubo de vidrio .....	53
Figura 30. Funcionamiento irregular de la resistencia en espiral 1000w .....	54
Figura 31. Marca producida por el calor de la resistencia en el tubo de ensayo .....	54
Figura 32. Fisuras en el tubo de ensayo correspondiente a la 1ra prueba de corte .....	55
Figura 33. Fisuras en el tubo de ensayo correspondiente a la 2da prueba de corte.....	55
Figura 34. Giro del tubo de ensayo en la 3ra prueba de corte .....	56
Figura 35. Corte deseado del material dieléctrico .....	56
Figura 36. Lijado del tubo de vidrio previamente cortado .....	56
Figura 37. Movimientos realizados en el pulido del material dieléctrico.....	57
Figura 38. Tubo de vidrio revestido con malla de aluminio interna y externamente..	57
Figura 39. Celda generadora de ozono con alambres de cobre .....	58
Figura 40. Dimensiones del tubo PVC roscado con la celda generadora de ozono (Vista superior_AutoCAD 2013) .....	59
Figura 41. Dimensiones para orificios del tapón del tubo PVC roscado. (a) Vista superior_AutoCAD 2013, (b) Vista inferior_AutoCAD 2013 .....	60
Figura 42. Orificios de los electrodos y la manguera en un tapón del tubo PVC roscado .....	60
Figura 43. Celda generadora de ozono elaborada .....	61
Figura 44. Estructura interna del Flyback 6174V-6006H [51].....	63
Figura 45. Identificación de terminales en el Flyback 6174V-6006H.....	63
Figura 46. Valor de resistencia en el multímetro TRUPER en los pines 1 y 3 del Flyback 6174V-6006H.....	65
Figura 47. Identificación de terminales en el Flyback BSC25-5519 .....	67
Figura 48. Materiales para la obtención de alto voltaje como: a) Cable eléctrico, b) foco ahorrador, c) cables con lagartos, d) transformador flyback 6174V-6006H.....	70
Figura 49. Foco ahorrador de potencia = 25 W .....	71
Figura 50. Corte del foco de 25 W entre la base y la posición de filamentos .....	72

Figura 51. Corte de alambres unido a la posición de filamentos en el foco de 25 W.	72
Figura 52. Corte de cables enlazados al casquillo de rosca.....	72
Figura 53. Pin A1 y A3 enlazados al capacitor de poliéster.....	73
Figura 54. Pin A2 y A4 aptos para conexión.....	73
Figura 55. Suministro de 120 V de la red eléctrica al balastro electrónico .....	74
Figura 56. Alto voltaje mediante la relación del circuito electrónico de 25 W y el transformador flyback.....	74
Figura 57. Circuito electrónico del foco ahorrador de 62 W: a) 4 capacitores p., b) frente, c) reverso.....	76
Figura 58. Circuito electrónico del foco ahorrador de 45 W: a) 5 capacitores p., b) frente, c) reverso.....	77
Figura 59. Circuito electrónico del foco ahorrador de 25 W: a) 1 capacitor p., b) frente, c) reverso.....	78
Figura 60. Balastro electrónico de 20 W: a) modelo físico, b) 3 capacitores p., c) frente, d) reverso.....	79
Figura 61. Esquema gráfico del divisor de tensión entre el voltaje del flyback y el multímetro.....	81
Figura 62. Valores de voltaje y resistencia en el multímetro TRUPER: a) resistencia de 10 kΩ, b) voltaje de pila tipo D, c) voltaje de pila tipo D con resistencia de 10 kΩ .....	84
Figura 63. Valor de alto voltaje registrado en el multímetro digital con la sonda negativa elaborada.....	86
Figura 64. Transformador de alto voltaje .....	88
Figura 65. Arco eléctrico del transformador de alto voltaje.....	89
Figura 66. Incomprensibles valores de alto voltaje registrado en el multímetro digital .....	89
Figura 67. Diagrama de pines del PIC16F628A [55] .....	90
Figura 68. Diagrama de proceso del temporizador en descenso .....	92
Figura 69. Terminales de conexión del visualizador LCD [57].....	93
Figura 70. Configuración de la LCD display en el programa MicroCode Studio.....	95

Figura 71. Declaración de variables en el programa MicroCode Studio .....	96
Figura 72. Etiquetas del programa principal en MicroCode Studio .....	97
Figura 73. Configuración LCD y declaración de variables en MicroCode Studio .....	97
Figura 74. 1 etiqueta “init” y 1 etiqueta “inicio” del programa principal en MicroCode Studio .....	98
Figura 75. 1 etiqueta “cuenta” del programa principal en MicroCode Studio .....	98
Figura 76. Conexión del PIC 16F628A con la LCD en el programa PROTEUS .....	99
Figura 77. Conexión de componentes electrónicos para el circuito de control en el programa PROTEUS.....	100
Figura 78. Circuito de control.....	100
Figura 79. Circuito de control encendido .....	101
Figura 80. Dimensión de la caja contenedora del generador de ozono.....	102
Figura 81. Esquema gráfico del circuito de potencia y el circuito de control .....	103
Figura 82. Conector para fuente de energía, fusible e interruptor colocados en la caja del generador .....	104
Figura 83. Circuito de control colocado en la caja del generador.....	104
Figura 84. Aberturas en la caja del generador para led y pulsadores.....	105
Figura 85. Motor de aire con cables en la caja del generador .....	105
Figura 86. Transformador de alto voltaje y celda generadora de ozono en la caja del generador.....	106
Figura 87. Fuente de voltaje regulable unido a los cables de energía eléctrica.....	106
Figura 88. Conexión del transformador de alto voltaje con la celda generadora de ozono .....	107
Figura 89. Unión de los terminales del transformador con el motor .....	107
Figura 90. Un terminal del led, bornera 1 y fuente de voltaje regulable conectados: a) interruptor, b) conector .....	108
Figura 91. Componentes del generador de ozono ensamblados en una caja apropiada: a) parte externa y b) parte interna.....	108
Figura 92. Comparación de valores calculados y valores reales referente a la concentración de ozono en la 1ra prueba de medición .....	115

Figura 93. Comparación de valores calculados y valores reales referente a la concentración de ozono en la 2da prueba de medición.....	116
Figura 94. Comparación de valores calculados y valores reales referente a la concentración de ozono en la 3ra prueba de medición .....	116
Figura 95. Dimensión del diámetro externo del material dieléctrico (calibrador de Vernier y AutoCAD 2013) .....	132
Figura 96. Dimensión del diámetro interno del material dieléctrico (calibrador de Vernier y AutoCAD 2013) .....	132
Figura 97. Dimensión del diámetro externo de un tapón del tubo PVC roscado_vista inferior (calibrador de Vernier y AutoCAD 2013).....	133
Figura 98. Dimensión del diámetro interno de un tapón del tubo PVC roscado_vista inferior (calibrador de Vernier y AutoCAD 2013).....	133
Figura 99. Dimensión del electrodo externo con el tubo PVC (calibrador de Vernier y AutoCAD 2013) .....	134
Figura 100. Dimensión del electrodo interno con el tubo PVC (calibrador de Vernier y AutoCAD 2013).....	134
Figura 101. No registra valor de resistencia en el multímetro TRUPER entre Col y GND del Flyback 6174V-6006H .....	136
Figura 102. No registra valor de resistencia en el multímetro TRUPER entre 180 V y GND del Flyback 6174V-6006H .....	136
Figura 103. No registra valor de resistencia en el multímetro TRUPER B+ y GND del Flyback 6174V-6006H.....	136
Figura 104. No registra valor de resistencia en el multímetro TRUPER entre Col y B+ del Flyback BSC25-5519.....	137
Figura 105. No registra valor de resistencia en el multímetro TRUPER entre B+ y GND del Flyback BSC25-5519.....	137
Figura 106. Valor de resistencia en el multímetro TRUPER en los pines 1 y 3 del Flyback 6174V-6006H.....	137
Figura 107. Valor de resistencia en el multímetro TRUPER en los pines 2 y 3 del Flyback 6174V-6006H.....	137

Figura 108. Valor de resistencia en el multímetro TRUPER en los pines 1 y 2 del Flyback 6174V-6006H.....	138
Figura 109. Valor de resistencia en el multímetro TRUPER en los pines 6 y 9 del Flyback 6174V-6006H.....	138
Figura 110. Valor de resistencia en el multímetro TRUPER en los pines 4 y 6 del Flyback 6174V-6006H.....	138
Figura 111. Valor de resistencia en el multímetro TRUPER en los pines 4 y 9 del Flyback 6174V-6006H.....	138
Figura 112. Valor de resistencia en el multímetro TRUPER en los pines 1 y 5 del Flyback BSC25-5519.....	139
Figura 113. Valor de resistencia en el multímetro TRUPER en los pines 6 y 9 del Flyback BSC25-5519.....	139
Figura 114. Valor de resistencia en el multímetro TRUPER en los pines 6 y 7 del Flyback BSC25-5519.....	139
Figura 115. Valor de resistencia en el multímetro TRUPER en los pines 7 y 9 del Flyback BSC25-5519.....	139
Figura 116. Combinación del pin 1 y 2 del circuito electrónico de 62 W.....	140
Figura 117. Combinación del pin 1 y 3 del circuito electrónico de 62 W.....	140
Figura 118. Combinación del pin 1 y 4 del circuito electrónico de 62 W.....	141
Figura 119. Combinación del pin 2 y 3 del circuito electrónico de 62 W.....	141
Figura 120. Combinación del pin 2 y 4 del circuito electrónico de 62 W.....	142
Figura 121. Combinación del pin 3 y 4 del circuito electrónico de 62 W.....	142
Figura 122. Combinación del pin 1 y 2 del circuito electrónico de 45 W.....	143
Figura 123. Combinación del pin 1 y 3 del circuito electrónico de 45 W.....	143
Figura 124. Combinación del pin 1 y 4 del circuito electrónico de 45 W.....	144
Figura 125. Combinación del pin 2 y 3 del circuito electrónico de 45 W.....	144
Figura 126. Combinación del pin 2 y 4 del circuito electrónico de 45 W.....	145
Figura 127. Combinación del pin 3 y 4 del circuito electrónico de 45 W.....	145
Figura 128. Combinación del pin 1 y 2 del circuito electrónico de 25 W.....	146
Figura 129. Combinación del pin 1 y 3 del circuito electrónico de 25 W.....	146

Figura 130. Combinación del pin 1 y 4 del circuito electrónico de 25 W .....	147
Figura 131. Combinación del pin 2 y 3 del circuito electrónico de 25 W .....	147
Figura 132. Combinación del pin 2 y 4 del circuito electrónico de 25 W .....	148
Figura 133. Alto Voltaje del transformador Flyback .....	148
Figura 134. Combinación del pin 3 y 4 del circuito electrónico de 25 W .....	149
Figura 135. Combinación del terminal 1 y 2 del balastro electrónico de 20 W .....	149
Figura 136. Combinación del terminal 1 y 3 del balastro electrónico de 20 W .....	150
Figura 137. Combinación del terminal 1 y 4 del balastro electrónico de 20 W .....	150
Figura 138. Combinación del terminal 2 y 3 del balastro electrónico de 20 W .....	151
Figura 139. Arco eléctrico producido en el transformador flyback .....	151
Figura 140. Combinación del terminal 2 y 4 del balastro electrónico de 20 W .....	152
Figura 141. Combinación del terminal 3 y 4 del balastro electrónico de 20 W .....	152
Figura 142. Unión de 9 resistencias de 1MΩ en serie con 2 terminales independientes .....	153
Figura 143. Unión de resistencias envueltas con cinta teflón.....	153
Figura 144. Resistencias soldadas con cinta teflón dentro del Thermofit .....	154
Figura 145. Thermofit contraído a alta temperatura .....	154
Figura 146. Unión de resistencias con thermofit añadido a la punta negativa del multímetro digital .....	154
Figura 147. 2 Trozos pequeños de thermofit en cada terminal y la medida que debe tener el thermofit más grande .....	155
Figura 148. Valor que registra el multímetro digital TRUPER con 2 puntas de medición normales en una pila tipo D.....	156
Figura 149. Valor que registra el multímetro digital TRUPER con 1 punta de medición normal (positiva) y otra punta de medición elaborada (negativa) en una pila tipo D.....	156
Figura 150. Valor de alto voltaje entre el flyback 6174V-6006H y el balastro electrónico de un foco ahorrador de 25 W.....	157
Figura 151. Valor de alto voltaje entre el flyback 6174V-6006H y el balastro electrónico de un foco ahorrador de 15 W: a) 396VDC, b) 408VDC, c) 260VDC ..	158

Figura 152. Valor de alto voltaje entre el flyback 6174V-6006H y el balastro electrónico de un tubo fluorescente de 40 W.....	159
Figura 153. Valor de alto voltaje entre el flyback 6174V-6006H y el balastro electrónico de un tubo fluorescente de 20 W.....	159
Figura 154. Valor de alto voltaje entre el flyback BSC25-5519 y el balastro electrónico de un foco ahorrador de 25 W.....	160
Figura 155. Valor de alto voltaje entre el flyback BSC25-5519 y el balastro electrónico de un foco ahorrador de 15 W: a) 388 V DC, b) 401 V DC, c) 291 V DC .....	161
Figura 156. Valor de alto voltaje entre el flyback BSC25-5519 y el balastro electrónico de un tubo fluorescente de 40 W.....	162
Figura 157. Valor de alto voltaje entre el flyback BSC25-5519 y el balastro electrónico de un tubo fluorescente de 20 W.....	162
Figura 158. Baquelita cortada y lijada .....	164
Figura 159. Planchado del circuito electrónico con la baquelita.....	164
Figura 160. Circuito transferido a la baquelita.....	165
Figura 161. Baquelita en ácido férrico.....	165
Figura 162. Baquelita después del proceso de ácido férrico .....	166
Figura 163. Perforaciones con taladro en baquelita .....	166
Figura 164. Componentes electrónicos unidos a la baquelita .....	167
Figura 165. Estructura física del circuito de control .....	167
Figura 166. Partes del generador de ozono automatizado .....	178

## RESUMEN

La construcción del presente trabajo está encaminado a solucionar problemas de mal olor en un lugar específico dentro de la Facultad, ya que al no contar con alguna ventilación apropiada ante la cantidad excesiva de personas que ocupan las instalaciones, la purificación del aire se ve afectada; además se pretende conocer cada uno de los componentes que integran un ozonizador para futuras fabricaciones.

El proyecto de investigación empieza con la determinación del lugar de instalación del equipo de ozono mediante el registro de algunas condiciones como conocer el tipo de ventilación, volumen y número de personas que ocupan esos lugares. Luego se establecen parámetros de diseño en donde se detalla el límite de concentración de la OMS, fórmulas de conversión de valores y características de los componentes internos del generador en material, dimensión y precio.

Después se desarrolla un flujograma de diseño para explicar los pasos a efectuar en la construcción del equipo, donde la celda generadora de ozono que consta de un tubo de vidrio y 2 electrodos de aluminio es la primera en ser elaborada. A esta celda se lo introduce en un tubo PVC roscado de 1 ¼ de pulgada y en cada tapa del tubo PVC se realiza unos agujeros en el que se colocan dos mangueras, el uno es para aire y el otro para salida de ozono. Con de una serie de cálculos, obtención de arco eléctrico y registros de valores, se escoge como fuente de alto voltaje a un transformador elevador que en conjunto con la celda y el motor de aire se obtiene ozono.

Para el temporizador se elabora un circuito de control con un PIC 16F628A, permitiendo al ozonizador funcionar en un rango de 5 a 25 minutos. Seguidamente se ubica todos los componentes internos del generador en una caja contenedora basado en un esquema gráfico de circuito de potencia y circuito de control.

Con un equipo analizador de ozono denominado thermo 49i propio de la empresa AFH Services, se conoce la concentración que emite el ozonizador construido durante 3 pruebas en función del tiempo, certificando que el proyecto presenta valores de ppm y  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  dentro del límite establecido en la OMS.

## ABSTRACT

The construction of the present work is aimed at solving problems of bad smell in a specific place within the Faculty, since without proper ventilation due to the excessive amount of people occupying the facilities, the purification of the air is affected; In addition it is tried to know each one of the components that integrate an ozonizador for future fabrications

The research project begins with the determination of the place of installation of the ozone equipment by recording some conditions such as knowing the type of ventilation, volume and number of people occupying these places. Then, design parameters are set out in which the OMS concentration limit, values conversion formulas and characteristics of the generator's internal components in material, dimension and price are detailed.

Afterwards, a design flowchart is developed to explain the steps to be taken in the construction of the equipment, where the ozone cell consisting of a glass tube and 2 aluminum electrodes is the first to be elaborated. This cell is inserted into a 1¼ inch PVC pipe and in each PVC hose cover holes are made in which two hoses are placed, the one is for air and the other for ozone output. With a series of calculations, obtaining of electric arc and registers of values, it is chosen like source of high voltage to an elevating transformer that in conjunction with the cell and the motor of air obtains ozone.

For the timer a control circuit is made with a PIC 16F628A, allowing the ozonator to operate in a range of 5 to 25 minutes. Then all the internal components of the generator are located in a container box based on a graphical diagram of power circuit and control circuit.

With an ozone analyzer equipment called thermo 49i own to the company AFH Services, the concentration of the ozonator produced during 3 tests is known as a function of time, certifying that the project has values of ppm and  $ug/m^3$  inside of the limit established in OMS.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo del presente trabajo es un proyecto original e innovador, que parte de un proceso ordenado en la investigación de obtener el gas ozono de manera artificial para purificación de aire y en las concentraciones apropiadas, emitidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) el cual debe ser menor a  $100 \text{ ug}/\text{m}^3$ ; busca resolver problemas de mal olor en un lugar con insuficiente ventilación y que es ocupado por varias personas, destruyendo a virus y bacterias que los provocan.

El contenido del proyecto de investigación se detalla a continuación:

En el Capítulo I se define el planteamiento del problema, manifestando que existe un gas denominado ozono que puede purificar aire y agua en la dosis correcta a través de un generador, pero su adquisición, instalación y mantenimiento conlleva a gastos, por eso la necesidad de construir un ozonizador donde personalmente se conozca su funcionamiento interno y cuando exista posibles fallas la solución sea inmediata; además se muestra la delimitación, justificación y objetivos planteados.

En el Capítulo II se describe los antecedentes investigativos y fundamentación teórica con respecto a la construcción y parámetros de un generador de ozono para luego plantear la propuesta de solución.

En el Capítulo III se detalla la modalidad de investigación, recolección de información, procesamiento y análisis de datos con el respectivo desarrollo del proyecto enfocado en la fabricación y automatización del equipo de ozono.

En el Capítulo IV se explica el desarrollo de la propuesta, en el cual se evalúa el lugar de instalación del generador por medio de condiciones, luego se hace un análisis de los parámetros de diseño para después empezar con la construcción y en definitiva realizar pruebas del ozonizador en función del tiempo en la empresa AFH Services.

Finalmente en el Capítulo V se presentan las conclusiones y recomendaciones de todo el trabajo de investigación.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1 Tema**

Construcción de un generador de ozono automatizado para la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial

### **1.2 Planteamiento del problema**

Un generador de ozono es un mecanismo encargado de esparcir en los ambientes una cantidad controlada de la molécula triatómica Ozono, compuesta por tres átomos de oxígeno siendo potencialmente desodorante, desinfectante y purificante de todo aquello que entra en contacto con ella [1].

Ecuador cuenta con empresas que se dedican a la fabricación de generadores de ozono industriales, producto que se lo puede emplear para eliminar virus y bacterias del aire [2]. Sin embargo la falta de conocimiento con respecto a sus diferentes beneficios, como eliminación de malos olores y purificación del agua, acompañados de su alto costo, hacen que dichos generadores no sean muy utilizados en instituciones y establecimientos ya sea para servicios públicos o universidades.

Los diferentes costos en el mercado permiten al usuario comprar un generador de ozono más económico, sin considerar características relevantes que son propias del equipo, como la cantidad de gas que sale de dicho generador en gramos por hora, gramos por metro cúbico, la dimensión del lugar de ubicación y el tiempo de

funcionamiento del equipo. La falta de atención en estos aspectos es perjudicial, ya que el exceso de ozono en el aire produce efectos adversos de consideración en la salud humana. Puede causar problemas respiratorios, reducir la función pulmonar y originar enfermedades pulmonares [3].

El diseño de un equipo que contenga una salida de ozono, dentro del límite permitido en la Organización Mundial de la Salud, tiempo de funcionamiento, además de instalación en el lugar apropiado, tiene precios excesivos, debido a los diferentes elementos físicos que posee en su estructura, los cuales deben ser ensamblados de manera adecuada, para que no exista exceso de ozono y cumpla con el propósito de purificar el ambiente.

La Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, no posee un generador de ozono como purificador de aire, lo cual se puede solucionar fácilmente adquiriéndolo en el mercado más económico a un precio conveniente [4], pero la cantidad de ozono para un volumen determinado no está regulado en este tipo de generadores, poniendo en riesgo al personal que labora en la facultad, ya que estos equipos no están diseñados para un lugar específico.

Además el mantenimiento de los generadores de ozono, representa una dificultad adicional, porque solamente el personal que tenga conocimiento del producto ofrecido, logrará dar solución exacta a alguna irregularidad del equipo de ozono, debido a que la producción de este compuesto en todos los generadores no son los mismos [5].

### **1.3 Delimitación**

#### **1.3.1 Delimitación de contenidos**

- **Área académica:** Electrónica y Automatización
- **Línea de investigación:** Automatización
- **Sublínea de Investigación:** Sistemas de control automatizados e instrumentación virtual para procesos industriales de baja y alta potencia.

**Delimitación Espacial:** La presente investigación se realizará en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, ubicada en la provincia de Tungurahua, cantón Ambato, Av. Los Chasquis y Río Payamino.

**Delimitación Temporal:** La presente investigación se desarrollará en los seis meses siguientes a la aprobación del H. Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

#### **1.4 Justificación**

La investigación tiene interés en descubrir cuáles son los elementos y componentes físicos que integran un generador de ozono, de modo que el diseño y construcción de dicho equipo para la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, sea el más apropiado, coherente con el lugar donde se colocará el generador; además que sea conveniente en el aspecto económico, reflejado en la disminución de costos.

La importancia de este proyecto radica en que un punto específico de la Facultad, mediante la implementación de un generador de ozono automatizado logra eliminar automáticamente los malos olores para purificar el ambiente, en el cual se incluyen materiales y elementos que sean posibles de conseguir, después se selecciona los más apropiados y se empieza con la fabricación del productor de ozono.

Los ambientadores pueden tapar un olor desagradable, pero solo momentáneamente, mientras que el ozono tiene poder para acabar con agentes contaminantes, casi imposibles de eliminar con productos tradicionales, puesto que alcanzan lugares de difícil acceso, por lo que la solución más práctica es la higienización de lugares con ozono [6].

Los beneficiarios directos al construir un generador de ozono para la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, es el área administrativa, en el cual las autoridades de la Facultad, al adquirir un generador, no tienen que hacer trámites ni depósitos excesivos para traerlo desde otra provincia, evitando un coste adicional

por instalación y mantenimiento; también el personal de aseo se favorece de este producto, ya que cuando el generador funcione, ellos pueden seguir trabajando en otras zonas de los edificios como aulas o laboratorios; esto contribuye a que la Facultad sea reconocida como la primera en hacer uso de un equipo automatizado en la purificación del ambiente.

El impacto que trae consigo el proyecto es que ayuda a la reducción de contaminación por malos olores, en aulas, pasillos o en un área específica, ya que el generador al expulsar el compuesto denominado ozono, reacciona con dichos olores, y elimina cualquier pestilencia [7]. Cabe recordar que el generador solo suprime los aromas anormales, no se encarga de la limpieza física del lugar donde se lo instale; asimismo el equipo productor de ozono es una tecnología limpia y segura, que impulsa el desarrollo de la innovación dentro de la Facultad.

El proyecto es factible porque existe comprensión por parte de las autoridades de la Facultad, para desarrollar el tema propuesto de investigación, además de facilitar el libre ingreso dentro del edificio con el fin de determinar el lugar de instalación del generador; también se cuenta con los recursos económicos necesarios, para la compra de todos los implementos, que son indispensables en la construcción del equipo de ozono; posteriormente, la existencia de fuentes bibliográficas de tesis desarrolladas, permiten que el proyecto de trabajo de graduación sea realizable.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

- Construir un generador de ozono automatizado para la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Analizar los elementos y parámetros de diseño de un generador de ozono.

- Diseñar el generador de ozono basado en los elementos analizados y parámetros de diseño.
- Construir y Automatizar el generador de ozono para que permita el funcionamiento durante ciclos de tiempo.
- Instalar el equipo de ozono en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes investigativos

La construcción de un equipo purificador de aire con gas ozono, necesita de diversos pasos en la elaboración del circuito. Para iniciar, al seleccionar los dispositivos eléctricos y electrónicos es necesario tomar en cuenta las características y funcionamiento de cada uno de ellos, tales como: rangos de corriente y voltajes ya que de ello dependerá que no sufra alguna avería durante su utilización. El parámetro utilizado mundialmente es el fijado por la OMS. De aquí nace la regla de oro de la ozonización ambiental: “En ambientes donde permanezcan personas durante más de 8 horas/día la concentración no deberá ser superior a 0,1 ppm, o lo que es lo mismo 0,2 mg O<sub>3</sub>/m<sup>3</sup> de aire” [8].

La cantidad de ozono que se obtiene a partir de los generadores depende directamente de varios factores interrelacionados, como voltaje de alimentación, pues para generar ozono se requiere de un campo eléctrico grande lo cual se consigue con un voltaje elevado; gas de alimentación, ya que la velocidad de la corriente del gas afecta directamente a la concentración de ozono; y, la temperatura, porque la energía eléctrica aplicada se trasforma en calor, provocando que el ozono se destruya por altas temperaturas [9].

La celda generadora de ozono, es aquella donde se lleva a cabo la formación del gas ozono por medio del fenómeno de descarga en barrera dieléctrica. Las celdas

generadoras de ozono se fabrican en dos formas geométricas: celdas de placas paralelas y cilíndricas. Los materiales que se utilizan en la construcción de una celda se eligen de tal forma que soporten la acción oxidante del ozono. Para el caso de los electrodos los materiales utilizados son el acero inoxidable, tungsteno y el titanio. Para el material dieléctrico se utiliza el vidrio, alúmina y mica, entre otros [10].

El Ozono actúa en el aire eliminando virus, bacterias, hongos y esporas; del mismo modo el Ozono destruye diversos contaminantes del medio ambiente purificándolo, siendo tan poderoso que hasta elimina los vapores residuales de solventes que son dañinos al inhalarse. Por último, el Ozono elimina los malos olores provocados por sudor, humo de cigarro, descomposición de materia orgánica, etc [11].

Un tratamiento correcto con Ozono, reduce hasta un 95% los olores no deseados, ya que los microorganismos causantes de olores son oxidados; además el ozono mata las bacterias y virus que pueden estar en el aire [12].

Ciertos procedimientos para mejorar la calidad de aire enfocada a los sistemas centrales de aire acondicionado, se encuentra la Purificación de Aire por Ozonización, donde el equipo que produce el ozono, elimina olores, hongos y bacterias [13].

## **2.2 Fundamentación teórica**

### **2.2.1 El ozono**

El ozono es un elemento esencial de la atmósfera. Este gas ofrece amplios beneficios para la salud. Su generación artificial y el ajuste adecuado de las dosis para uso médico permiten su uso como arma terapéutica [14].

El ozono es uno de los más poderosos oxidantes de la naturaleza. Este es un gas natural formado por tres moléculas de oxígeno, cuya fórmula es  $O_3$ ; este gas es incoloro, pero muestra color azul en estado líquido. Tiene un olor característico, es precisamente a su olor que le debe su nombre, pues la palabra ozono se deriva del griego ozein, verbo que significa oler.

El gas se produce artificialmente al hacer pasar un flujo de oxígeno por una descarga eléctrica de alto voltaje esto descompone la molécula de oxígeno en sus átomos correspondientes. El ozono es químicamente oxígeno con propiedades físicas diferentes. Al ser una partícula muy inestable, regresa a O<sub>2</sub> y libera un átomo de oxígeno que tiende a combinarse con otro para formar un nuevo O<sub>2</sub> [14].

La existencia del ozono fue supuesta desde 1871 por Van Marum, que notó su olor en el aire atravesado por descargas eléctricas, y fue finalmente descubierto y denominado (del término griego ozein) oler en 1840 por Schömbein [15].

Marignac, Becquerel y Fermi investigaron y establecieron la naturaleza del ozono. Su fórmula y constitución fueron más tarde determinadas y dadas a conocer por las investigaciones de J. L. Soret.

### **Característica química del ozono**

El poder de oxidación del ozono es muy alto. Las funciones como la desinfección, desodorización, aumento del frescor y desgaste, se demuestran al oxidar sustancias orgánicas e inorgánicas [15].

### **Eficacia en desinfección y desodorización**

La bacteria y los ingredientes con mal olor se descomponen instantáneamente por el potente poder de la oxidación. Los bacilos venenosos de los alimentos se destruyen en la membrana celular gracias a la acción oxidante del ozono, desinfectando con eficacia.

Poder de desinfección en el aire dos veces más que la del cloro.

Poder de desinfección en el agua tres veces más que la del cloro [15].

### **Definición de desinfección**

La palabra desinfección hace referencia al proceso mediante el cual, a partir del uso de sustancias desinfectantes, se limpia y acondiciona un espacio o superficie para su

uso apropiado. La desinfección tiene por principal objetivo la limpieza de superficies o espacios en los cuales seres humanos y animales estarán viviendo o con las cuales tendrán contacto [16].

### **Definición de desodorización**

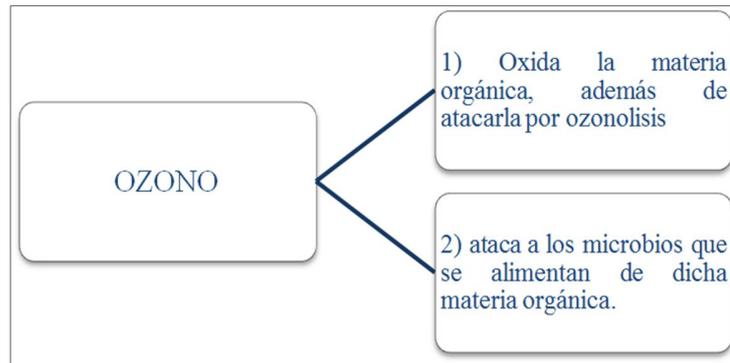
Hacer desaparecer los malos olores del cuerpo, de una cosa o de un lugar [17].

### **Desodorización con ozono**

Las fuentes del mal olor están diseminadas por el aire y también adheridas a las paredes, techos y suelos, ya que el mal olor así como el olor de descomposición de los alimentos está formado por partículas. La desodorización mediante el poder de oxidación del oxígeno es de alto nivel para las instituciones ya que elimina gradualmente el mal olor acumulado durante mucho tiempo. Este efecto es válido no solamente en bibliotecas sino también en servicios, habitaciones de hoteles, hospitales y hogares de personas mayores. Asimismo y debido a sus propiedades médicas es muy aconsejable para las personas con problemas respiratorios (asma, bronquitis, etc.) [15]. El ozono también se utiliza en otros campos como: el tratamiento del agua, del mal olor, de la desinfección, etc.

### **Causa de los malos olores**

En sitios cerrados, de gran afluencia de público, la causa suele ser la materia orgánica en suspensión, y la acción de los distintos microorganismos sobre ella, tal es el caso del típico olor a personas, a tabaco y a comida. El ozono ataca a ambas causas, ilustrados en la figura 1.



**Figura 1.** Organismos que ataca el ozono  
**Fuente:** Investigador

Existe una muy amplia gama de olores los cuales pueden ser atacados por el ozono. Todo depende de la naturaleza de la sustancia causante del olor. Según dicha naturaleza se puede establecer las dosis requeridas para la eliminación. El resultado de una correcta ozonización es que en los sitios donde existían malos olores, no huele a nada [15].

### **Eliminar malos olores**

El ozono no elimina los olores enmascarándolos como los ambientadores, que además desprenden sustancias tóxicas, sino que descompone las sustancias que causan el mal olor en elementos no perjudiciales, haciendo desaparecer el olor, como lo presenta la figura 2. Neutraliza malos olores en la cocina, el baño, la nevera (también elimina el moho), el coche, el cubo de basura. Elimina en unos minutos el olor a tabaco de una habitación y el olor a humo de la ropa.



**Figura 2.** Relación Ozono-Oxígeno [18]

Útil cuando se viaja para eliminar el olor a tabaco en las habitaciones de hotel y desinfectar el ambiente. El humo de tabaco es tan peligroso como el tabaco mismo, pues contiene alrededor de 3.6000 sustancias químicas. El ozono descompone dichos químicos en moléculas simples neutralizándolos [15].

Algunos ambientadores contienen compuestos aromáticos y bencénicos como el paradiclorobenceno y refrescantes de aire que reducen la sensibilidad olfativa. Estos componentes se asocian a problemas de cáncer, alergias respiratorias y efectos a nivel del Sistema Nervioso Central (SNC) [19].

### **Aplicación del ozono en baños, vestuarios y aseos**

Con un sistema de ozono se puede mantener la higiene ambiental en los baños y vestuarios, proporcionando una higiene extra en el ambiente y las superficies de contacto. Como resultados se definen:

- Desinfección ambiental como: eliminación de virus, bacterias, hongos y mohos.
- Evita la propagación de enfermedades
- Eliminación de malos olores a alcantarillado
- Eliminación de malos olores propios del baño
- Mantenimiento de la higiene ambiental [20].

### **2.2.2 Organización mundial de la salud referente al ozono**

El exceso de ozono en el aire puede producir efectos adversos de consideración en la salud humana. Por esta razón el valor fijado para el ozono, en las directrices de la Organización mundial de la Salud (OMS), es de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de media en 8 horas.

Diversos estudios europeos han revelado que la mortalidad diaria y mortalidad por cardiopatías aumentan un 0,3% y un 0,4% respectivamente con un aumento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en la concentración de ozono [3].

### **2.2.3 Generador de ozono**

La función por excelencia de un generador es la de producir una determinada energía o fuerza dentro de las máquinas. El generador de ozono, también se denomina ozonizador y lo que hace es, producir ozono no de manera natural, sino a través de un modo enteramente artificial.

La labor del generador de ozono es muy importante porque, al fabricar ozono artificialmente, se lo puede aplicar en la eliminación de los olores y de la desinfección del aire. Al mismo tiempo, dicho ozono puede también ser usado para el tratamiento de aguas y su purificación, en caso de que sea necesario [21].

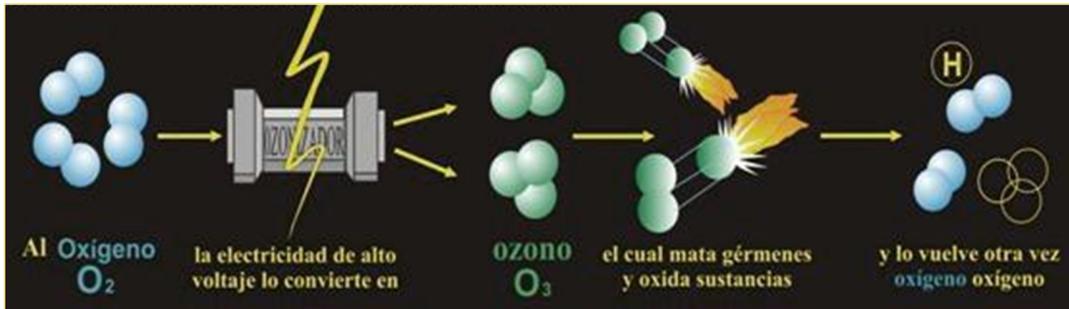
#### **Tipos de energía para la generación de ozono**

Para la producción de ozono es necesario proporcionar energía a la molécula de oxígeno, la cual debe ser capaz de romper los enlaces que mantienen a los átomos de dicha molécula unidos, estos átomos a su vez reaccionan con otras moléculas de oxígeno formando así la molécula de ozono. Esta fuente de energía puede ser de varios tipos:

- Descargas eléctricas
- Radiación Ultravioleta
- Electrólisis
- Radioquímica [9].

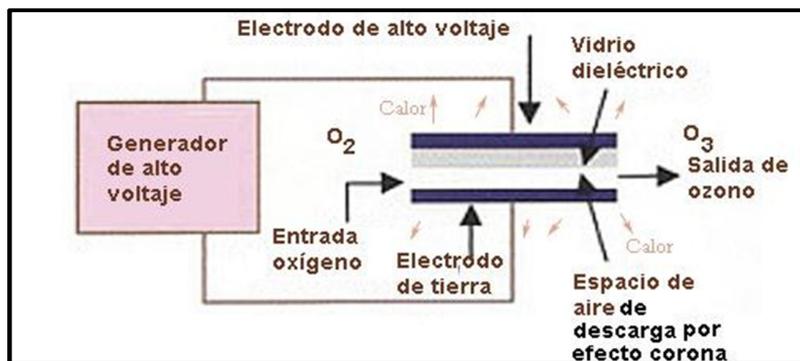
#### **Generación de ozono por descargas eléctricas**

Dicho proceso lo lleva a cabo gracias a la generación de una tensión eléctrica. Dicha tensión aparece cuando hay una diferencia notable de potencial existente entre los dos puntos de un circuito eléctrico en particular. A dicho proceso se lo denomina efecto corona y del mismo pueden surgir tanto el ozono como los iones negativos [21], como lo indica la figura 3.



**Figura 3.** Producción de Ozono [22]

Los generadores de ozono con descarga de corona operan sobre el principio de una chispa de alto voltaje a través de un dieléctrico para formar una corona. El componente principal de cualquier fuente de alimentación de descarga de corona es un transformador de potencia de tensión estándar de 120 o 220 V AC usado para aumentar el voltaje a uno o más alto que va desde 500 a 20000 voltios. Esta alta tensión creará la chispa (corona) necesaria para la generación de ozono.



**Figura 4.** Esquema de funcionamiento del generador de ozono por descarga eléctrica [23]

El voltaje utilizado por un generador de ozono es dependiente principalmente de la separación del dieléctrico y el aire en la célula de corona, como lo ilustra la figura 4. Si hay un espacio más grande para que salte la chispa, se necesita un voltaje más alto [23].

## 2.2.4 Partes que conforman un generador de ozono

Un generador de ozono está formado por cuatro elementos básicos [9], los cuales se muestran en la figura 5.

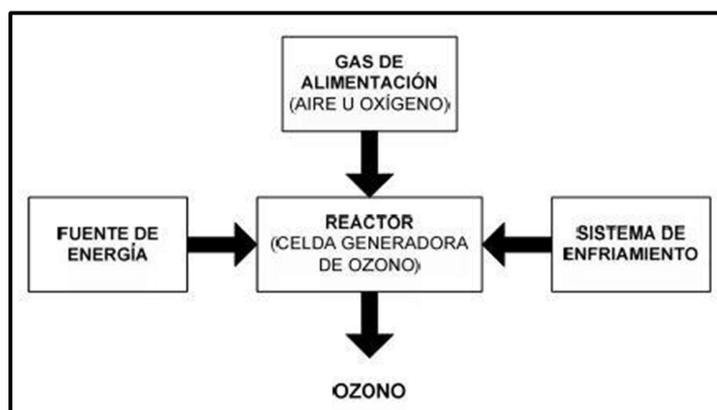


Figura 5. Diagrama general de las partes de un generador de ozono [9]

### Celda generadora de ozono

Para formar la molécula de ozono se requiere de una celda, como se presenta en la figura 6, formada por dos electrodos separados por una distancia, del orden de los milímetros; a este espacio se le conoce como espacio de descarga.

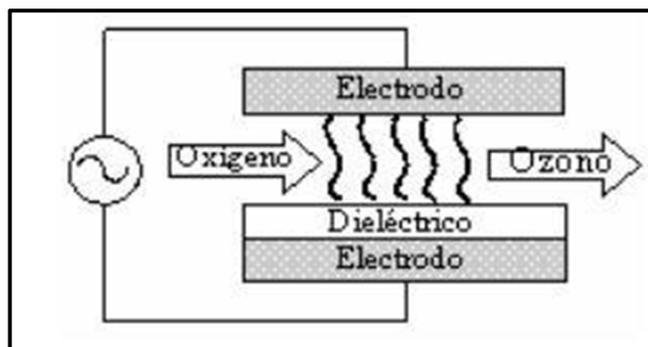
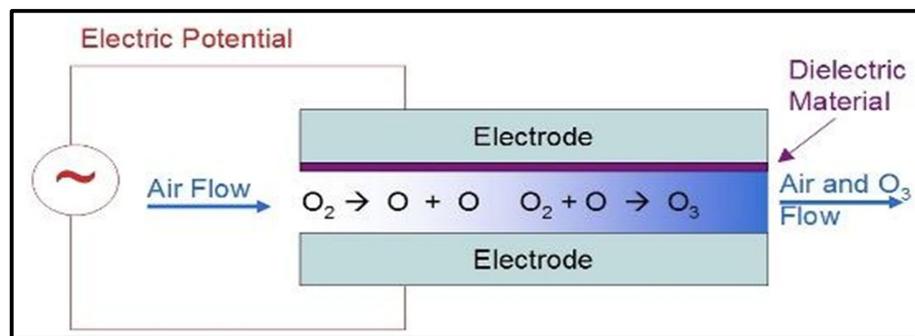


Figura 6. Celda generadora de ozono por descargas eléctricas [10]

Sobre uno de los electrodos se coloca un material dieléctrico, y en el espacio de descarga se inyecta un flujo de aire o de oxígeno de alta pureza, el cual provee oxígeno para la formación del ozono. Para el funcionamiento de la celda, se conecta a

los electrodos una señal eléctrica alterna, la cual permite la creación de un campo eléctrico intenso.

Este campo eléctrico se encarga de acelerar los electrones que se encuentran en el espacio de descarga, de tal forma, que en la trayectoria del recorrido de estos electrones, colisionan con las moléculas de oxígeno y logran la disociación de sus átomos [10], como lo indica la figura 7.



**Figura 7.** Esquemática de los trabajos internos de un generador de ozono de descarga en corona [24]

### **Construcción de la celda generadora de ozono**

El ozonizador está integrado por una celda la cual presenta 2 electrodos, cuyo material depende del tipo de voltaje a utilizar. El primer electrodo se encuentra dentro de un tubo de vidrio el cual está cubierto por el segundo electrodo. Todo esto se encuentra encapsulado en PVC.

En los extremos del reactor se ubican unas mangueras, para el ingreso del aire u oxígeno y para la salida del ozono [9], como se muestra en la figura 8.



**Figura 8.** Celda generadora de ozono [25]

### 2.2.5 Tiempo de funcionamiento del generador de ozono

El ozono llega a destruir agentes contaminantes que resulta muy difícil conseguir por los métodos y productos tradicionales, ya que se introduce en lugares complejos para desinfectar totalmente.

No hace falta la presencia de nadie para desinfectar y purificar el aire de una habitación, con un tiempo menor a 15 minutos se puede conseguir, dependiendo del tipo de local y del tamaño del mismo habrá que suministrar una cantidad determinada de ozono y una instalación exclusiva.

El ozono elimina el mal olor destruyendo los elementos inorgánicos que producen olores desagradables como la nicotina, alquitranes, amoniacales etc. Lo que termina de hacerlo sorprendente es que no deja ningún tipo de residuo para el medio ambiente [26].

### 2.2.6 Fórmula para determinar la salida de un generador de ozono

$$LPM * \frac{g}{m^3} = \frac{g}{h} \quad (1)$$

Donde: LPM = caudal del gas de alimentación en l/min.

$\frac{g}{m^3}$  = concentración de ozono.

$\frac{g}{h}$  = cantidad de ozono que sale de un generador durante cada hora.

La fórmula expresada se emplea para determinar la salida de un generador de ozono cuando se conoce el caudal y la concentración de ozono [27].

### **2.3 Propuesta de solución**

Mediante la construcción de un generador de ozono automatizado, se logrará producir una cantidad de ozono dentro del límite establecido en la Organización Mundial de la Salud, para purificar el aire de un volumen determinado, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Esto facilitará la conservación del ambiente de manera adecuada en un punto específico del edificio.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

La indagación del trabajo se enfoca en un Proyecto de Investigación Aplicada, ya que a través de un conjunto de procedimientos se crea de manera artificial el compuesto denominado ozono, para solucionar el problema de malos olores en un espacio de la Facultad. La investigación propuesta también es un Proyecto de Desarrollo, porque se orienta al progreso de una nueva tecnología, cuyo proceso tiene relevancia con el tiempo de funcionamiento, con el propósito de mantener en una superficie determinada un ambiente adecuado.

Además se utiliza la modalidad de investigación de campo, investigación bibliográfica-documental e investigación experimental.

#### **3.1 Modalidad básica de la investigación**

El tema requiere de investigación de campo, con el propósito de determinar el lugar principal, en que se origina el problema de los olores y para establecer la posición apropiada de instalación del generador.

A través de la Investigación bibliográfica-documental, el proyecto obtiene un mayor grado de validez, ya que existen tesis enfocadas a la construcción del equipo de ozono y empresas reconocidas a nivel internacional, que emiten sus artículos referentes al cumplimiento de purificación del ambiente, permitiendo que conceptos, ilustraciones y criterios, sean profundizados para un mejor desarrollo.

Con la investigación experimental se comprende el origen de producción de ozono y los elementos que deben estar asociados, como el oxígeno y la electricidad, para la obtención del compuesto; asimismo se entenderá cual es el instrumento o herramienta que se puede añadir para que la generación de ozono tenga un límite en su funcionamiento.

### **3.2 Recolección de información**

La información es recolectada por medio de la revisión de documentos y sitios virtuales técnicos, que permitan facilitar tanto el diseño como la construcción de un generador de ozono, con todos los elementos físicos que se encuentran integrados. Dentro de estos sitios virtuales se hace referencia a foros y páginas web de empresas reconocidas por la fabricación de generadores; las cuales proporcionarán una asesoría de forma individual, pero que al juntarse facilitan el desarrollo del proyecto, es decir, con los foros se comprende la parte del circuito de potencia y su modo de acoplamiento, mientras que con los artículos de empresas se guía para no alejarse de la idea principal de funcionamiento del generador.

### **3.3 Procesamiento y análisis de datos**

Los pasos para el procesamiento y análisis de datos se detallan a continuación:

Una vez conocido todos los elementos que constituyen un generador de ozono, se procede a acoplar, en primera instancia los dos electrodos y el material dieléctrico. Una vez armado este objeto, se le acoplan 2 mangueras a los extremos, el uno sirve para ingresar el aire y el otro para la salida del ozono. Posteriormente se le adiciona un transformador de voltaje, el cual está conectado a los electrodos.

Cuando exista alguna irregularidad en el equipo de ozono, se le aplica un circuito que le permita trabajar con normalidad, evitando que perjudique al generador y los elementos conectados. Toda esta construcción se lo coloca en un contenedor cuyo tamaño depende de las dimensiones utilizadas en los materiales, después se lo automatiza para que funcione durante un tiempo determinado.

Luego con todo el equipo ensamblado, se investiga diferentes empresas o laboratorios que realizan mediciones de ozono, con el propósito de llevar el generador a esas instalaciones y efectuar diferentes pruebas mediante un equipo analizador  $O_3$ , el cual presenta resultados de la concentración de ozono que emite el generador con respecto al tiempo, para finalmente comprobar su correcto funcionamiento e instalarlo en el lugar proyectado.

### **3.4 Desarrollo del proyecto**

- Evaluación de las condiciones actuales del espacio físico donde se aplicará el generador.
- Análisis de componentes que integran un generador de ozono.
- Diseño del equipo de ozono en base a parámetros requeridos.
- Adquisición de materiales con dimensiones apropiadas.
- Elaboración de celda generadora de ozono.
- Colocación de mangueras a la celda e instalación del gas de alimentación.
- Adaptación del transformador de voltaje a la celda.
- Realización de pruebas de los componentes ensamblados.
- Preparación de un contenedor en donde se colocará al generador de ozono
- Automatización del generador fabricado para que funcione durante un tiempo determinado.
- Pruebas y ensayos del equipo.
- Funcionamiento del equipo de ozono para ser instalado en el lugar proyectado.
- Elaboración del informe final.

## **CAPÍTULO IV**

### **DESARROLLO DE LA PROPUESTA**

#### **4.1 Evaluación del lugar específico para la instalación del generador**

Los generadores de ozono pueden llegar a purificar el aire domestico de un área determinada [28], e incluso destruir olores de origen biológico gracias a su función ozonizadora durante un tiempo programable [29].

La Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial consta de 2 edificios con diferentes espacios de trabajo para oficinas, biblioteca, auditorio, laboratorios, pasillo, sala de docentes, aulas de estudio y baños; en la mayoría de las zonas mencionadas la ventilación es adecuada, por eso no se evidencia la presencia de malos olores, sin embargo no todos los lugares presentan un ambiente limpio especialmente en los baños de los docentes los cuales tiene un volumen pequeño, por eso se parte de esta necesidad para elaborar manualmente un generador que ayude en el control de malos olores y además beneficie a la Facultad con un invento de uno de sus egresados.

Existen algunos factores en el aparecimiento de olores irregulares como el número de personas que se localizan en un lugar, volumen respectivo, tipo de ventilación, etc., eso se lo analiza en la tabla 1.

**Tabla 1.** Análisis del volumen y tipo de ventilación en algunas zonas de la Facultad

Parámetros de estudio en Edificio 2 – FISEI							
Laboratorio Robótica	Dimensiones (metros)		Volumen (metros cúbicos)	Ventilación		Número de personas	
	largo (la)	9		136,60	ventanas (m)		2 (1,38 la x 0,77 an)
	ancho (an)	6,17			ventilador		1
	alto (al)	2,46			puerta		1
Laboratorio Industrial II	Dimensiones (metros)		Volumen (metros cúbicos)	Ventilación		Número de personas	
	largo (la)	9		135,91	ventanas (m)		2 (1,38 la x 0,77 an)
	ancho (an)	6,24			ventilador		1
	alto (al)	2,42			puerta		1
Pasillo planta baja	Dimensiones (metros)		Volumen (metros cúbicos)	Ventilación		Número de personas	
	largo (la)	8,3		111,07	Puerta salida de emergencia y escaleras de acceso al primer piso		
	ancho (an)	5,44			>30		
	alto (al)	2,46					
Baños hombres planta baja	Dimensiones (metros)		Volumen (metros cúbicos)	Ventilación		Número de personas	
	largo (la)	3,4		26,13	ventanas (m)		2 (0,5 la x 0,45 an)
	ancho (an)	3,15			ventilador		
	alto (al)	2,44			puerta		2
Baños hombres segundo piso	Dimensiones (metros)		Volumen (metros cúbicos)	Ventilación		Número de personas	
	largo (la)	3		20,49	ventanas		
	ancho (an)	2,97			ventilador		
	alto (al)	2,3			puerta		1

<b>Baño docentes</b>	<b>Dimensiones (metros)</b>		<b>Volumen (metros cúbicos)</b> 8,74	<b>Ventilación</b>		<b>Número de personas</b> 1
	largo (la)	2,52		ventanas (m)	1 (0,55 la x 0,44 an)	
	ancho (an)	1,36		ventilador		
	alto (al)	2,55		puerta		
<b>Aula H02</b>	<b>Dimensiones (metros)</b>		<b>Volumen (metros cúbicos)</b> 122,22	<b>Ventilación</b>		<b>Número de personas</b> >30
	largo (la)	8,35		ventanas		
	ancho (an)	6,15		ventilador		
	alto (al)	2,38		puerta	1	
<b>Aula H04</b>	<b>Dimensiones (metros)</b>		<b>Volumen (metros cúbicos)</b> 115,79	<b>Ventilación</b>		<b>Número de personas</b> 37
	largo (la)	8,92		ventanas (m)	2 (1,32 la x 0,67 an)	
	ancho (an)	5,32		ventilador		
	alto (al)	2,44		puerta	2	
<b>Auditorio</b>	<b>Dimensiones (metros)</b>		<b>Volumen (metros cúbicos)</b> 252,61	<b>Ventilación</b>		<b>Número de personas</b> 120
	largo (la)	18,22		ventanas (m)	4 (1,33 la x 0,7 an)	
	ancho (an)	5,85		ventilador		
	alto (al)	2,37		puerta	1	
<b>Parámetros de estudio en Edificio 1 – FISEI</b>						
<b>Biblioteca</b>	<b>Dimensiones (metros)</b>		<b>Volumen (metros cúbicos)</b> 323,91	<b>Ventilación</b>		<b>Número de personas</b> >40
	largo (la)	20,9		ventanas (m)	5	
	ancho (an)	6,3		ventilador	2	
	alto (al)	2,46		puerta	1	
<b>Baño (cerca de la biblioteca)</b>	<b>Dimensiones (metros)</b>		<b>Volumen (metros cúbicos)</b>	<b>Ventilación</b>		<b>Número de personas</b>

	largo (la)	1,94	8,90	ventanas (m)	2 (0,42 al x 0,55 an)	1
	ancho (an)	1,65		ventilador		
	alto (al)	2,78		puerta		
<b>Baños hombres tercer piso</b>	<b>Dimensiones (metros)</b>		20,98	<b>Ventilación</b>		4
	largo (la)	3,91		ventanas (m)	1 (1 al x 0,73 an)	
	ancho (an)	1,85		ventilador		
	alto (al)	2,9		puerta	1	
<b>Oficina Coordinador Ing. Industrial</b>	<b>Dimensiones (metros)</b>		68,14	<b>Ventilación</b>		5
	largo (la)	6,72		ventanas (m)	3 (1,25 la x 0,6 an)	
	ancho (an)	3,9		ventilador		
	alto (al)	2,6		puerta		
<b>Baño Secretaria Ing. Industrial</b>	<b>Dimensiones (metros)</b>		9,28	<b>Ventilación</b>		1
	largo (la)	1,96		ventanas		
	ancho (an)	1,91		ventilador		
	alto (al)	2,48		puerta	1	

**Fuente:** Investigador

Los generadores de ozono industriales son para volúmenes amplios pero para un volumen pequeño basta con solamente un equipo acorde a la dimensión del lugar, siempre y cuando cumpla con requisitos de concentración de la OMS, por lo tanto en base a la tabla 1 se puede considerar una condición donde el volumen no debe ser mayor a  $9m^3$  esto en cuanto a dimensión.

También se puede analizar de la tabla 1 que ante la presencia de varias personas sean estudiantes o docentes, la ventilación es satisfactoria con la cantidad de individuos en laboratorios, pasillos, auditorio y biblioteca, sin embargo en aulas, oficina y baños la

ventilación es limitada o insuficiente dando origen al mal olor, por lo tanto el lugar de instalación del generador de ozono cumple con 2 condiciones:

- a) el volumen no debe ser de gran dimensión ( $< 9m^3$ ) y,
- b) el lugar de instalación es una zona específica con mal olor, presencia de personas y limitada ventilación.

La Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial consta de 2 edificios con diferentes espacios de trabajo para oficinas, biblioteca, auditorio, laboratorios, pasillos, aulas de estudio y baños, donde su evaluación con respecto a las dos condiciones se presenta en la tabla 2.

**Tabla 2.** Evaluación del lugar de instalación del generador de ozono

Condición para instalación del generador de ozono	Lugar	Factores de condición			Observación
		1.	2.		
		$< 9 m^3$	Mal olor	Presencia de personas	
Volumen del lugar ( $< 9 m^3$ )	Oficina				Todos los lugares de la facultad tienen mayor volumen por ser centros de investigación y estudio, sin embargo algunos lugares si son menores a $9 m^3$ como los baños.
	Biblioteca				
	Auditorio				
	Laboratorios				
	Pasillos				
	Aulas de estudio				
	Baños	✓			
Zona específica con mal	Oficina			✓	Todas las personas que ingresan a la
	Biblioteca			✓	

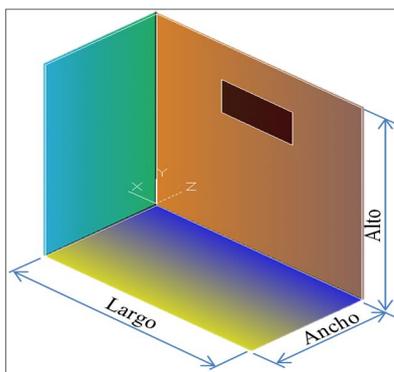
olor, presencia de personas y limitada ventilación	Auditorio		✓		fácultad por lo menos pasan por un lugar, si se encuentran reunidos con ventanas cerradas y sin ventilación dan origen al mal olor.
	Laboratorios		✓		
	Pasillos		✓		
	Aulas de estudio	✓	✓	✓	
	Baños	✓	✓	✓	

**Fuente:** Investigador

Según la tabla 2 el lugar determinado para ubicar el generador de ozono son los baños porque cumple las dos condiciones de evaluación, descartando los demás sitios de los edificios, es decir, un punto específico de los baños de la fácultad sirve como referencia en el desarrollo del proyecto de investigación, siendo este el ubicado en la sala de docentes del edificio 2 cuyos valores de dimensión, área y volumen son:

- largo = 2,52 m, ancho = 1,36 m y alto = 2,55 m,
- área = largo \* ancho = 2,52 m \* 1,36 m = 3,43 m<sup>2</sup>,
- volumen = largo \* ancho \* alto = 2,52 m \* 1,36 m \* 2,55 m = 8,74 m<sup>3</sup>.

Las dimensiones del lugar de referencia para instalación del generador de ozono se observa en la figura 9.



**Figura 9.** Dimensiones del lugar de referencia  
**Fuente:** Investigador

## 4.2 Parámetros de diseño del generador de ozono

Una vez determinado el área y el lugar de referencia para la instalación del generador, se procede a conocer fórmulas y cálculos de ozono en un volumen conocido, componentes internos del ozonizador, materiales apropiados con dimensiones acorde a la caja de ensamble.

### 4.2.1 Referencia teórica

#### Límite de ozono en la Organización Mundial de la Salud (OMS)

La OMS tiene la siguiente constitución: La salud es un estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades [30], por eso establece límites en función de agentes contaminantes y uno de ellos es el ozono, el cual no debe ser superior a  $100 \text{ ug}/\text{m}^3$ , media de ocho horas [3].

#### Límite de ozono en la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire

Esta norma establece los límites máximos permisibles de concentración promedio de ozono en 3 factores:  $200 \text{ ug}/\text{m}^3$  es alerta,  $400 \text{ ug}/\text{m}^3$  es alarma y  $600 \text{ ug}/\text{m}^3$  es emergencia [31].

#### Conversión de ppm (partes por millón) a $\text{ug}/\text{m}^3$

Hay algunas fórmulas que trabajan con valores de sustancia en ppm, uno de ellos es el cálculo de la salida de ozono a partir de las ppm y pies cúbicos por minuto del caudal ( $\text{cfm} * \text{ppm} = \text{mg}/\text{h}$ ) [27], otros en cambio solo necesitan de un valor en  $\text{ug}/\text{m}^3$ , por lo que es importante saber convertir estas unidades y para ello se emplea el siguiente cálculo:

$$\frac{\text{ug}}{\text{m}^3} = \frac{\text{ppm} * P.M * 1000}{24,45} \quad (2)$$

Donde:  $\text{ug}/\text{m}^3$  = concentración de ozono que se desea conocer.

ppm = concentración de ozono conocido en partes por millón.

P.M = peso molecular del ozono.

24,45 = factor de conversión que representa el volumen (litros) de un mol de un gramo de peso molecular.

1000 = constante de multiplicación que aparece cuando se transforma de miligramos a microgramos [32].

### **Componentes internos del generador de ozono**

Un generador de ozono es un equipo que cumple con diferentes funciones, ya sea para purificar el agua o eliminar malos olores y su estructura se ilustra en la figura 6. Un equipo de ozono por efecto corona posee: Celda generadora de ozono, Gas de alimentación, Fuente de energía eléctrica y Sistema de Enfriamiento [10].

### **Celda generadora de ozono**

La celda generadora de ozono como se presenta en la figura 6, es aquella donde se lleva a cabo la formación del gas ozono por medio del fenómeno de descarga en barrera dieléctrica.

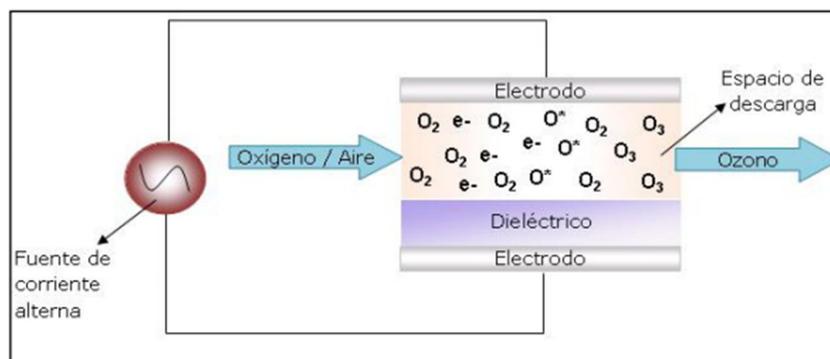
Los materiales que se utilizan en la construcción de una celda se visualizan en la tabla 3, de tal forma que soporten la acción oxidante del ozono. Para el caso de los electrodos los materiales utilizados son el acero inoxidable, tungsteno y el titanio. Para el material dieléctrico se utiliza el vidrio, alúmina y mica, entre otros. En lo que respecta a los accesorios y mangueras utilizadas en conexiones de la celda se puede utilizar el teflón, el cual posee excelentes propiedades de resistencia a los efectos oxidantes del gas ozono [10].

**Tabla 3.** Clasificación de materiales para trabajar con ozono [10]

<b>Material</b>	<b>Clasificación</b>
Silicón	Excelente
Acero Inoxidable 316	Excelente

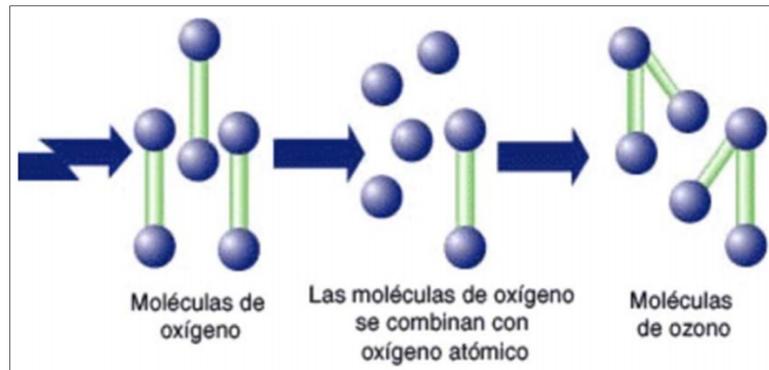
Viton®	Excelente
Titanio	Excelente
Teflón®	Excelente
Tungsteno	Excelente
Vidrio	Excelente
Cobre	Bueno
Bronce	Bueno
PVC	Bueno
Aluminio	Bueno

Sobre los dos electrodos se coloca el material dieléctrico. Estos dos además se encuentran separados por una distancia milimétrica, denominada espacio de descarga, donde se inyecta un flujo de aire o de oxígeno de alta pureza [33], indicado en la figura 10.



**Figura 10.** Espacio de descarga en la celda generadora de ozono [33]

La celda funciona con la conexión de los electrodos a una fuente de corriente alterna, lo cual genera un campo eléctrico intenso que acelera los electrones ubicados en el espacio de descarga como se ve en la figura 11.



**Figura 11.** Proceso de transformación del ozono en el interior de la celda [33]

### **Gas de Alimentación**

El generador de ozono por efecto corona puede tener unos de los 2 tipos de gases de alimentación: el aire y el oxígeno.

El aire está formado principalmente por nitrógeno (78%), el oxígeno (21%) y el argón (1%). Cuando el aire contiene poca agua se denomina aire seco, mientras que si ocurre al contrario y hay abundancia de H<sub>2</sub>O se dice del aire que es húmedo [34].

El oxígeno tanto en la medicina como en la industria se convierte en un elemento fundamental e indispensable para el desarrollo de las mismas [35], puede encontrarse en una composición de tres átomos llamada “ozono”, que a pesar de su importancia para la vida, el oxígeno puede ser letal para un ser humano si se lo aspira puro, puesto que generalmente se lo aspira en combinación con nitrógeno. También es tóxico cuando forma el compuesto químico denominado ozono [36].

La elección de utilizar aire u oxígeno de alta pureza depende de las exigencias de la aplicación. La mayoría de los generadores de ozono utilizan aire como gas de alimentación [10].

### **Fuente de Energía Eléctrica**

En el ambiente cuando se producen rayos, ellos generan ozono porque pasa la chispa eléctrica por la atmósfera [37].

Los rayos son descargas eléctricas de una poderosa intensidad, que se producen en un corto período de tiempo, en la mayoría de los casos son el resultado del contacto entre partículas con carga eléctrica positiva en la tierra y partículas de carga eléctrica negativa [38]. Su intensidad y voltaje dependerá de muchos factores, aunque se calcula que hay algunos

casos en los que puede producir una descarga de hasta 300.000 voltios por metro, generando además una corriente de cerca de 200.000 amperios de intensidad [39].

La fuente de energía eléctrica para el generador de ozono proporciona una señal alterna cuyas características eléctricas (voltaje y frecuencia), permiten generar el fenómeno de las microdescargas en el interior de la celda [10], siendo el transformador el componente más apropiado.

#### Definición de transformador

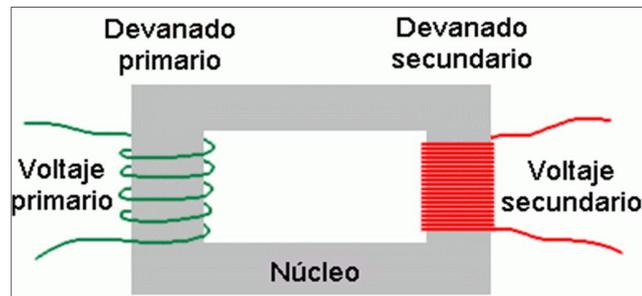
Un transformador es una máquina estática de corriente alterno, que permite variar alguna función de la corriente como el voltaje o la intensidad. Para lograrlo, transforma la electricidad que le llega al devanado de entrada en magnetismo para volver a transformarla en electricidad, en las condiciones deseadas en el devanado secundario [40].

#### Componentes del transformador eléctrico

Los transformadores están compuestos de diferentes elementos. Los componentes básicos son:

- Núcleo: Este elemento está constituido por chapas de acero al silicio aisladas entre ellas. El núcleo se utiliza para conducir el flujo magnético, ya que es un gran conductor magnético.
- Devanados: El devanado es un hilo de cobre enrollado a través del núcleo en uno de sus extremos y recubiertos por una capa aislante que suele ser barniz. Está compuesto por dos bobinas, la primaria y la secundaria. El nombre de

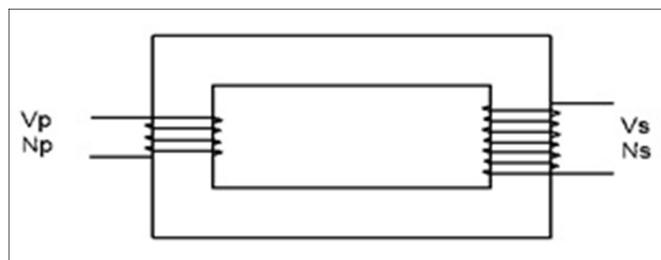
primario y secundario es totalmente simbólico [40], Por definición donde se aplica la tensión de entrada es el primario y donde se obtiene la tensión de salida es el secundario como se observa en la figura 12.



**Figura 12.** Estructura interna de un transformador [40]

### Transformador elevador

Es un tipo de transformador de potencia y tiene la capacidad de aumentar el voltaje de salida en relación al voltaje de entrada. En estos transformadores el número de espiras del devanado secundario es mayor al del devanado primario [40], como se ve en la figura 13.



**Figura 13.** Estructura interna de un transformador elevador [40]

### Transformador Flyback

El transformador que genera el alto voltaje se llama transformador de líneas, flyback o transformador flyback como se muestra en la figura 14.



**Figura 14.** Modelo externo de un transformador flyback  
**Fuente:** Baisheng electronic LTD.

Los flybacks consisten en un conjunto de bobinados con un núcleo de ferrita, incluye los componentes siguientes:

- Bobinado primario: un promedio de cien vueltas de alambre. Esto es lo que se conecta en serie con el B+ al transistor de salida horizontal en un monitor.
- Bobinado de Alto Voltaje: varios miles de vueltas. Este bobinado puede dividirse en varias secciones con rectificadores de alto voltaje en serie con cada una o puede ser un solo bobinado [41].

La energía se envía casi exclusivamente al bobinado secundario de alto voltaje (HV). El bobinado de alto voltaje del flyback genera unos 6 a 10 kV DC y el multiplicador de algunos monitores eleva esto generalmente X3 o X4 a 20 a 30 kV DC [41].

Para identificar el devanado primario y secundario del flyback hay que conocer la distribución de sus terminales y su estructura interna.

#### *Circuitos para el funcionamiento del Flyback*

El transformador Flyback por sí solo no produce alto voltaje, requiere de un circuito externo que aumente la frecuencia de 60 Hz; entre los que se destacan:

- Circuito de Mazzilli para controlar un transformador flyback: Con 12 V se estima voltajes en el flyback de unos 5000 a 10000 V, y con voltajes de 40 o 50 V se puede generar hasta 50000 V, sin embargo, es muy probable que el flyback se queme al ser usado por más de unos pocos segundos [42]. Su diagrama se presenta en la figura 15.

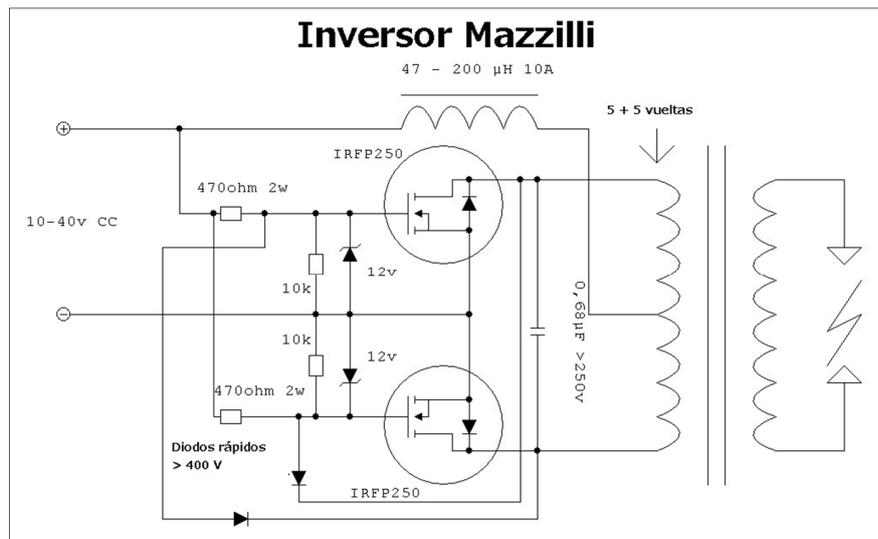
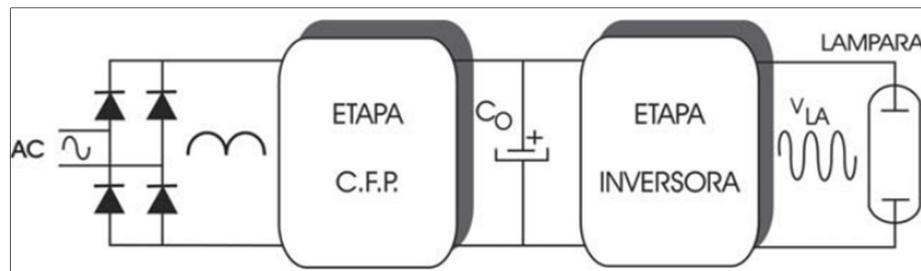


Figura 15. Diagrama del circuito de Mazzilli [42]

- Balastro electrónico: Enciende y regula las lámparas fluorescentes en altas frecuencias, generalmente mayores a 20 kHz usando componentes electrónicos. Provee el voltaje adecuado para establecer un arco y pueden compensar variaciones del voltaje de la fuente. Con respecto a su estructura tiene grupos de componentes electrónicos que convierten voltaje CA a CD, pasando por un convertidor CD-CD el cual funciona como corrector de factor de potencia. Posteriormente la salida se conecta a un inversor de alta frecuencia que alimenta la lámpara indicado en la figura 16. [43]



**Figura 16.** Etapas del balastro electrónico [43]

### **Sistema de enfriamiento**

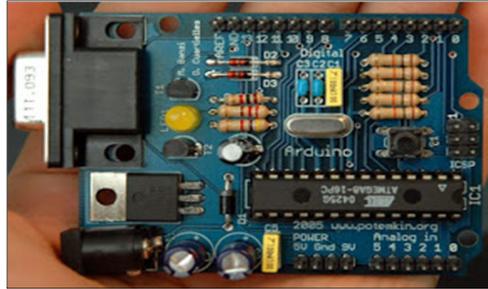
Se encarga de disipar el calor que se acumula en la celda debido al efecto de las microdescargas. La refrigeración de los electrodos reduce los fenómenos de descomposición térmica del ozono [10].

### **Automatización**

Apunta a hacer que determinadas acciones se vuelvan automáticas (que se desarrollen por sí solas y sin la participación directa de un individuo) [44]. Existen todo tipo de elementos para que la automatización sea posible considerando los siguientes instrumentos:

### **Arduino**

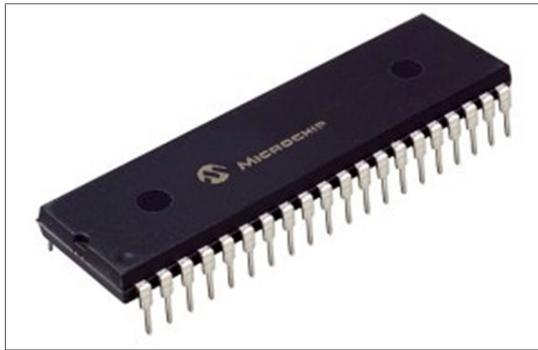
- Es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo como se ve en la figura 17, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.
- Se puede utilizar para desarrollar objetos interactivos o puede ser conectado a un software del ordenador (por ejemplo: Macromedia Flash, Processing, etc). El entorno de desarrollo integrado libre se puede descargar gratuitamente.
- Puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores [45].



**Figura 17.** Estructura física del arduino [45]

### **Microcontrolador PIC**

- Un microcontrolador es un circuito integrado que contiene toda la estructura de un Microcomputador, es decir, unidad de proceso (CPU), memoria RAM, memoria ROM y circuitos de entrada/salida como se muestra en la figura 18.
- Es un dispositivo programable que puede ejecutar un sinnúmero de tareas y procesos. Está compuesto básicamente por cuatro componentes principales:
  - i. Memoria ROM, EEPROM, EPROM o FLASH: es la memoria donde se almacena el programa.
  - ii. Memoria RAM o SRAM: es la memoria donde se almacenan los datos.
  - iii. Líneas de Entrada/Salida (I/O): también llamada puertos, se utilizan para conectar elementos externos al microcontrolador.
  - iv. CPU: controla y ejecuta todas las instrucciones que conforman el programa.
- Es importante tener a la mano la hoja de datos del microcontrolador (Datasheet) que proporciona el fabricante con el fin de aprovechar todas las características del dispositivo y para saber dónde buscar y como activar el chip [46].



**Figura 18.** Microcontrolador PIC16F887 [46]

## PLC

- Un PLC controla la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, procesan y reciben señales digitales y analógicas y pueden aplicar estrategias de control donde su modelo se observa en la figura 19.
- Dentro de las funciones que un PLC puede cumplir se encuentran operaciones como las de detección y de mando, en las que se elaboran y envían datos de acción a los pre-accionadores y accionadores. Además cumplen la importante función de programación, pudiendo introducir, crear y modificar las aplicaciones del programa.
- Son de tamaño reducido y permite la posibilidad de controlar más de una máquina con el mismo equipo, pero necesita contar con técnicos calificados y adiestrados específicamente para ocuparse de su buen funcionamiento [47].



**Figura 19.** Modelo de un PLC Siemens [47]

#### 4.2.2 Cantidad de ozono en un volumen conocido

Se determina la cantidad de ozono en gramos o microgramos para un volumen determinado partiendo de la relación de la densidad del aire, con el propósito de conocer el valor a cumplir dentro de las normas.

El volumen total del lugar de referencia a aplicar el generador de ozono es  $8,74 \text{ m}^3$ .

La densidad del aire es  $1,3 \text{ kg/m}^3$  a la presión atmosférica normal.

$$\rho_{\text{aire}} = \left(1,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) * \left(\frac{1 \text{ g}}{0,001 \text{ kg}}\right)$$

$$\rho_{\text{aire}} = 1,3 \text{ g}/0,001 \text{ m}^3$$

$$\text{Si: } \frac{1,3 \text{ g}}{0,001 \text{ m}^3} = \frac{x}{8,74 \text{ m}^3} \quad (3)$$

$$x = \frac{(1,3 \text{ g}) * (8,74 \text{ m}^3)}{0,001 \text{ m}^3}$$

$$x = 11362 \text{ g}$$

↓

Gramos de aire en un volumen de  $8,74 \text{ m}^3$

- Para la concentración de ozono en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  establecido en la OMS con el mismo volumen tenemos:

$$\text{Si: } \frac{100 \mu\text{g}}{1 \text{ m}^3} = \frac{x}{8,74 \text{ m}^3} \quad (4)$$

$$x = \frac{(100 \mu\text{g}) * (8,74 \text{ m}^3)}{1 \text{ m}^3}$$

$$x = 874 \mu\text{g}$$

Es lo mismo decir: existe 874  $\mu\text{g}$  de ozono cada 8,74  $\text{m}^3$  que 100  $\mu\text{g}$  de ozono en 1  $\text{m}^3$  porque ambos valores se encuentran en los límites permisibles de la norma de la OMS.

- Para la concentración de ozono en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  establecido en la Norma Ecuatoriana de la Calidad de aire, en el factor de alerta con el mismo volumen tenemos:

$$\text{Si: } \frac{200 \mu\text{g}}{1 \text{ m}^3} = \frac{x}{8,74 \text{ m}^3} \quad (5)$$

$$x = \frac{(200 \mu\text{g}) * (8,74 \cancel{\text{m}^3})}{1 \cancel{\text{m}^3}}$$

$$x = 1748 \mu\text{g}$$

↓

De igual forma, existe 1748  $\mu\text{g}$  de ozono cada 8,74  $\text{m}^3$  similar a 200  $\mu\text{g}$  de ozono en 1  $\text{m}^3$  porque ambos valores se encuentran en los límites permisibles de la Norma Ecuatoriana de la Calidad del aire en uno de los 3 factores de estudio.

Los microgramos calculados representan la cantidad de ozono aceptable para el lugar específico que cumpla con las 2 condiciones de la tabla 2.

### 4.2.3 Material dieléctrico

Una vez mencionado los componentes internos de un generador de ozono se comienza a evaluarlos ante de su construcción, para lo cual se empieza con la preparación del material dieléctrico.

El material dieléctrico seleccionado para la celda generadora de ozono es un tubo de vidrio, porque como se explica en la tabla 3, el vidrio es un excelente material al trabajar con ozono. En la figura 20 se presenta el tubo de vidrio PYREX el cual tiene gran estabilidad al ataque químico, ideal en los trabajos a altas temperaturas, y como

la generación de ozono necesita de alto voltaje este material dieléctrico es el apropiado para resistir calor.



**Figura 20.** Tubo de vidrio PIREX  
**Fuente:** Instruequpos

Un valor de longitud y diámetro conveniente para el tubo de vidrio, está entre los 95 mm de largo y 12,5 mm de radio externo, ya que este número es semejante a la dimensión del vidrio circular de la celda generadora de un aparato de ozono ya usado como se ve en la figura 21, y por consiguiente los electrodos de aluminio y la protección de la celda se basan en ese valor.



**Figura 21.** Dimensión del vidrio circular de una celda generadora usada  
**Fuente:** DelZone

Existen muchos métodos al momento de cortar un vidrio plano, uno de ellos es utilizando el denominado punta de diamante, pero son escasas las técnicas de corte en un vidrio circular; por esa razón para la obtención de un tubo de vidrio con una longitud determinada se utiliza una resistencia en espiral cuya estructura física se indica en la figura 22, la cual se conecta a los 120 V de la red eléctrica.

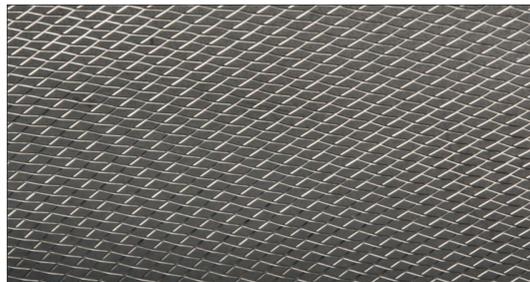


**Figura 22.** Resistencia en espiral  
**Fuente:** Provelec

#### 4.2.4 Celda generadora de ozono

La estructura de la celda generadora de ozono es 1 material dieléctrico y 2 electrodos.

El electrodo debe ser un material conductor de corriente por eso se selecciona al aluminio, ya que es un excelente conductor del calor y la electricidad y, en relación con su peso, es casi dos veces mejor que el cobre [48]. Entre el acero inoxidable y el aluminio hay diferencia de valoración según la tabla 3, pero en cuanto a espesor y manipulación la malla de aluminio es la adecuada como se refleja en la imagen adjunta.



**Figura 23.** Malla de aluminio  
**Fuente:** Promacero

La malla de aluminio envuelve al vidrio circular interna y externamente, y todo esto se coloca en un tubo PVC (Policloruro de Vinilo) roscado de  $1 \frac{1}{4}$  o  $1 \frac{1}{2}$  de pulgada con referencia al diámetro del material dieléctrico como se enseña en la figura 24, ya que es ideal para resistir al calor y presentan una excelente resistencia a la corrosión

por ozono [49]. El tubo PVC sirve como protección del alto voltaje que se produce en la celda generadora de ozono y debe constar de 2 tapas ubicado en ambos extremos del tubo para que no exista fugas de aire y mucho menos de ozono.



**Figura 24.** Tubo PVC roscado  
**Fuente:** Industria Argentina

Cabe recalcar que el tamaño del material dieléctrico y la malla de aluminio son dependientes, por lo que la longitud de estos elementos no debe sobrepasar los 95 mm.

#### **4.2.5 Gas de alimentación**

La fuente capaz de proporcionar un caudal de aire constante y además tiene dimensiones apropiadas para su colocación en la caja contenedora del generador de ozono es un motor de aire de pecera. Como se explica en la sección preliminar de la referencia teórica, es recomendable utilizar aire como gas de alimentación porque al usar oxígeno en la formación del compuesto químico denominado ozono este llega a ser tóxico.

Existen todo tipo de motor de aire de pecera con sus respectivas características, dimensiones y ambiente de trabajo, a continuación se presenta la tabla 4 con las siguientes comparaciones:

**Tabla 4.** Comparación de 3 tipos de motores de aire de pecera

Modelo	Características	Dimensión (mm)	Ambiente de trabajo
Heto (SK-9102)	Power = 2,5 W Caudal = 2,5 l/min	Largo = 85 Ancho = 45 Alto = 34	Producto que se coloca por encima del nivel del agua.
JAD (SP-1300A)	Power = 9 W Caudal = 400 l/h	Largo = 100 Ancho = 60 Alto = 190	Necesario colocar dentro del agua por ser un producto sumergible.
Power 500	Power = 5 W Caudal = 2,6 l/min (2 salidas)	Largo = 110 Ancho = 90 Alto = 40	Trabaja con normalidad en ambientes externos al agua.

Fuente: Investigador

Del análisis de los 3 tipos de motores de aire de pecera, inmediatamente se descarta el segundo modelo y todos sus similares porque esta bomba tiene que ser instalado dentro del agua, debido al calentamiento que produce su estructura en su constante funcionamiento.

El primer y tercer modelo por el contrario son ideales en dimensión, ambiente de trabajo y caudal, sin embargo el modelo inicial tiene 1 sola salida de flujo de aire en comparación con el modelo Power 500 representado en la figura 25, lo cual es importante que tenga más de 1 salida de aire porque cuando la concentración de ozono es demasiado alta solamente se bloquea una de las salidas, lo que no sucede con el motor Heto SK-9102, por lo que la mejor elección del tipo de motor de aire es el tercer modelo (Power 500).



**Figura 25.** Bomba de aire a utilizar como gas de alimentación  
**Fuente:** Pet Shop

Ahora con respecto a las mangueras se puede elegir tranquilamente cualquier tipo de material si se trabaja solo con aire, pero al trabajar con ozono se selecciona un material resistente a este gas, por esa razón se manipula una manguera de poliuretano como se muestra en la figura 26, porque el Poliuretano tiene una buena resistencia a los productos químicos, UV y una excelente resistencia al ozono [50]. El diámetro de la manguera de poliuretano depende del diámetro de la entrada de aire en la bomba de pecera.



**Figura 26.** Manguera de poliuretano  
**Fuente:** Mundi Aire

#### **4.2.6 Fuente de Alto voltaje**

Una forma de obtener alto voltaje es:

- a) mediante la relación de un transformador flyback con un balastro electrónico,
- b) con un transformador elevador.

Es necesario conocer el valor de alto voltaje que proporcionan los transformadores, por lo que si no hay un instrumento de medición exclusivo para este voltaje, se procede a elaborar uno por medio del cálculo de divisor de voltaje. El funcionamiento de ambos transformadores conlleva a unos pasos que se detallan en la tabla 5.

**Tabla 5.** Pasos para el funcionamiento de los transformadores

Transformador	Pasos
Flyback con balastro electrónico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar la estructura interna del flyback con la intención de saber su devanado primario y secundario.</li> <li>• Conseguir algunos balastros electrónicos de diferente potencia para obtener el arco eléctrico.</li> <li>• 2 cables del balastro se conectan a los 120V y 2 pines del mismo balastro se conectan al devanado primario del flyback.</li> <li>• Las terminales del devanado secundario del flyback se conectan a la celda generadora de ozono.</li> </ul>
Elevador	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conectar directamente los cables del devanado primario a la red de 120V y los cables del devanado secundario a los electrodos de la celda generadora de ozono.</li> </ul>

**Fuente:** Investigador

De los 2 transformadores se escogería sin ningún problema el transformador elevador por su sencillez en el funcionamiento, pero no se opta por lo rápido y simple sino por aquel elemento que de verdad proporcione alto voltaje que será evidenciado por el instrumento de medición, es decir se elige a los 2 transformadores para pruebas de selección.

#### **4.2.7 Automatización por ciclos de tiempo**

El generador de ozono no puede actuar continuamente porque este gas tiene un límite permisible al entrar en contacto con el aire y como el objetivo es no sobrepasar la concentración de ozono y perjudicar la salud de las personas, el trabajo del generador es por ciclos de tiempo.

Al tener un control en el funcionamiento del equipo de ozono, este trabaja limitadamente lo que le permite reposar por un período y continuar con el proceso de generación de ozono. Se toma como referencia 3 dispositivos de automatización como es el arduino, el microcontrolador PIC 16F628A y el PLC Siemens S7-1200; a partir de estos equipos se conocen sus características para seleccionar el más apropiado como se explica en la tabla 6.

**Tabla 6.** Características y precio de 3 dispositivos de automatización

Automatizar con:	Características	Precio
Arduino UNO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El lenguaje de programación del arduino es C++ que es fácilmente diseñado en un sistema operativo Windows.</li> <li>• Puede ser programado como temporizador</li> <li>• Solo la placa de Arduino tiene varios elementos, a eso se le adiciona un circuito independiente hecho en baquelita lo cual dificulta su instalación en algún equipo por el espacio ocupado.</li> </ul>	\$ 15
Microcontrolador PIC 16F628A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere de un programador para PIC con cable USB.</li> <li>• Un PIC permite programar y controlar tareas electrónicas por medio del tiempo siempre y cuando se realice una programación correcta.</li> <li>• Cuando el proyecto es complejo el PIC necesita llamar a varias instrucciones para que una tarea en particular sea realizada.</li> </ul>	\$ 30
PLC Siemens S7-1200	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programación fácil y entendible por medio de instrucciones gráficas que se visualizan en el propio software del PLC.</li> <li>• Tamaño considerable para ubicar en una pequeña caja de plástico.</li> <li>• No es aconsejable en pequeñas automatizaciones por el desperdicio de recursos internos.</li> </ul>	\$ 150

**Fuente:** Investigador

Con respecto a la tabla 6 si se considera solo el precio, directamente se selecciona al Arduino pero para programar un temporizador en descenso existen algunos factores que son comparados en la tabla 7.

**Tabla 7.** Cuadro de comparación en la automatización por ciclos de tiempo

<b>Factores</b> <b>Dispositivos de automatización</b>	Ahorro en precio	Menor espacio al integrarlo a un circuito	Reducidas líneas de programación	Temporizador para un proceso simple de control
Arduino UNO	✓		✓	✓
PIC 16F628A	✓	✓	✓	✓
PLC Siemens S7-1200			✓	

**Fuente:** Investigador

- De los 3 aparatos de automatización al PLC Siemens S7-1200 se descarta por su precio, por su tamaño y porque no se lo va a emplear en un proceso industrial.
- No es considerado también el arduino, no porque la realización del programa de ciclos de tiempo sea compleja sino por el espacio que ocupa cuando a la placa del arduino se le agrega el circuito de control incluido la LCD.
- Con el microcontrolador PIC 16F628A, se puede realizar una programación de temporizador en descenso, se apague automáticamente el equipo una vez que se cumpla todo el tiempo establecido y solamente se detiene el proceso cuando la persona lo desee. Dentro del circuito de control el PIC puede ser añadido ocupando menos espacio en el generador de ozono, por esa razón se lo selecciona para la automatización por ciclos de tiempo.

#### **4.2.8 Caja contenedora del generador de ozono**

En esta caja o contenedor se colocan todos los elementos que hacen posible la generación de ozono incluido cables, interruptores, fusible, etc., en donde los factores a considerar en esta caja son tipo de material, peso y dimensiones.

### *Material*

No por trabajar con un transformador o circuitos electrónicos se escoge inmediatamente una caja con material aislante a la electricidad:

- con una caja de metal existe un gran espacio, resistencia a golpes y caídas, componentes que pueden ser soldadas sin ningún problema, pero hay un factor que elimina todas las ventajas y es su peso. Una caja de metal por más buena y resistente que sea tiene mayor peso eso sin colocar los elementos del generador de ozono,
- con una caja de plástico, se puede hacer fácilmente perforaciones para insertar cables, fusibles, leds, interruptores, pulsadores, cortar un espacio determinado y sobretodo colocar todos los componentes del generador de ozono.

### *Peso*

El peso es un factor a tomar en cuenta porque todos los componentes del generador de ozono tienen un peso específico que en conjunto forman un peso total, y ese peso total se coloca en la caja, por lo que dicha caja debe tener un peso **muy bajo** para que en conjunto sea menor a 7,5 kg.

Los 7,5 kg se toman como referencia del purificador de aire doméstico con ozono de la empresa CosemarOzono para un área de 50 m<sup>2</sup> [28].

### *Dimensión*

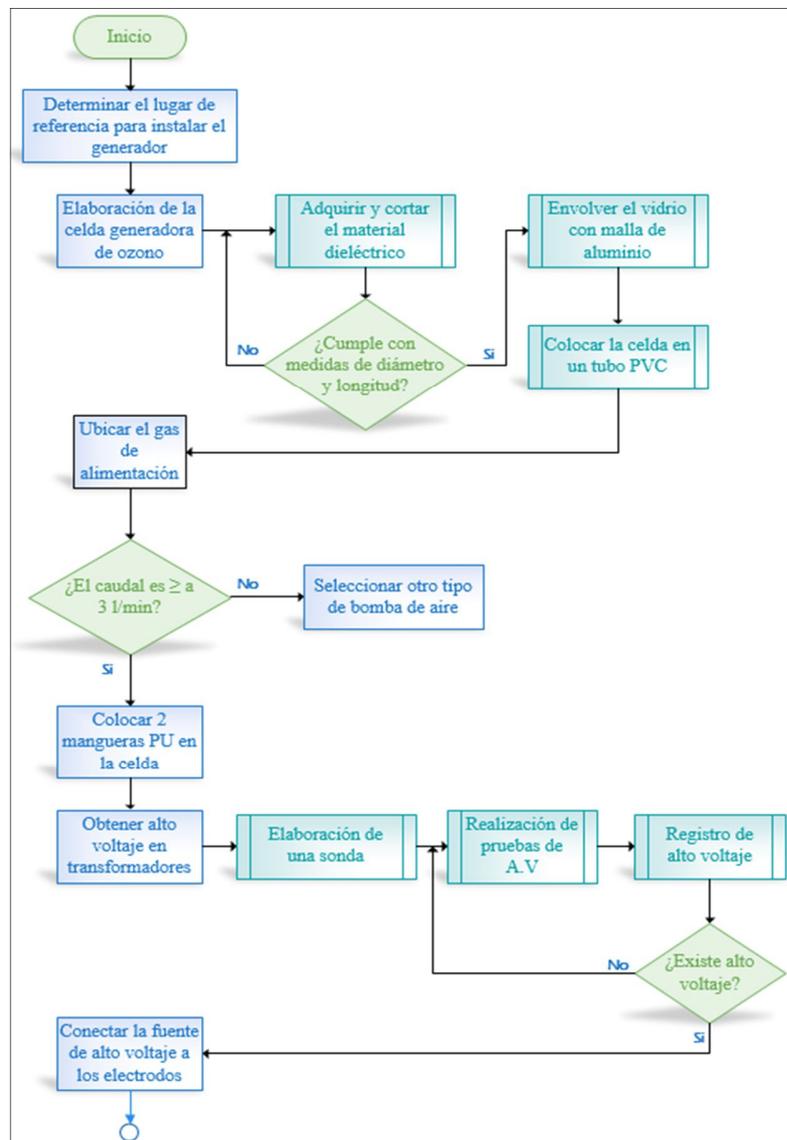
La dimensión de la caja está relacionada con todos los componentes internos del generador de ozono, es más se puede decir que la caja con el generador son directamente proporcionales, porque mientras uno ocupa mayor espacio pues la dimensión del otro aumenta, por lo que hay 2 opciones:

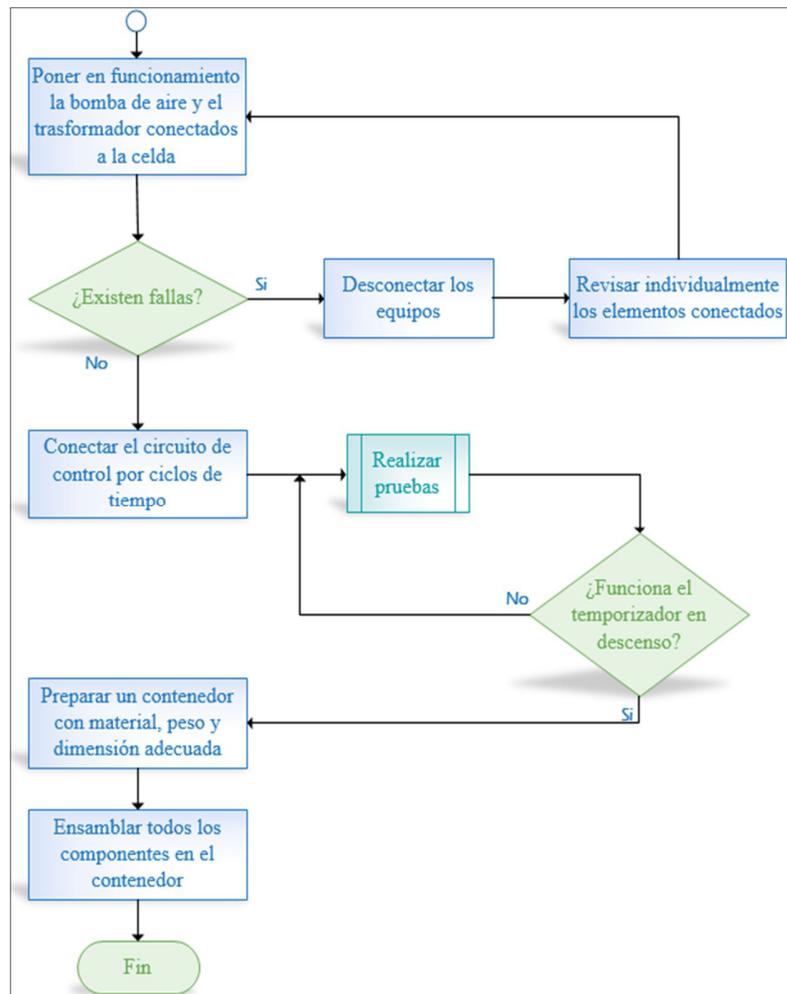
- adquirir primero la caja y de ahí los elementos del generador a instalar se manejan en función de las dimensiones del contenedor, o

- adquirir primero cada unidad del generador de ozono y al final cuando sea el momento de conectar todo, se consigue un contenedor con dimensiones acorde al generador.

### 4.3 Diseño del generador de ozono con respecto a parámetros establecidos

La construcción del generador de ozono está sujeto a diversos parámetros en cada uno de sus componentes internos, por lo que el orden del diseño se explica en la figura 27, de modo que el generador tenga un funcionamiento apropiado.





**Figura 27.** Diagrama de flujo del diseño del generador de ozono con parámetros establecidos  
**Fuente:** Investigador

#### 4.4 Obtención de materiales en base a parámetros de diseño

Todos los materiales para la construcción del generador de ozono automatizado, han sido seleccionados en base a tablas y fundamentos teóricos de empresas e incluso tesis, por lo que el desarrollo del proyecto de investigación desde este punto, ya no se enfoca solo en métodos teóricos, por el contrario se convierte en un análisis práctico, destinado a que el generador de ozono funcione de acuerdo a su programación y que la concentración de ozono permanezca dentro de los límites permisibles en las normas.

Los materiales a adquirir con sus respectivas características se indican en la tabla 8.

**Tabla 8.** Materiales para la construcción del generador de ozono

Material	Características	Cantidad	Precio
Tubo de vidrio	PIREX, Ø = 20-25 mm	1	\$5
Resistencia en espiral	Potencia = 1000 W	1	\$4
Lija para vidrio	N 100	½ m	\$2,1
Tubo PVC roscado	Polimex, 1 ¼ pulgada	1	\$15
Bomba de pecera 1	Potencia = 2,5 W y caudal = 2,5 l/min	1	\$9
Bomba de pecera 2	Potencia = 9 W y caudal = 400 l/min	1	\$15
Bomba de pecera 3	Potencia = 5 W y caudal = 2,6 l/min	1	\$14
Manguera de poliuretano	Ø = 6 mm	2 m	\$1,8
Transformador flyback 1	Modelo 6174V-6006H	1	\$18
Transformador flyback 2	BSC25-5519	1	\$15
Balastos electrónicos (foco ahorrador)	Potencia = 62 W, 45 W, 25 W y 15 W	4	\$18,75
Balastos electrónicos (tubo fluorescente)	Potencia = 40 W y 20 W	2	\$8,5
Transformador elevador	Voltaje devanado secundario > 10 kV DC	1	\$60
Materiales para sonda	Resistencias 1 MΩ, thermofit, puntas de medición	varios	\$7
Multímetro	TRUPER MUT-830	1	\$10
Arduino	UNO R3	1	\$15
Microcontrolador PIC	16F628A	1	\$45
PLC Siemens	S7-1200	1	\$153
Caja de metal	Largo = 295 mm, ancho = 200 mm y alto = 140 mm	1	\$15

Caja de plástico	Largo = 255 mm, ancho = 190mm y alto = 83 mm	1	\$22
<b>TOTAL</b>			<b>\$453,15</b>

Fuente: Investigador

## 4.5 Construcción del generador de ozono

### 4.5.1 Elaboración de la celda generadora de ozono

#### Corte y pulido del tubo de vidrio (material dieléctrico)

Se utiliza una resistencia en espiral para la obtención de un tubo de vidrio con una longitud igual a 95 mm. Con esta técnica de corte de vidrio circular se puede seccionar sin ningún problema materiales de menor resistencia al calor como botellas de vidrio o tubos de ensayo de  $\varnothing = 15$  mm como se observa en la figura 28 (una vez lijado).



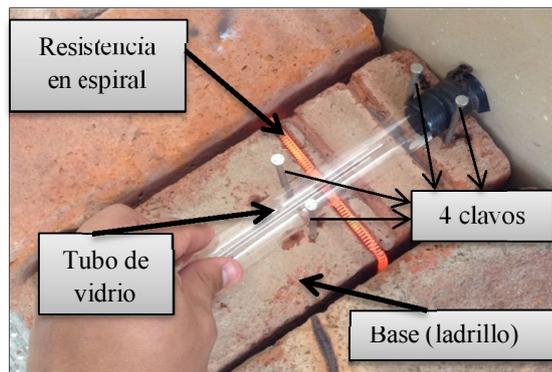
**Figura 28.** Modelos de corte de vidrio circular  
Fuente: Investigador

#### Procedimiento – Corte de material dieléctrico

Una vez seleccionado los materiales para el procedimiento de corte como un tubo de ensayo PIREX, una resistencia en espiral 1000 W – 110 V, cable térmico, clavos de acero y una base que soporte grandes temperaturas como un ladrillo, se realiza una guía en dicha base cuya distancia es 98 mm. Después se conecta los extremos de la

resistencia en espiral al cable térmico y estos a la red eléctrica solo cuando la resistencia está en la guía.

Existe sujeción del tubo de vidrio con 4 clavos de acero para que mediante el giro constante se seccione la parte requerida de la celda generadora de ozono, como se presenta en la figura 29.



**Figura 29.** Elementos para el corte del tubo de vidrio  
**Fuente:** Investigador

El tiempo de funcionamiento de la resistencia depende del ambiente al cual está expuesto que por sugerencia puede ser de 15 minutos activo, y el descanso entre 10 y 15 minutos, esto es para que el tomacorriente no sufra quemaduras, ni afecte a la instalación eléctrica del lugar ni a la integridad física de la persona. Con el entorno de trabajo todo es relativo, es decir, en un día caluroso el operario al estar en contacto directo tanto del sol como de la incandescencia de la resistencia tiende a fatigarse fácilmente; mientras que en un ambiente con demasiado viento y sombra no le perjudica en exceso al operario pero si a la vida útil de la resistencia en espiral, porque predomina un cambio inmediato de temperatura, como se muestra en la figura 30.



**Figura 30.** Funcionamiento irregular de la resistencia en espiral 1000w  
**Fuente:** Investigador

No permitir que la resistencia funcione en ladrillos húmedos, peor mojados, porque este elemento llega a la zona de ruptura muy rápido, además de tener la posibilidad de provocar cortocircuitos. Ante esta situación lo óptimo es trabajar en una zona que no perturbe al operario y a los elementos de trabajo.

Después de un cierto tiempo con la aplicación de esta técnica de corte se obtienen algunos resultados no tan favorables hasta conseguir el tubo de vidrio deseado.

### **1ra Prueba**

Con el giro del tubo de ensayo PIREX sobre la resistencia en espiral 1000 W se produce una marca como se enseña en la figura 31, sobre esa marca se hace rotar el tiempo ya mencionado pero tener precaución de no golpear el tubo de ensayo con algún elemento, con el pretexto de ayudar en el corte, porque el vidrio al estar a una elevada temperatura produce fisuras en otras zonas que están alejadas al corte ideal, indicado en la figura 32.



**Figura 31.** Marca producida por el calor de la resistencia en el tubo de ensayo  
**Fuente:** Instruequipos



**Figura 32.** Fisuras en el tubo de ensayo correspondiente a la 1ra prueba de corte  
**Fuente:** Instruequipos

### 2da Prueba

En un segundo tubo de ensayo PIREX se hace la misma marca de la figura 31 y una vez que esa sección está casi profunda no intentar romperlo con la herramienta denominado diamante para cortar vidrio, porque la distribución de fuerzas no son las mismas en un vidrio circular, es decir, al ejercer más fuerza en un lado de la marca del tubo de vidrio esa sección se fragmenta como se enseña en la figura adjunta, dañando todo el material dieléctrico.



**Figura 33.** Fisuras en el tubo de ensayo correspondiente a la 2da prueba de corte  
**Fuente:** Instruequipos

### 3ra Prueba

Finalmente en un tercer tubo de ensayo PIREX, sin la necesidad de utilizar algún otro elemento de corte se hace girar el material dieléctrico el tiempo que sea necesario como se presenta en la figura 34, con una pequeña presión en el borde superior del

vidrio con un material no conductor del calor, se hacen los giros hasta adquirir el tubo de vidrio hueco como se observa en la figura 35.



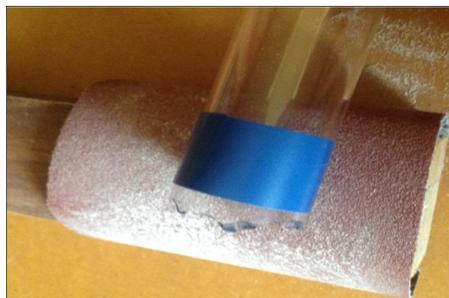
**Figura 34.** Giro del tubo de ensayo en la 3ra prueba de corte  
**Fuente:** Instruequipos



**Figura 35.** Corte deseado del material dieléctrico  
**Fuente:** Instruequipos

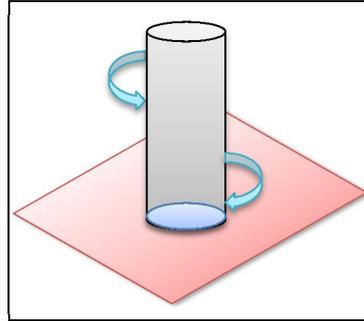
#### Procedimiento – Pulido de material dieléctrico

Con el material de la figura 35, se procede a pulir el borde que tenga fragmentos de vidrio, a través de un pedazo de lija N 100 como se indica en la figura 36.



**Figura 36.** Lijado del tubo de vidrio previamente cortado  
**Fuente:** Instruequipos

El movimiento para tener bordes parejos debe ser circular en ambos sentidos (horario y antihorario) y que durante los giros, el tubo de vidrio se encuentre perpendicular a la lija N 100 como se ilustra en la figura 37. De esta manera se adquiere el material dieléctrico listo a ser acoplado a la malla de aluminio.



**Figura 37.** Movimientos realizados en el pulido del material dieléctrico  
**Fuente:** Investigador

### Material dieléctrico con electrodo

Material dieléctrico = Tubo de vidrio

Electrodo = Malla de aluminio

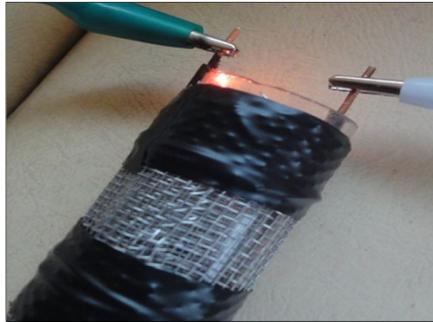
Al tubo de vidrio de aproximadamente 95 mm de longitud, se lo envuelve por dentro y fuera con malla de aluminio; esta malla tiene una medida menor a los 95 mm, es decir un rango entre 85 y 90 mm como se observa en la figura 38. La razón por la que la malla de aluminio es menor a la longitud del vidrio circular, es para que el alto voltaje aplicado a los electrodos no produzca chispa alguna y quemé al aluminio.



**Figura 38.** Tubo de vidrio revestido con malla de aluminio interna y externamente  
**Fuente:** Investigador

Después de obtener la celda generadora de ozono se le adicionan 2 alambres de cobre dentro y fuera del tubo de vidrio como se ilustra en la figura 39, a los que se le denomina como electrodo interno y externo respectivamente, con el propósito de que

la conexión con el transformador de alto voltaje sea efectiva y no exista dificultad al ensamblarlo al tubo PVC roscado.



**Figura 39.** Celda generadora de ozono con alambres de cobre  
**Fuente:** Investigador

Toda la celda generadora de ozono se acopla en un tubo PVC por protección de los elementos del generador de ozono y seguridad del operario cuando se manipula en pruebas de funcionamiento. En una de la tapas de la rosca PVC se hacen 2 orificios cuyos valores de distancia son iguales a la de los 2 electrodos de la celda, ya que estos se conectan al devanado secundario del transformador de alto voltaje.

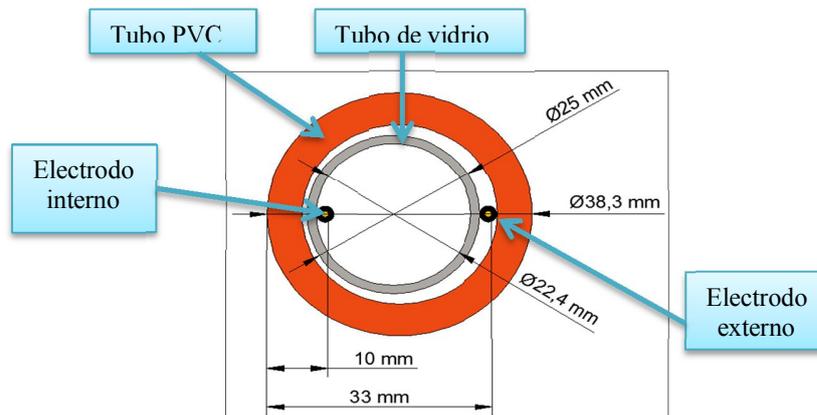
#### Medidas de los orificios en el tapón del tubo PVC roscado

El tubo PVC roscado que se utiliza es de 1 ¼ de pulgada porque es ideal con el diámetro y longitud de la celda generadora de ozono elaborada.

La obtención de cada una de las medidas de los elementos antes mencionados es mediante el uso de un calibrador pie de rey marca Mitutoyo, precisión de 0,05 mm, porque así los valores registrados son los más apropiados al momento de proyectar en un software de diseño asistido por computador.

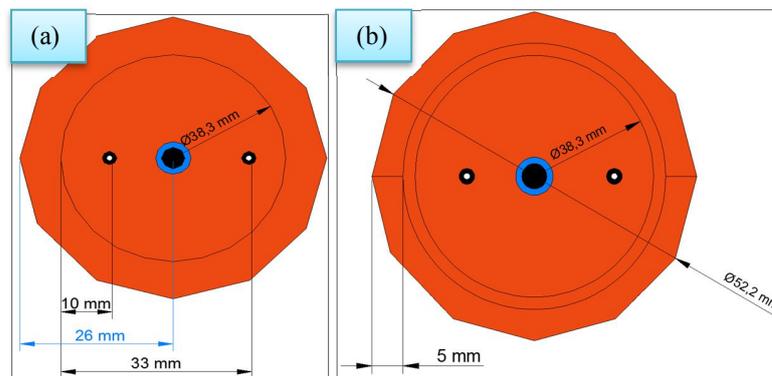
Para conocer la medida correcta de las perforaciones en el tapón del tubo PVC roscado primero se introduce la celda generadora en dicho tubo, luego se toma como referencia la distancia existente entre el borde del tubo PVC (izquierdo) y el alambre de cobre internamente ubicado en el tubo de vidrio (electrodo interno) cuya dimensión es igual a 10 mm indicado en la figura 40.

Después se evalúa la distancia que se encuentra entre el mismo borde del tubo PVC y el electrodo externo de la celda generadora de ozono lo cual es de 33 mm, recalcando que el diámetro del material dieléctrico es 25 mm (Figura 40).

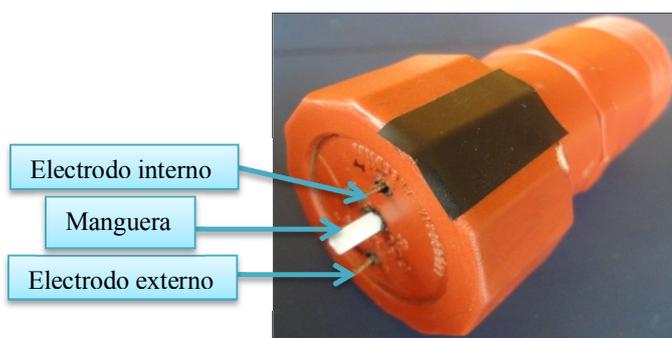


**Figura 40.** Dimensiones del tubo PVC roscado con la celda generadora de ozono (Vista superior\_AutoCAD 2013)  
**Fuente:** Investigador

Tomando como origen la parte circular de uno de los dos tapones del tubo PVC roscado se procede a medir los 2 valores de 10 mm y 33 mm como se presenta en la figura 41a, y en esos puntos se realiza unos pequeños orificios utilizando un elemento adecuado como caudín. De igual manera se hace un abertura de mayor diámetro a 26 mm iniciando desde el borde izquierdo del tapón ya que este corresponde a la manguera para el ingreso del aire ( $O_2$ ) [Figura 41a]. La parte circular del tapón tiene el mismo diámetro del tubo PVC roscado de 38,3 mm como observa en la figura 41b, por lo que es posible determinar y hacer unas pequeñas aberturas para el ajuste de los electrodos ilustrado en la figura 42.



**Figura 41.** Dimensiones para orificios del tapón del tubo PVC roscado. (a) Vista superior\_AutoCAD 2013, (b) Vista inferior\_AutoCAD 2013  
**Fuente:** Investigador



**Figura 42.** Orificios de los electrodos y la manguera en un tapón del tubo PVC roscado  
**Fuente:** Industria Argentina

Posteriormente el otro tapón en donde no se encuentra perforación alguna se introduce una manguera a la misma medida de los 26 mm ya que esta representa la salida de ozono, es decir, el tapón sobrante solo tiene un orificio.

De esta forma los electrodos de la celda generadora de ozono se acoplan al tubo PVC roscado listos para conectar al devanado secundario del transformador de alto voltaje, y un vez que dicha protección se encuentra totalmente cerrado y puesto en funcionamiento, por una de las mangueras ingresa aire y por la otra sale el gas denominado ozono.

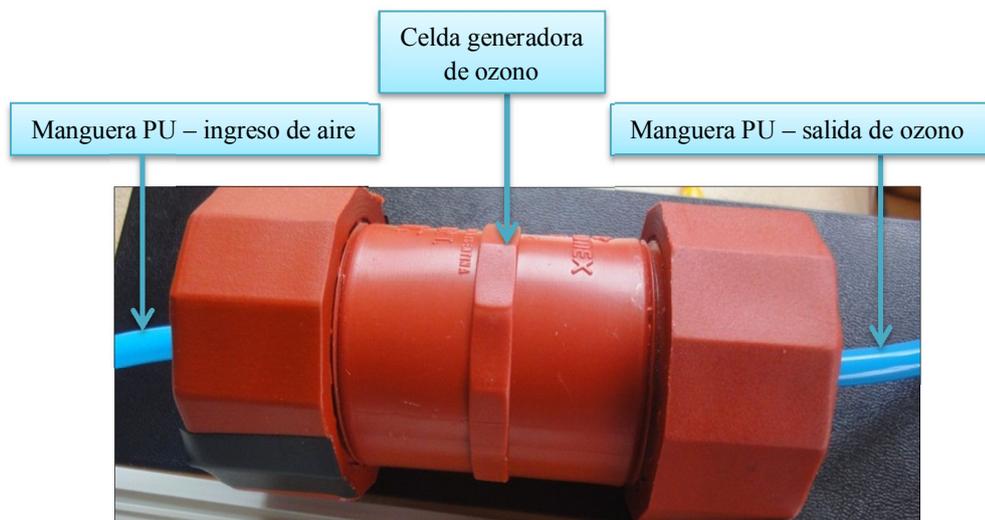
En el Anexo 1 se puede comparar las mediciones realizadas en el programa AutoCAD 2013 con los valores originales del tubo PVC y la celda generadora de ozono.

#### 4.5.2 Instalación del gas de alimentación

La celda generadora de ozono tiene 2 mangueras de las cuales 1 de ellas se asigna al ingreso del aire y la otra a la salida del gas ozono.

##### Selección y disposición del gas de alimentación

El motor de aire para pecera Power 500 posee 2 salidas, cada una de 1,3 l/min. Con un par de mangueras propias del motor de aire, se procede a unir las 2 salidas de aire en los 2 extremos de una T pequeña y así obtener el doble de l/min, luego en la parte suelta de la T se coloca una manguera de poliuretano (PU) el cual corresponde al ingreso de aire y después se prepara una pequeña porción de la misma manguera para instalar a la salida de la celda generadora de ozono como se ilustra en la figura 43.



**Figura 43.** Celda generadora de ozono elaborada  
**Fuente:** Investigador

A pesar de que la concentración de ozono no es demasiado alta, el efecto corrosivo puede estar presente en el transcurso del tiempo, por eso se toma las debidas consideraciones; además es una manguera maleable apta para su ubicación en la caja contenedora del generador de ozono.

En la práctica se utiliza los 3 motores de aire de pecera, cada uno en el funcionamiento del generador de ozono en toda la trayectoria del flujo del caudal y de igual forma que la teoría, se percibe que el tercer modelo de la tabla 4 es el conveniente. Se garantiza la existencia de ozono con los elementos empleados por su olor característico.

### **4.5.3 Selección de fuente de alto voltaje**

Así como todos los elementos del generador son importantes, la fuente de alto voltaje es también principal porque este valor debe ser superior a lo que proporciona la red eléctrica y solo se lo puede conseguir a través de un transformador de tensión, mismo que se aplica a los 2 electrodos de la celda generadora de ozono.

El alto voltaje no debe disminuir con la presencia del aire u oxígeno porque eso es un factor que afecta a la concentración de ozono.

#### *Determinación del devanado primario y secundario en el transformador flyback*

Todo tipo de flyback produce un arco eléctrico por lo que el análisis se lo realiza con el flyback 6174V-6006H y BSC25-5519. La estructura interna del transformador Flyback 6174V-6006H [51], se identifica en la figura 44.

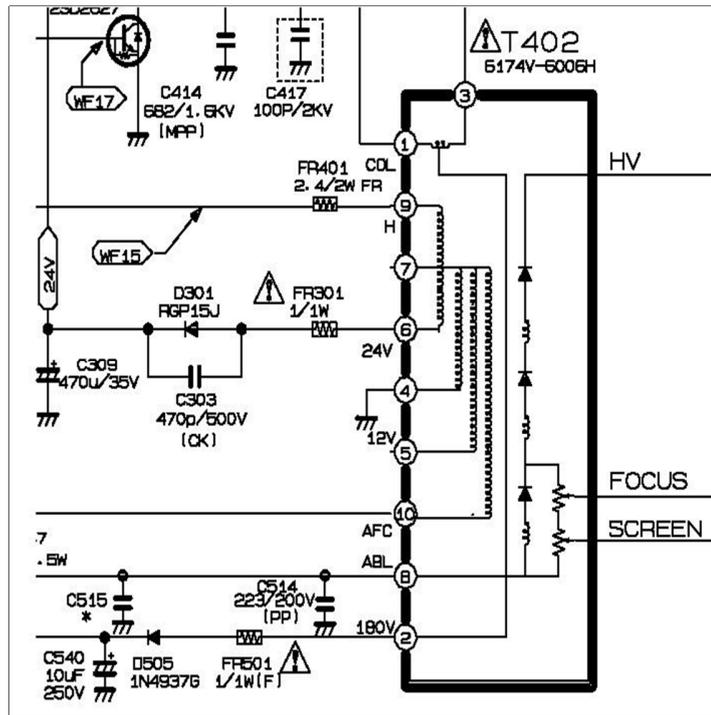


Figura 44. Estructura interna del Flyback 6174V-6006H [51]

La distribución de los terminales del transformador Flyback 6174V-6006H se encuentran en la figura 45. Se puede relacionar de manera directa los terminales de cada uno de los devanados de este Flyback guiado en su estructura interna como se ve en la tabla 9, siendo el pin 8 (ABL) el del alto voltaje.

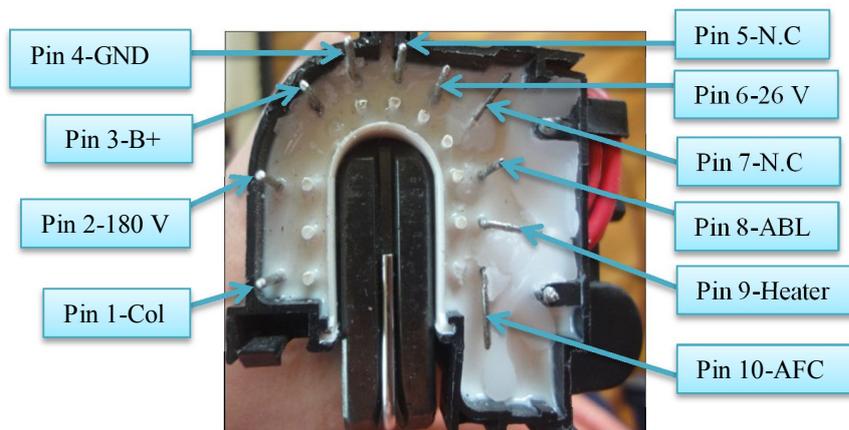


Figura 45. Identificación de terminales en el Flyback 6174V-6006H  
Fuente: Baisheng electronic LTD.

**Tabla 9.** Relación de terminales de cada devanado en un Flyback 6174V-6006H

Tipo	Número de terminales de cada devanado en el transformador	Nombres de cada terminal
Flyback 6174V-6006H	1 – 3	COL – B+/110 V
	2 – 3	180 V – B+/110 V
	1 – 2	COL – 180 V
	6 – 9	26 V – Heater
	4 – 7	GND – N.C
	5 – 7	N.C – N.C
	7 – 10	N.C – AFC
	4 – 6 o 4 – 9	GND – 26 V o GND – Heater
	5 – 6 o 5 – 9	N.C – 26 V o N.C – Heater
	6 – 10 o 9 – 10	26 V – AFC o Heater – AFC

**Fuente:** Investigador

Se utiliza el multímetro digital TRUPER modelo MUT-830 en la opción de resistencia, para la determinación del devanado primario del Flyback 6174V-6006H, en donde se registra el valor que presenta el instrumento de medición en cada una de los terminales detallado en la tabla 10.

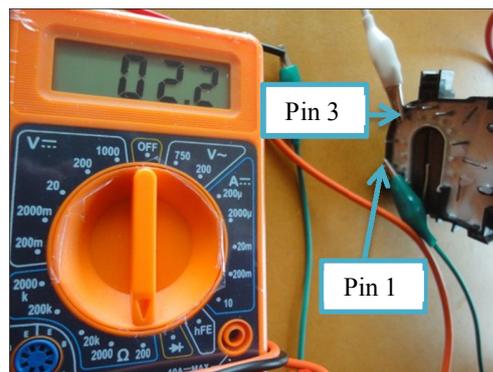
**Tabla 10.** Valor de resistencia en los terminales del Flyback 6174V-6006H utilizando el multímetro TRUPER

Nombre del pin	Número de Pin	Valor de resistencia ( $\Omega$ )
COL	1	2.2
B+	3	
180 V	2	1.9
B+	3	
COL	1	2.2
180 V	2	
26 V	6	1.7

Heater		9			
GND		4			
N.C		7		—	
N.C		5			
N.C		7		—	
N.C		7			
AFC		10		—	
GND	GND	4	4	1.6	1.6
26 V	Heater	6	9		
N.C	N.C	5	5		
26 V	Heater	6	9	—	—
26 V	Heater	6	9		
AFC	AFC	10	10	—	—

**Fuente:** Investigador

Se coloca las puntas del multímetro TRUPER en los terminales que se va a medir como se ilustra en la figura 46, esto se hace en cada pareja de terminales de la tabla 10.



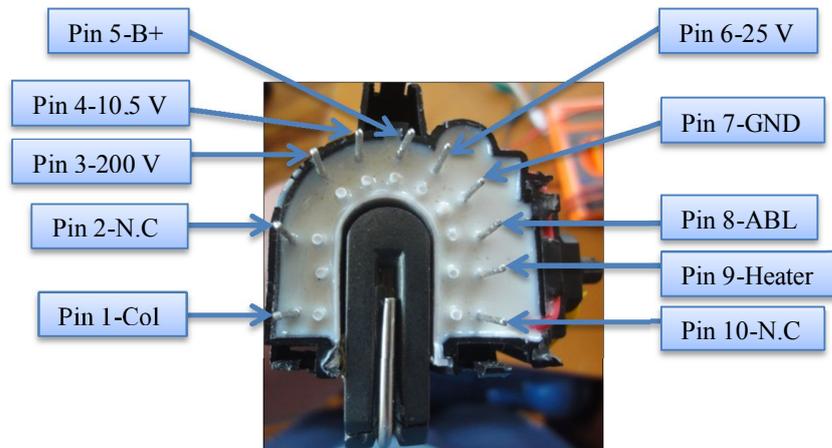
**Figura 46.** Valor de resistencia en el multímetro TRUPER en los pines 1 y 3 del Flyback 6174V-6006H

**Fuente:** Investigador

El alto voltaje deseado no se basa en un solo modelo de transformador de línea, por el contrario se adquiere otro tipo de Flyback para comparar el voltaje que se obtiene y a partir de ese análisis seleccionar el más conveniente por lo que el otro modelo de transformador Flyback que se manipula es el BSC25-5519, cuya estructura interna no cuenta con un esquema gráfico pero si se puede conocer el nombre y número de sus terminales a través del Flyback FS37012M que sirve como un importante reemplazo [52] y tienen el siguiente orden:

- Pin 1= Colector (COL)
- Pin 2= N.C
- Pin 3= 200 V (Video)
- Pin 4= 10,5 V
- Pin 5= B+ (133 V)
- Pin 6= 25 V (Vertical)
- Pin 7= GND
- Pin 8= ABL
- Pin 9= Heater
- Pin 10= N.C

La disposición de los números de los terminales en la estructura física del transformador Flyback BSC25-5519 se encuentra en la figura 47, y también se utiliza el multímetro digital TRUPER modelo MUT-830 en la opción de resistencia para la determinación del devanado primario del Flyback BSC25-5519, en donde se registra el valor que presenta el instrumento de medición en cada una de los terminales detallado en la tabla 11.



**Figura 47.** Identificación de terminales en el Flyback BSC25-5519  
**Fuente:** AMHJ1

**Tabla 11.** Valor de resistencia en los terminales del Flyback BSC25-5519 utilizando el multímetro TRUPER

Nombre del pin	Número de Pin	Valor de resistencia ( $\Omega$ )
COL	1	2
B+	5	
200 V	3	—
B+	5	
COL	1	—
200 V	3	
25 V	6	1.6
Heater	9	
N.C	2	—
GND	7	
N.C	2	—
10,5 V	4	
N.C	2	NO
AFC	-----	

25 V	Heater	6	9	1.5	1.2
GND	GND	7	7		
N.C	N.C	2	2	—	—
25 V	Heater	6	9		
25 V	Heater	6	9	NO	NO
AFC	AFC	—	—		

Fuente: Investigador

Al comparar la tabla 10 y la tabla 11 se observa que en tres parejas de terminales el valor de resistencia es semejante así como el nombre de cada pin. La tabla 12 presenta un resumen de aquellos valores de los 3 pares de terminales que registra el multímetro.

**Tabla 12.** Valor de resistencia en 6 terminales del Flyback 6174V-6006H y el Flyback BSC25-5519 utilizando el multímetro TRUPER

Tipo Flyback	Nombre del pin		Número de pin		Valor de resistencia ( $\Omega$ )	
Flyback 6174V-6006H	COL		1		2.2	
	B+		3			
	26 V		6		1.7	
	Heater		9			
	GND	GND	4	4	1.6	1.6
	26 V	Heater	6	9		
Flyback BSC25-5519	COL		1		2	
	B+		5			
	25 V		6		1.6	
	Heater		9			
	25 V	Heater	6	9	1.5	1.2
	GND	GND	7	7		

Fuente: Investigador

Los transformadores flyback por lo general tienen valor de resistencia del Colector a +B (tabla 11), otros flybacks como los transistores de colores miden de igual forma de Colector a +B y también de 180 V a B+ (tabla 10); en ninguno de los dos tipos de flyback se mide continuidad con GND (tierra) ya que si pasa eso significa que el transformador está en corto. Consecuentemente a esto la tabla 12 evidencia la similitud de funcionamiento del Colector con B+ por esta razón:

- el devanado primario del Flyback 6174V-6006H está en el pin 1 y 3, y
- el devanado primario del Flyback BSC25-5519 está en el pin 1 y 5.

En el Flyback BSC25-5519 el devanado primario es fijo por no registrar valor de resistencia del colector y B+ con otros terminales, pero en el Flyback 6174V-6006H puede existir otros terminales para el devanado primario por existir continuidad del Colector con B+ y con 180 V además de poseer igual valor de resistencia basado en la tabla 10; por tal motivo la demostración del arco eléctrico se efectúa con los terminales 1-2 y 1-3 considerando a este último como devanado primario fijo por la ayuda de la tabla 12 y el esquema de su estructura interna.

Los otros terminales de la tabla 12 sirven para demostrar el nombre correcto del pin con su respectivo terminal lo cual también es importante porque al conocer los otros pines como por ejemplo el GND se realiza nuevas pruebas con el propósito de indicar que los 2 transformadores Flyback no están en corto y son útiles en la obtención del arco eléctrico.

En el análisis del devanado primario del Flyback 6174V-6006H no se toma en cuenta al pin 8 (ABL) ya que este representa el terminal negativo del **devanado secundario**, y como consecuencia pese a no tener un diagrama gráfico del Flyback BSC25-5519 el pin 8 también constituye el terminal negativo del devanado secundario, correspondiendo al terminal positivo el cable rojo más largo y con un elemento circular.

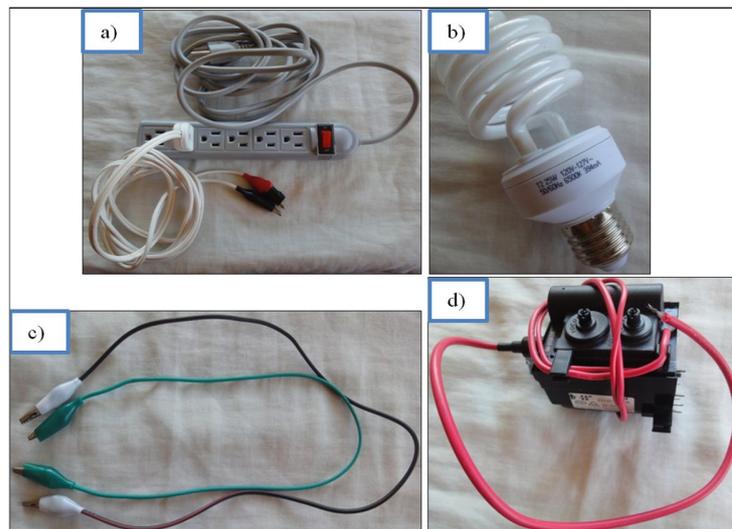
En el Anexo 2A se indica que los 2 transformadores no se encuentran en corto mientras que en el Anexo 2B se puede apreciar los valores de resistencia que presenta el multímetro y se colocan en la tabla 10 y 11 de los 2 tipos de Flyback.

*Pasos para la obtención del arco eléctrico mediante la relación del transformador flyback y el circuito de un foco ahorrador (balastro electrónico)*

Una forma rápida de conseguir el arco eléctrico del Flyback es mediante el balastro electrónico que se encuentra internamente en los focos ahorradores, pero no se puede garantizar que el primer balastro conseguido sirva como fuente de alto voltaje para el generador de ozono, ya que esto depende del alto valor de tensión que produzca el flyback a través de diferentes pruebas para su selección.

A continuación se describe los pasos para obtener el balastro electrónico y posteriormente el alto voltaje mostrado en su arco eléctrico.

**Paso 1.-** Adquirir los materiales adecuados como un cable eléctrico para suministrar 120 V de la red, foco ahorrador de 25 W, cables con lagartos y el transformador flyback 6174V-6006H, como se ve en la figura 48.



**Figura 48.** Materiales para la obtención de alto voltaje como: a) Cable eléctrico, b) foco ahorrador, c) cables con lagartos, d) transformador flyback 6174V-6006H

**Fuente:** Investigador

**Paso 2.-** Identificar los devanados primarios y secundarios del transformador flyback; lo cual se basa en el tipo de transformador que se emplea siendo este el modelo 6174V-6006H y corresponde al pin 1-3 como devanado primario y al pin 8 con el cable rojo más largo del transformador como devanado secundario negativo y positivo respectivamente.

Se conoce lo devanados del flyback 6174V-6006H porque se encuentra en la sección de: *Determinación del devanado primario y devanado secundario en el transformador flyback.*

**Paso 3.-** Conseguir un foco ahorrador cuya potencia sea de 25 W como se observa en la figura 49, ya que el alto voltaje se evidencia en esta condición presente en el Anexo 2C.



**Figura 49.** Foco ahorrador de potencia = 25 W  
**Fuente:** Sylvania

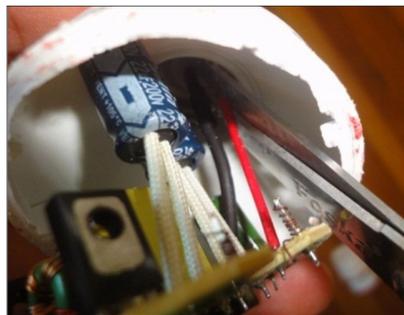
**Paso 4.-** Cortar el foco por la línea que se divide entre la base y la posición de filamentos ya sea con una cuchilla o una sierra indicado en la figura 50, luego retirar su circuito interno conocido como balastro electrónico cortando los cuatro alambres que están unidos a la posición de filamentos (figura 51) y los 2 cables que están enlazados al casquillo de rosca, mismos que están diferenciados por colores (rojo y negro) presente en la figura 52.



**Figura 50.** Corte del foco de 25 W entre la base y la posición de filamentos  
**Fuente:** Sylvania



**Figura 51.** Corte de alambres unido a la posición de filamentos en el foco de 25 W  
**Fuente:** Sylvania

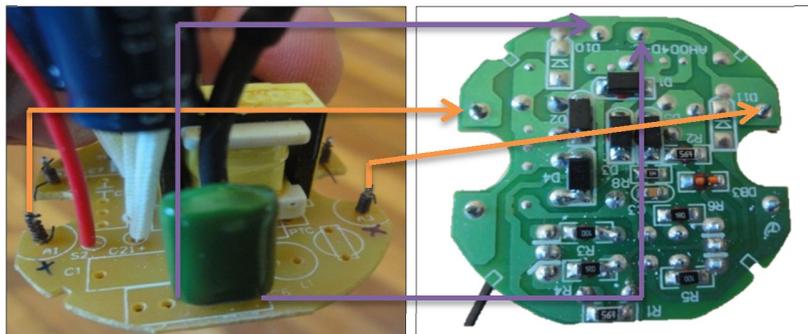


**Figura 52.** Corte de cables enlazados al casquillo de rosca  
**Fuente:** Sylvania

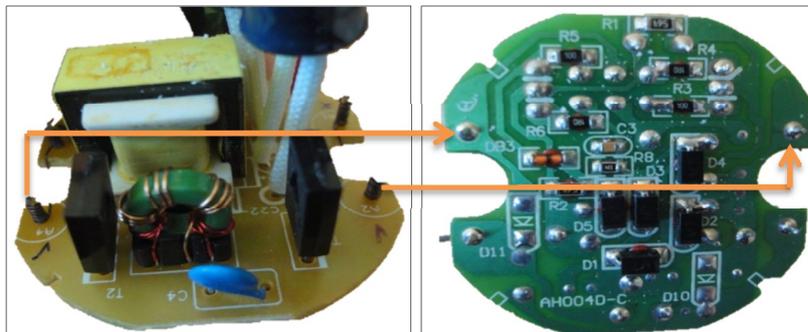
**Paso 5.-** Con el circuito interno se procede a identificar los pines que se conectan al devanado primario del Flyback, para lo cual de los 4 pines del balastro electrónico del foco ahorrador se descarta a los 2 que están enlazados a un capacitor de poliéster mostrado en la figura 53, y se toma en cuenta los pines que no lo están como lo indica

la figura 54; estos se conectan a los 2 terminales del devanado primario del flyback y como se trabaja con corriente alterna no se considera polaridad.

En las etapas del balastro electrónico de la figura 16, para poder obtener alto voltaje no se considera el símbolo del capacitor de poliéster, sino solo el del capacitor electrolítico, por esa razón se hace el análisis del Paso 5.



**Figura 53.** Pin A1 y A3 enlazados al capacitor de poliéster  
**Fuente:** Sylvania



**Figura 54.** Pin A2 y A4 aptos para conexión  
**Fuente:** Sylvania

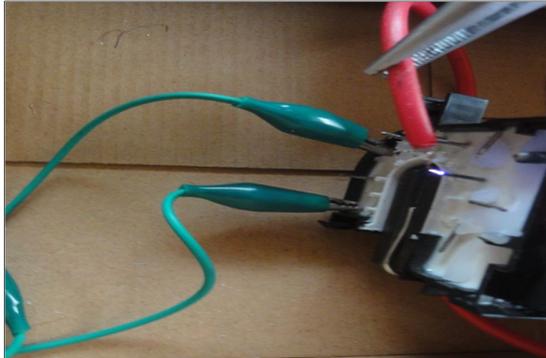
**Paso 6.-** Tomar las debidas precauciones antes de suministrar 120 V de la red al circuito interno, como equipo de protección en manos y ojos y verificación de conexiones ya que se obtiene un alto voltaje. Con esas breves recomendaciones se enchufa a la red eléctrica.

**Paso 7.-** Conectar los 2 cables (rojo y negro) propios del balastro electrónico, a la red eléctrica de 120 V mediante un cable eléctrico como se observa en la figura adjunta.



**Figura 55.** Suministro de 120 V de la red eléctrica al balastro electrónico  
**Fuente:** Investigador

**Paso 8.-** Acercar el terminal positivo del devanado secundario del flyback 6174V-6006H al pin 8 como lo indica la figura 56, ya que dicho pin representa el terminal negativo del devanado secundario y solo así se puede visualizar el alto voltaje.



**Figura 56.** Alto voltaje mediante la relación del circuito electrónico de 25 W y el transformador flyback  
**Fuente:** Baisheng electronic LTD

La mayoría de balastos electrónicos en general son de diferente estructura por ejemplo: tienen más de 2 capacitores de poliéster conectado a todos los pines o también los 3 pines del circuito están enlazados a 3 capacitores de poliéster; por lo que se sugiere el siguiente parámetro cuando existe una condición similar:

**Paso 9.-** Realizar la conexión en cada par de pines del balastro sin repetir y sin considerar los capacitores enlazados; los terminales que generan el arco eléctrico se selecciona para el devanado primario. La aplicación de este último Paso se indica en el Anexo 2C.

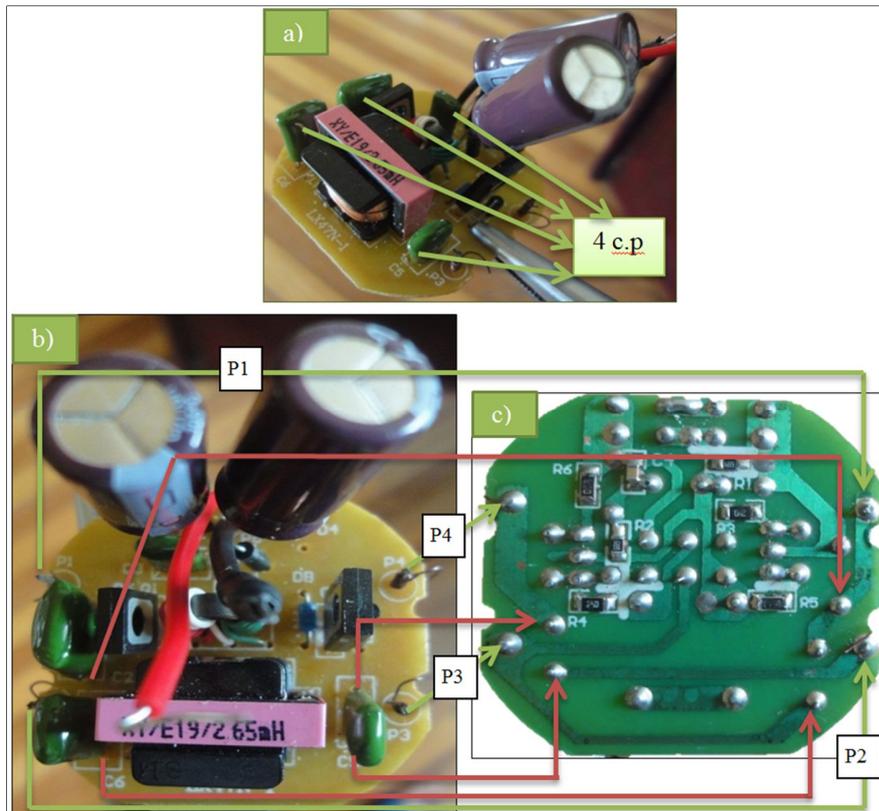
El alto voltaje que produce la relación entre el transformador flyback y el circuito interno de un foco ahorrador (balastro electrónico) es variable debido a diferentes elementos que lo componen, por esa razón para conseguir el arco eléctrico se utiliza un foco ahorrador de 62 W, 45 W y el ya manipulado de 25 W con el fin de no depender solo de un circuito y adicionalmente se usa un balastro electrónico de tubo fluorescente de 20 W.

**Identificación teórica de los terminales del balastro electrónico para obtener alto voltaje.**

De manera directa y en base al Paso 5 solo con observar la distribución de los elementos del balastro electrónico se puede mencionar las siguientes características:

- Foco ahorrador de 62 W (características)  
Marca: GL (General Light)  
110 V, 60 Hz, 62 W  
Base = E27 (Rosca Edison 26 - 27 mm)

En su circuito electrónico se localizan 4 capacitores de poliéster (c.p) conectados independientemente a cada pin, como se observa en la figura 57. No es posible obtener el arco eléctrico.



**Figura 57.** Circuito electrónico del foco ahorrador de 62 W: a) 4 capacitores p., b) frente, c) reverso  
**Fuente:** General Light

- Foco ahorrador de 45 W (características)

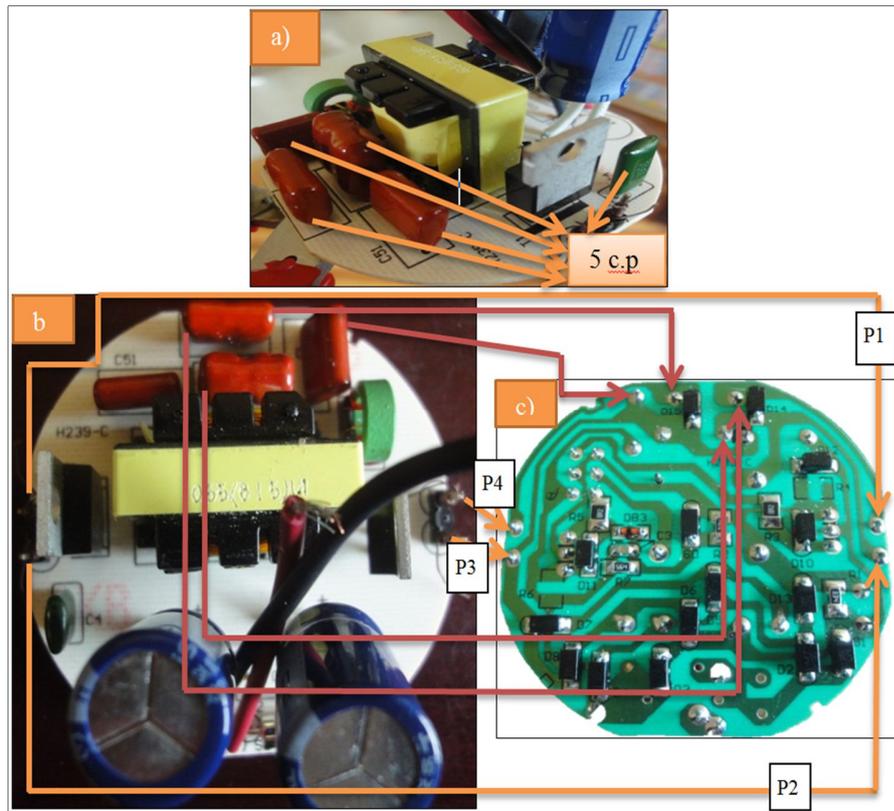
Marca: Maviju

110 - 130 V, 60 Hz, 45 W

Corriente = 385 mA

Base = E27

En su circuito hay 5 capacitores de poliéster (c.p) conectados independientemente a cada pin, como se presenta en la figura 58. No es posible obtener el arco eléctrico.



**Figura 58.** Circuito electrónico del foco ahorrador de 45 W: a) 5 capacitores p., b) frente, c) reverso  
**Fuente:** Maviju

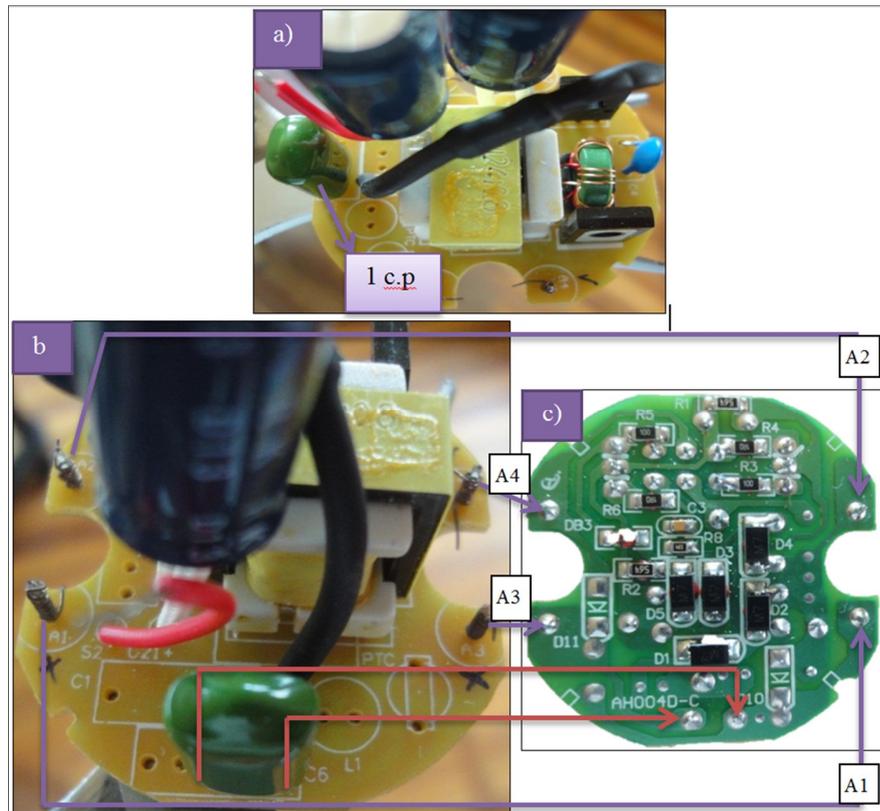
- Foco ahorrador de 25 W (características)

Marca: Sylvania Mini-Lynx Spiral Eco

120 – 127 V, 50 / 60 Hz, 25 W

Corriente = 394 mA

En el circuito se localiza 1 capacitor de poliéster (c.p) conectado a los pin A1 y A3 por lo que esas partes no producen alto voltaje, como lo muestra la figura 59. Los pines A2 y A4 son los que producen el arco eléctrico.



**Figura 59.** Circuito electrónico del foco ahorrador de 25 W: a) 1 capacitor p., b) frente, c) reverso  
**Fuente:** Sylvania

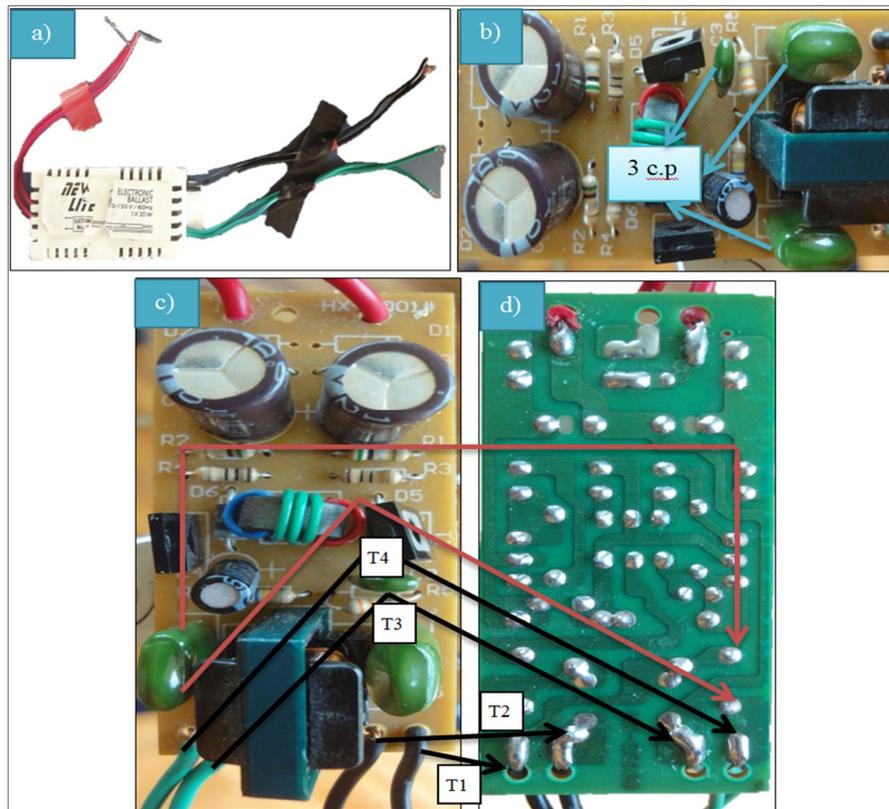
- Balastro electrónico de 20 W (características)

Marca: New Lite

110 – 130 V, 60 Hz

1x20 W

El balastro electrónico de 20 W tiene un circuito que consta de una protección, con terminales que hacen posible cualquier tipo de conexión y en cuanto a su estructura posee 3 capacitores de poliéster (c.p) de los cuales uno está unido a los terminales T1 y T4, indicado en la figura adjunta. Es posible obtener el arco eléctrico en los terminales T2 y T3.



**Figura 60.** Balastro electrónico de 20 W: a) modelo físico, b) 3 capacitores p., c) frente, d) reverso  
**Fuente:** New Lite

Del balastro electrónico de tubo fluorescente de 20 W y del balastro electrónico de foco ahorrador de 25 W, se consigue sin ningún problema el arco eléctrico en 2 de sus terminales; sin embargo con una potencia de 45 W y 62 W es lo contrario porque cada uno de los 4 pines está enlazado por lo mínimo a un capacitor de poliéster, lo que no sucede con los circuitos de potencia menor.

**Identificación práctica de los terminales del balastro electrónico para obtener alto voltaje.**

Basado en el Paso 9 y con el propósito de verificar la presencia o ausencia del alto voltaje en los balastros de 62 W, 45 W, 25 W y 20 W se aplica la fórmula matemática de Combinación  $[C(n, r)]$ .

La fórmula de Combinaciones sin repetición es:  $C(n, r) = \frac{n!}{r!(n-r)!}$  (6)

Donde: n = número de elementos a escoger

r = número de elementos de cada combinación

Con la fórmula (6), en la estructura del balastro electrónico a diferente potencia existen 4 pines, siendo estos el número de elementos a escoger (n), mientras que el número de elementos de cada combinación es 2 (r), porque solo 2 pines son los que se conectan al devanado primario del flyback. Por lo tanto:

$$C(4,2) = \frac{4!}{2!(4-2)!}$$

$$C(4,2) = \frac{4 \times 3 \times 2!}{2!(2)!}$$

$$C(4,2) = \frac{4 \times 3}{2 \times 1}$$

$$C(4,2) = \frac{12}{2}$$

$$C(4,2) = 6$$

Hay 6 combinaciones posibles entre los 2 pines que van al devanado primario del flyback con 4 pines propios del circuito electrónico de 62 W, 45 W, 25 W y 20W, los cuales se detallan a continuación:

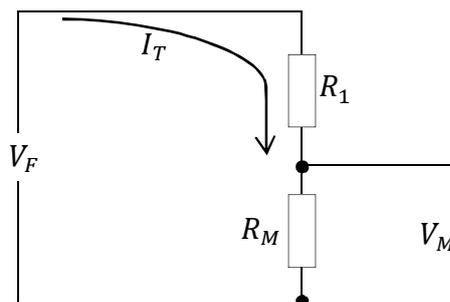
- para el balastro de un foco ahorrador de 62 W y 45W, las combinaciones son las siguientes: P1-P2, P1-P3, P1-P4, P2-P3, P2-P4, P3-P4;
- para el balastro de un foco ahorrador de 25 W, las combinaciones son las siguientes: A1-A2, A1-A3, A1-A4, A2-A3, A2-A4, A3-A4;
- para el balastro de un tubo fluorescente de 20 W, las combinaciones son las siguientes: T1-T2, T1-T3, T1-T4, T2-T3, T2-T4, T3-T4.

En el Anexo 2C se detalla la comprobación de las 6 combinaciones, con cada uno de los 3 circuitos electrónicos pertenecientes a los focos ahorradores de 62 W, 45 W y 25 W incluido el balastro electrónico de tubo fluorescente de 20 W, en el que se determina que la obtención del alto voltaje a través de la relación de un transformador flyback con un circuito electrónico de un foco ahorrador, está en el rango de potencia igual a 25 W para este proyecto.

Cálculos para la elaboración de una sonda del multímetro digital que registra valores de alto voltaje continuo (DC)

La medición de voltaje continuo o alterno se lo realiza fácilmente con un multímetro cuando se encuentra dentro de un rango específico que por lo general mide hasta 750 V en voltaje alterno y 1000 V en voltaje continuo. El arco eléctrico del Flyback no produce solo 1000 V DC sino un valor mucho mayor que no puede ser registrado y es necesario para la selección de la fuente de alto voltaje.

Hay un método que aumenta el rango de medición del multímetro exclusivamente para voltaje directo [53], es decir, con el mismo multímetro utilizado es posible registrar valores DC superiores a 1000 V; para lo cual se recurre a un divisor de voltaje como lo muestra la figura 61.



**Figura 61.** Esquema gráfico del divisor de tensión entre el voltaje del flyback y el multímetro  
**Fuente:** Investigador

Donde:  $V_F$  = voltaje de entrada = voltaje del flyback

$V_M$  = voltaje de salida = voltaje del multímetro

$R_1$  = resistencia seleccionada

$R_M$  = resistencia del multímetro

$I_T$  = corriente total

El divisor de tensión es un circuito que divide el voltaje de entrada en otros 2 voltajes diferentes y de menor valor.

La demostración de la fórmula del divisor de voltaje se basa en la figura 61 de la siguiente manera:

- 2 resistencias en serie  $\rightarrow R_T = R_1 + R_M$  (7)

- intensidades iguales por ser circuito en serie  $\rightarrow I = I_1 = I_M$  (8)

- suma de tensiones parciales igual al voltaje de entrada  $\rightarrow V_F = V_1 + V_M$  (9)

- ley de ohm en voltajes parciales  $[V = I * R] \rightarrow V_1 = I_1 * R_1$  (10)

$$V_M = I_M * R_M \quad (11)$$

- los 2 voltajes parciales tiene la misma intensidad (8) por lo que las fórmulas (10) y (11) cambian sus corrientes  $\rightarrow V_1 = I * R_1$  (12)

$$V_M = I * R_M \quad (13)$$

- sustituir (12) y (13) en (9) para luego despejar la corriente

$$V_F = I * R_1 + I * R_M$$

$$V_F = I (R_1 + R_M)$$

$$I = \frac{V_F}{R_1 + R_M} \quad (14)$$

- sustituir (14) en (13)  $\rightarrow V_M = \frac{V_F}{R_1 + R_M} * R_M$

- finalmente se obtiene la fórmula del divisor de voltaje  $V_M = \frac{R_M}{R_1 + R_M} * V_F$  (15)

De la fórmula (15) los voltajes y las resistencias son valores que se pueden identificar, pero existe un caso particular con  $R_1$  porque esta resistencia es la que se elabora manualmente y depende de  $R_M$  [53]. Por lo tanto se expresa así:

$$V_M = \frac{R_M}{R_1 + R_M} * V_F$$

$$\frac{V_M}{V_F} = \frac{R_M}{R_1 + R_M} \quad (16)$$

Voltaje fijo del multímetro = 1000 V DC y voltaje del flyback que se desea registrar = 10000 V DC ( $V_F$  es variable porque es un valor que la persona coloca para evaluación)

$$\frac{1000 \text{ V DC}}{10000 \text{ V DC}} = \frac{R_M}{R_1 + R_M}$$

$$\frac{1}{10} = \frac{R_M}{R_1 + R_M}$$

$$R_1 + R_M = 10 * R_M$$

$$R_1 = 9 * R_M \quad (17)$$

Es necesario conocer  $R_M$  por lo cual se aplica la fórmula para calcular la resistencia interna del multímetro del siguiente modo:

$$R_M = \frac{V_{B,R} * R}{V_B - V_{B,R}} \quad (18)$$

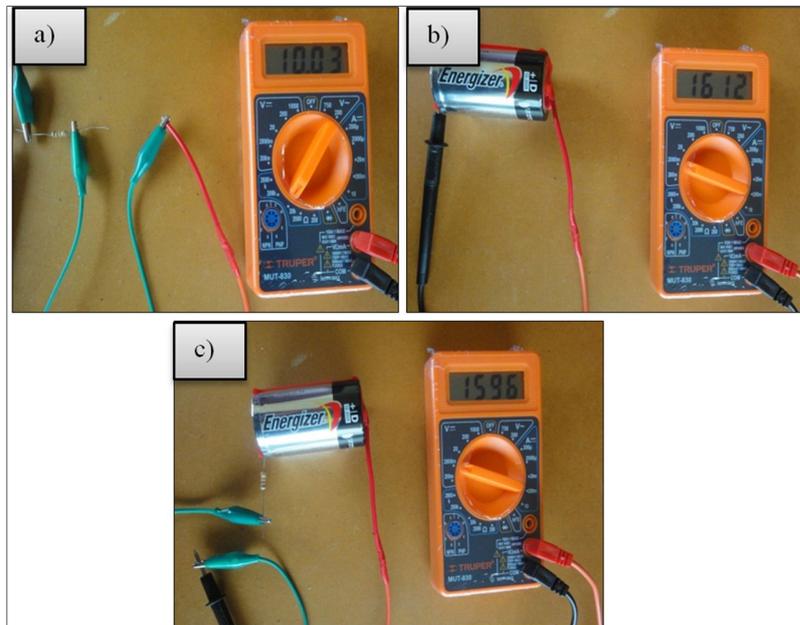
Donde:  $R$  = resistencia común

$V_B$  = voltaje de una pila

$V_{B,R}$  = voltaje de una pila con la resistencia común

- La resistencia común a la que se recurre es de cualquier valor, siendo la utilizada de 10 k $\Omega$  (marrón, negro, naranja).
- Para el voltaje de la pila se escoge cualquier tipo, seleccionando la batería tipo D.
- El  $V_{B,R}$  surge de la relación de la pila tipo D con la resistencia de 10 k $\Omega$ .

Se usa nuevamente el multímetro digital TRUPER modelo MUT-830 en la aplicación de la fórmula (18) registrando los valores de  $R$ ,  $V_B$  y  $V_{B,R}$  como se indica en la figura 62a), 62b) y 62c) respectivamente.



**Figura 62.** Valores de voltaje y resistencia en el multímetro TRUPER: a) resistencia de 10 kΩ, b) voltaje de pila tipo D, c) voltaje de pila tipo D con resistencia de 10 kΩ

**Fuente:** Investigador

Con respecto a la figura 62 se reemplaza los valores en la fórmula (18), obteniendo:

$$R_M = \frac{V_{B,R} * R}{V_B - V_{B,R}} = \frac{1596 \text{ mV} * 10.03 \text{ k}\Omega}{1612 \text{ mV} - 1596 \text{ mV}}$$

$$R_M = \frac{16007.88 \text{ mV} * \text{k}\Omega}{16 \text{ mV}}$$

$$R_M = 1000.49 \text{ k}\Omega * \frac{10^{-3} \text{ M}\Omega}{1 \text{ k}\Omega}$$

$$R_M = 1 \text{ M}\Omega \tag{19}$$

Sustituyendo el resultado (19) en (17) resulta  $\rightarrow R_1 = 9 * 1 \text{ M}\Omega$

$$R_1 = 9 \text{ M}\Omega$$



Esta es la resistencia que la persona hace y añade al multímetro digital para que el valor del flyback pueda ser registrado en el aparato de medición hasta 10000 V DC.

Hay 2 opciones: colocar una sola resistencia de 9 M $\Omega$  que no pueda soportar alto voltaje o colocar 9 resistencias en serie de 1 M $\Omega$  para que el voltaje se divida en cada una de ellas y no dañe el multímetro.

Las 9 resistencias en serie se integran a la punta negativa del instrumento de medición y hacen que sea posible registrar el valor de alto voltaje de los 2 transformadores Flyback.

En el Anexo 2D se presenta los pasos enfocados en la elaboración manual de  $R_1$  así como la comprobación de su funcionamiento una vez añadido al multímetro digital.

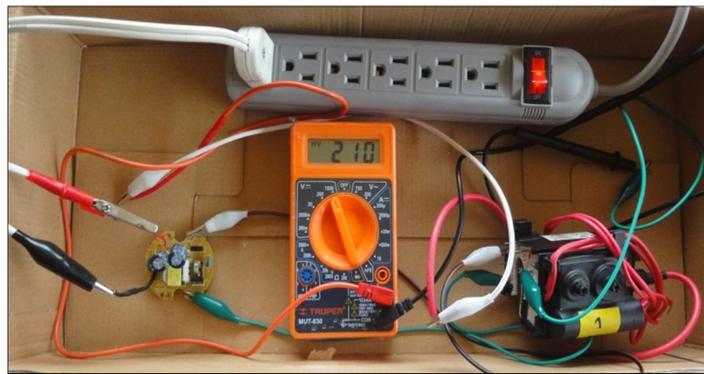
#### Registro de valores de alto voltaje mediante la relación de Flybacks y balastos electrónicos

Los valores que muestra el multímetro digital TRUPER en el parámetro de voltaje continuo, ofrecen una idea de la tensión de trabajo siempre y cuando se encuentran dentro de un rango específico, que es propio de cada instrumento de medición. Debido a la limitación existente de voltaje continuo se instala al multímetro la punta de medición negativa previamente elaborada y que se ostenta en el Anexo 2D, porque de esta forma se puede medir valores de voltaje hasta 10000 V DC.

El procedimiento para empezar a registrar valores de alto voltaje del flyback se describe a continuación:

- i. conectar los pines correspondientes del balastro electrónico al devanado primario del flyback,
- ii. luego enlazar la punta positiva del multímetro con el terminal positivo del devanado secundario del flyback,

- iii. después unir la sonda negativa elaborada con el terminal negativo del devanado secundario del flyback,
- iv. encender el multímetro digital en el parámetro de HV (alto voltaje), y,
- v. como paso final suministrar los 120 V de la red a los cables principales del balastro electrónico. Un ejemplo del valor de alto voltaje se ve en la figura 63.



**Figura 63.** Valor de alto voltaje registrado en el multímetro digital con la sonda negativa elaborada  
**Fuente:** Investigador

La sonda negativa tiene un factor de relación de 1/10, lo que significa que los valores registrados por el multímetro digital TRUPER son multiplicados por 10 para adquirir el valor real aproximado de voltaje continuo. En base al resultado de la figura 63 el número 210 se multiplica x10 lo que es igual a 2100 V DC, es decir la relación del flyback 6174V-6006H con el balastro electrónico de un foco ahorrador de 25 W entrega un alto voltaje de 2,1 kV.

A continuación se presenta la tabla 13 en el que se detalla los diferentes valores de alto voltaje registrados a través de la relación de los 2 tipos de transformador Flyback con 4 balastos electrónicos, 2 balastos de foco ahorrador y 2 balastos de tubo fluorescente.

**Tabla 13.** Valores de alto voltaje con 2 transformadores Flyback y 4 balastos electrónicos utilizando el multímetro TRUPER y la sonda negativa

<b>Modelo Flyback</b>	<b>Balastos electrónicos</b>	<b>Medición (V DC)</b>	<b>Valor aproximado de alto voltaje (V DC)</b>
6174V-6006H	Foco ahorrador 25W	210	2100
	Foco ahorrador 15W	396 – 408 – 260	3920 – 4080 – 2600
	Tubo fluorescente 40W	240	2400
	Tubo fluorescente 20W	275	2750
BSC25-5519	Foco ahorrador 25W	201	2010
	Foco ahorrador 15W	388 – 401 - 291	3880 – 4010 – 2910
	Tubo fluorescente 40W	243	2430
	Tubo fluorescente 20W	379	3790

**Fuente:** Investigador

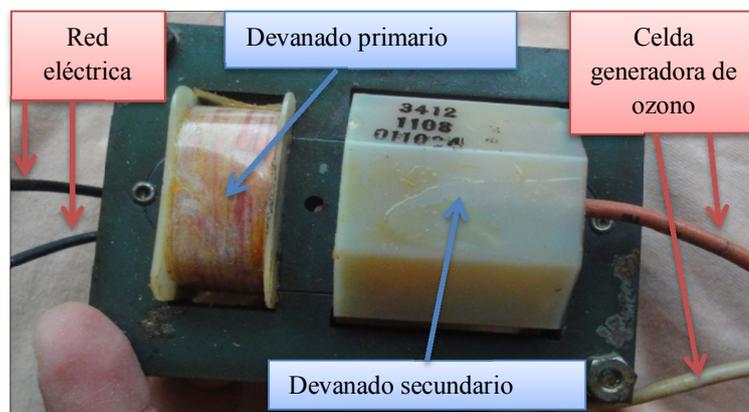
En el Anexo 2E se demuestra todos los registros de alto voltaje de la tabla 13 proporcionados por el multímetro TRUPER.

#### Selección de la fuente de alto voltaje

A pesar de conocer los valores de alto voltaje, ninguno es el apropiado para el generador de ozono porque todos los registros realizados son inestables especialmente cuando se emplea el balastro electrónico del foco ahorrador de 15 W, si la mayoría presentan un rango este llega a un límite, decremента su valor y nuevamente lo aumenta haciendo de su uso algo imposible. También no pueden ser seleccionados porque al momento de conectar con la celda generadora de ozono disminuyen su valor de alto voltaje, por ejemplo si tiene 3000 V en pocos minutos consta de 2000 V y regresan a su número inicial cuando se desconecta de la celda y se espera algunos minutos.

El objetivo de la fuente de alto voltaje para el generador de ozono es que su funcionamiento sea constante y no tenga limitaciones con la celda generadora, por lo que se descarta al transformador de líneas y se adquiere directamente un transformador elevador en donde el devanado primario tiene menor número de espiras que el devanado secundario y de igual forma produce un arco eléctrico.

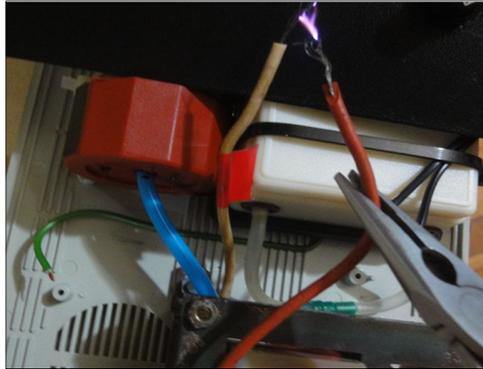
Los 2 devanados del transformador se localizan en una estructura de hierro, los cables negros del devanado primario corresponden a los 120 V de la red eléctrica y los cables rojo y blanco conciernen a la celda generadora de ozono como se observa en la figura 64.



**Figura 64.** Transformador de alto voltaje  
**Fuente:** Electrónica D.

El mayor voltaje de la tabla 13 es 3,79 kV por lo que es necesario conocer el voltaje del nuevo transformador a emplear, para eso se sigue el mismo procedimiento enfocado en el registro de alto voltaje con el multímetro digital TRUPER y la sonda negativa elaborada.

El transformador de alto voltaje produce un arco eléctrico mayor al del transformador flyback con balastro como se presenta en la figura 65, y con respecto al valor de la medición el multímetro indica valores aleatorios incomprensibles mostrados en la figura 66.



**Figura 65.** Arco eléctrico del transformador de alto voltaje  
**Fuente:** Electrónica D.



**Figura 66.** Incomprensibles valores de alto voltaje registrado en el multímetro digital  
**Fuente:** Investigador

Como el instrumento de medición registra hasta 10000 V DC se concluye que el arco eléctrico del nuevo transformador elevador tiene un voltaje mayor a 10 kV y por esa razón se lo selecciona como fuente de alto voltaje en el generador de ozono.

#### **4.5.4 Automatización del generador de ozono**

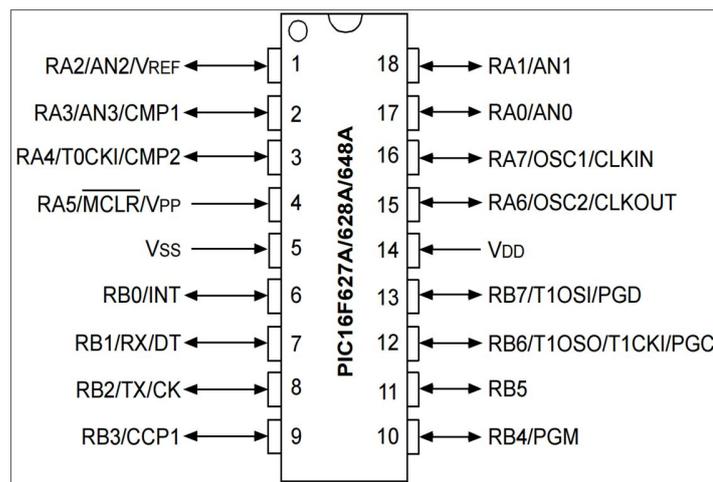
Antes de ensamblar y ubicar todos los elementos del generador de ozono en un contenedor compacto hay que realizar la automatización del mismo a través del control de tiempo. El generador de ozono está fabricado para que funcione durante un periodo indefinido pero el exceso de ozono en el aire es perjudicial, por eso se instala un limitante en el factor tiempo con un periodo máximo igual a 25 minutos.

El microcontrolador PIC es ideal en el control del tiempo, porque mediante una programación se puede establecer que el generador de ozono se desactive cuando el temporizador cumpla con el tiempo establecido por la persona.

### PIC 16F628A

El PIC 16F628A es un microcontrolador de 8 bit, posee una arquitectura RISC (computador con conjunto de instrucciones reducidas) avanzada así como un juego reducido de 35 instrucciones. Los pines del PIC 16F628A son compatibles con el PIC 16F84A [54].

En el Datasheet del PIC 16F628A marca microchip [55], se encuentra su diagrama de pines el cual se indica en la figura 67 y la distribución de sus puertos en la tabla 14.



**Figura 67.** Diagrama de pines del PIC16F628A [55]

**Tabla 14.** Distribución de los puertos del PIC 16F628A [54]

PUERTO	PIN	BIT
RA0	17	Bit 0 puerto A
RA1	18	Bit 1 puerto A
RA2	1	Bit 2 puerto A
RA3	2	Bit 3 puerto A

RA4	3	Bit 4 puerto A
RA5/reset	4	Bit 5 puerto A
RA6	15	Bit 6 puerto A
RA7	16	Bit 7 puerto A
RB0	6	Bit 0 puerto B
RB1	7	Bit 1 puerto B
RB2	8	Bit 2 puerto B
RB3	9	Bit 3 puerto B
RB4	10	Bit 4 puerto B
RB5	11	Bit 5 puerto B
RB6	12	Bit 6 puerto B
RB7	13	Bit 7 puerto B

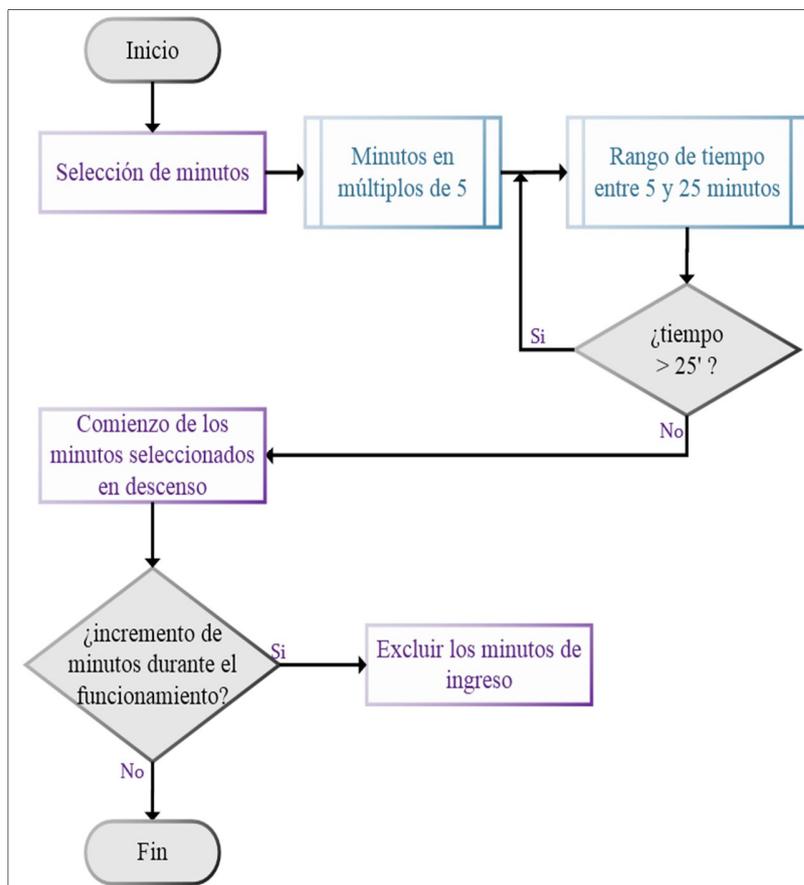
El PIC 16F628A tiene 3 tipos de memoria: memoria flash, memoria RAM y memoria eeprom [56], donde sus características se presentan en la tabla 15.

**Tabla 15.** Tipos de memoria del PIC 16F628A [56]

<b>Tipo de memoria</b>	<b>Característica</b>
Memoria flash	Memoria en la que se realiza el programa, la cual tiene una capacidad de 2048 líneas de código
Memoria RAM	Memoria que guarda datos y variable, pero se pierde la información cuando se desconecta la alimentación.
Memoria eeprom	Memoria de poca capacidad que conserva información aun cuando deja de recibir alimentación

### Diagrama de proceso del temporizador en descenso

El temporizador que se programa en el PIC permite funcionar al generador de ozono solo con un tiempo establecido, el cual está en un rango entre 5 y 25 minutos y su incremento es en múltiplos de 5. La razón por la que se inserta esta condición es por protección de los elementos de control y ese tipo de incremento es por su referencia en el tiempo de inicio cuyo proceso se observa en la figura 68.



**Figura 68.** Diagrama de proceso del temporizador en descenso  
**Fuente:** Investigador

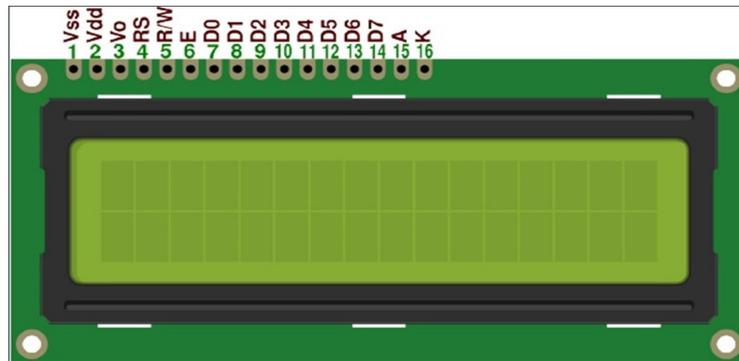
### Programación del circuito de control utilizando un PIC 16F628A

Las líneas de código para la programación en el PIC 16F628A se las realiza en el programa MicroCode Studio – PIC BASIC PRO, el cual se divide en 3 partes:

- Configuración de la LCD display
- Declaración de variables
- Programa principal

### 1. Configuración de la LCD display

La LCD display es una pantalla de cristal líquido que consta de 2 líneas de visualización de 16 caracteres cada una [57], donde la distribución de sus terminales de conexión se indican en la figura 69 y la descripción de cada terminal se explica en la tabla 16.



**Figura 69.** Terminales de conexión del visualizador LCD [57]

**Tabla 16.** Descripción de las terminales del visualizador LCD [57]

Terminal	Nombre del terminal	Descripción
1	Vss	Tierra del circuito
2	Vdd	Alimentación a 5 V
3	Vo	Ajuste del contraste de la pantalla, varía de 0-5 V
4	RS	Selección del registro control-datos. RS = 0 – Control RS = 1 – Datos
5	R/W	Lectura o escritura en el LCD

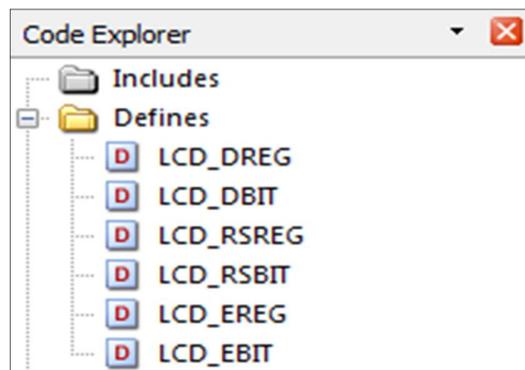
		R/W = 0 – Escritura R/W = 1 – Lectura
6	E	Habilitación del LCD E = 0 – Desconectado E = 1 – Conectado
7	D0	Bit de dato 0
8	D1	Bit de dato 1
9	D2	Bit de dato 2
10	D3	Bit de dato 3
11	D4	Bit de dato 4
12	D5	Bit de dato 5
13	D6	Bit de dato 6
14	D7	Bit de dato 7
15	A	Alimentación de luz de fondo backlight, puede ser 3,5 V o 5 V
16	K	Tierra del backlight

El compilador en BASIC permite definir los pines del microcontrolador que se conectan al LCD (pines tales como datos, enable, escritura, etc.) usando la función DEFINE [58]. Los parámetros disponibles para el manejo de LCD alfanuméricos son los siguientes:

- LCD\_DREG: Define a que puerto del PIC se tiene conectado el port de datos del LCD. Los valores permitidos son PORTA, PORTB, PORTC, etc. En el programa se ocupa el PORTB.
- LCD\_DBIT: Define cual es el primer pin del puerto que se usa para enviar los datos al LCD cuando se selecciona un bus de 4 bits. Solo puede ser el 0 (para los pines el 0, 1, 2 y 3) o 4 (para usar los pines 4, 5, 6 y 7). En el programa se ocupa el 4.

- LCD\_RSREG: Define a que puerto del PIC se tiene conectado el pin RS del LCD. Los valores permitidos son PORTA, PORTB, PORTC, etc. En el programa se ocupa el PORTB.
- LCD\_RSBIT: Define a que pin del puerto se tiene conectado el pin RS del LCD. En el programa se ocupa el 0.
- LCD\_EREG: Define a que puerto del PIC se tiene conectado el pin E del LCD. Los valores permitidos son PORTA, PORTB, PORTC, etc. En el programa se ocupa el PORTA.
- LCD\_EBIT: Define a que pin del puerto se tiene conectado el pin E del LCD. En el programa se ocupa el 2.

MicroCode Studio consta de un explorador de código (Code Explorer) en el que se adiciona los parámetros del LCD ingresados al programa como se ve en la figura 70.



**Figura 70.** Configuración de la LCD display en el programa MicroCode Studio  
Fuente: Investigador

## 2. Declaración de variables

La variable es un elemento externo asociado a la programación. El circuito de control tiene 2 pulsadores, uno para la selección de los minutos y otro para iniciar el temporizador, además de contar con 2 leds que indican si el circuito está o no funcionando y un relé para enviar los 120 V de la red y empezar el funcionamiento del generador. Por lo tanto las variables son:

- 1 pulsador denominado “Seleccionar minutos”
- 1 pulsador denominado “Inicio”
- 1 led verde indicando que el circuito está en reposo
- 1 led rojo indicando que el circuito está funcionando
- 1 relé desactivado

En el explorador de código (Code Explorer) del programa MicroCode Studio hay 5 variables que son declaradas con respecto a los puertos del PIC y se identifican en la figura 71.



**Figura 71.** Declaración de variables en el programa MicroCode Studio  
Fuente: Investigador

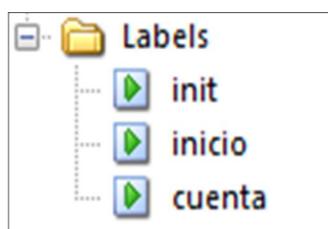
### 3. Programa principal

Cada parte del proceso de programación es dependiente, por lo que en el programa principal hay 3 subprocesos denominados init, inicio y cuenta.

- 3.1 Init: es la parte de visualización de palabras en la LCD, donde dichas palabras duran los segundos programados y desaparecen. En el programa el mensaje que se presenta es “Temporizador” y “Ver 1.0”.
- 3.2 Inicio: es la parte en la cual se inserta la condición de funcionamiento. Mientras no se pulsa el botón *inicio* la LCD despliega el mensaje “Pulse Minu o Start”, el conteo en descenso empieza cuando la persona pulsa el botón de minutos para seleccionar un tiempo entre 5 y 25 minutos en múltiplos de 5 y luego pulsa *inicio* para que la LCD muestre el mensaje “Iniciado... ”. Las variables mencionadas en la parte anterior influyen en el programa principal.

3.3 Cuenta: son los minutos y segundos que se visualiza en la LCD, en decremento y en 2 dígitos a través de un ciclo FOR. Cuando los minutos = 0 y los segundos = 0, el relé cambia su posición de pasar energía a estar en reposo, el led rojo se desactiva y el led verde funciona.

En el explorador de código (Code Explorer) del programa MicroCode Studio hay 3 etiquetas (labels) mostrado en la figura 72.



**Figura 72.** Etiquetas del programa principal en MicroCode Studio  
**Fuente:** Investigador

A continuación se presenta todas las líneas de código, de la programación del circuito de control evidenciado en las figuras 73, 74 y 75.

```
'configuraciones LCD
DEFINE LCD_DREG    PORTB
DEFINE LCD_DBIT    4
DEFINE LCD_RSREG   PORTB
DEFINE LCD_RSBIT   0
DEFINE LCD_EREG    PORTA
DEFINE LCD_EBIT    2

'Declaraciones de variables
bminuto VAR portb.2  'Botón para seleccionar minutos
bini VAR portb.3     'Boton para iniciar o parar temporizador
ledv VAR porta.0
ledr VAR porta.1
rele VAR portb.1

ledv=1
ledr=0
rele=0
```

**Figura 73.** Configuración LCD y declaración de variables en MicroCode Studio  
**Fuente:** Investigador

```

'*****
'Programa Principal
'*****
init:
PAUSE 200
LCDOUT $fe, 1, $80, "TEMPORIZADOR"
LCDOUT $fe, $C1, "VER 1.0"
PAUSE 2000
LCDOUT $fe, 1

inicio:
WHILE bini=1 ;mientras no se pulse start
'Despliega información en LCD
LCDOUT $fe,$85, DEC2 Minutes,":",DEC2 Seconds ;mostrar minuto y segundos en 2 dígitos (HEX2)
LCDOUT $fe,$c0, "Pulse Minu o Start"

IF bminuto=0 THEN ;si se pulsa botón de minutos, se incrementa valor de minutos de 5 en 5 hasta 25
PAUSE 250
Minutes=Minutes+5
IF Minutes=30 THEN Minutes=0
ENDIF
WEND
PAUSE 250
IF Minutes=0 THEN inicio
ledv=0
ledr=1
rele=1
PAUSE 250
Seconds=59
Minutes=Minutes-1
TOIE=1 ; Enable TMR0 overflow interrupt: Habilita interrupción (inicia conteo)
GIE=1 ; Enable global interrupts
LCDOUT $fe,$c0, "Iniciado... "

```

**Figura 74.** 1 etiqueta “init” y 1 etiqueta “inicio” del programa principal en MicroCode Studio  
**Fuente:** Investigador

```

cuenta:
LCDOUT $fe,$85, DEC2 Minutes,":",DEC2 Seconds ;mostrar minuto y segundos en 2 dígitos (DEC2)

FOR i=Minutes TO 0 STEP -1 ;conteo de minutos
FOR Seconds=59 TO 0 STEP -1 ;conteo de segundos
FOR tiempo=0 TO 160 ;lazo que cuenta 1 segundo aproximadamente
PAUSEUS 1000
NEXT tiempo
NEXT Seconds
NEXT i

IF Minutes=0 AND Seconds=0 THEN
rele=0
ledv=1
ledr=0
GOTO inicio
ENDIF
GOTO cuenta

```

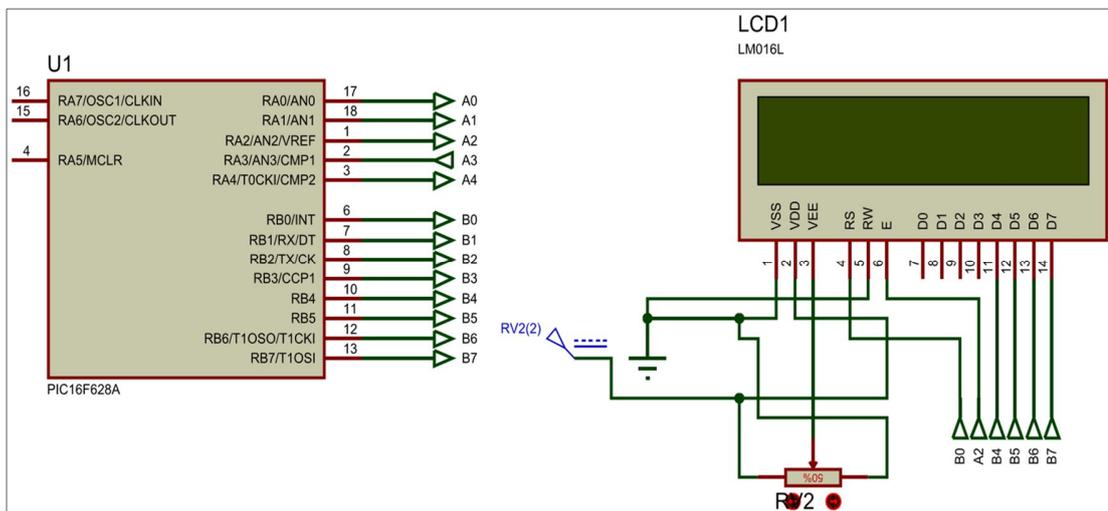
**Figura 75.** 1 etiqueta “cuenta” del programa principal en MicroCode Studio  
**Fuente:** Investigador

### Diagrama eléctrico del circuito de control

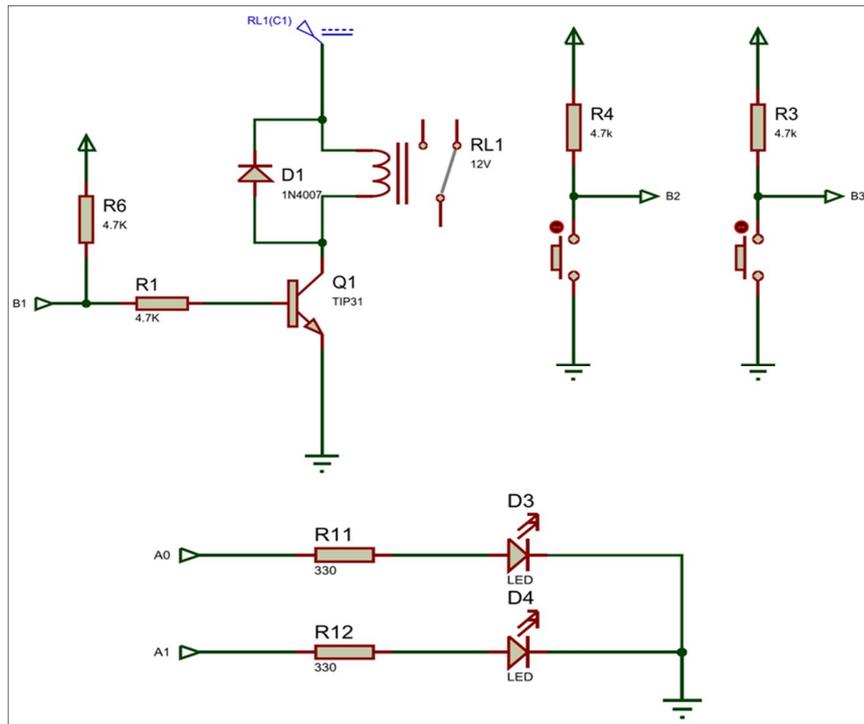
Una vez concluida la programación del PIC se procede a diseñar en el programa PROTEUS cada uno de los elementos del circuito de control cuyos materiales seleccionados son:

- PIC 16F628A
- Display LCD 16x2
- relé 5 V
- resistencias de 4,7 k $\Omega$  y de 220  $\Omega$
- pulsadores normalmente abierto
- potenciómetro de 50 k $\Omega$
- capacitor de 1  $\mu$ F
- regulador LM7802
- luces led

El diagrama del circuito de control diseñado en PROTEUS, con los materiales adecuados se presenta en la figura 76 y 77.



**Figura 76.** Conexión del PIC 16F628A con la LCD en el programa PROTEUS  
**Fuente:** Investigador

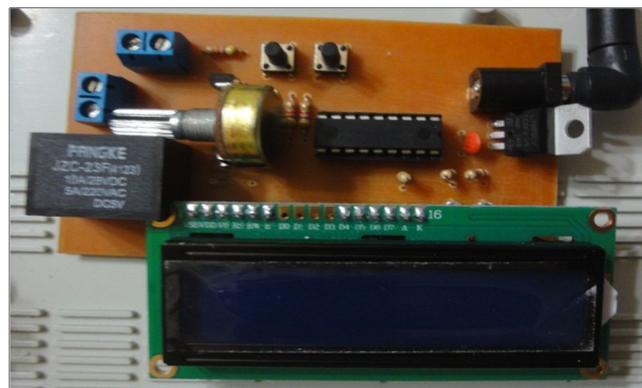


**Figura 77.** Conexión de componentes electrónicos para el circuito de control en el programa PROTEUS

**Fuente:** Investigador

*Circuito de control con temporizador en descenso*

La estructura física de la programación junto con el diagrama de proceso del temporizador se manifiesta en la figura 78.

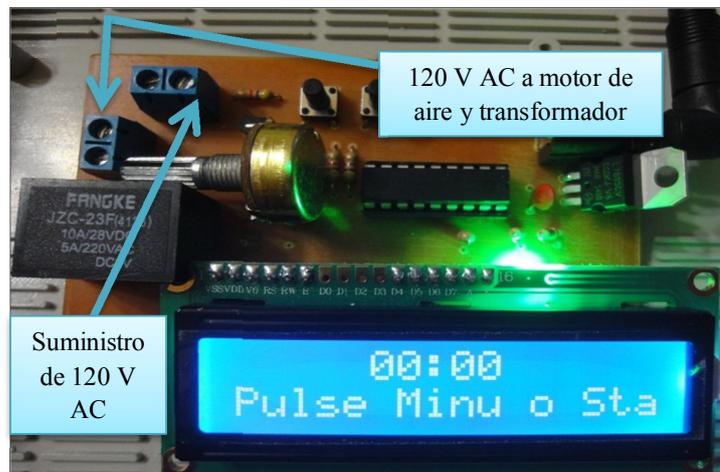


**Figura 78.** Circuito de control

**Fuente:** Investigador

En el circuito se instalan 2 sócalos para el suministro de energía eléctrica por medio del relé. La condición de la programación cuando se enciende el circuito es:

- visualizar en la LCD “Temporizador” y “Ver 1.0”,
- luego aparece el mensaje “Pulse Minu o Start”, y,
- si los minutos = 0 y los segundos = 0 el relé permanece en reposo y una luz led verde se activa como se observa en la figura 79.



**Figura 79.** Circuito de control encendido  
**Fuente:** Investigador

En el Anexo 3 se aprecia la construcción del circuito de control con los materiales propuestos en el diagrama eléctrico.

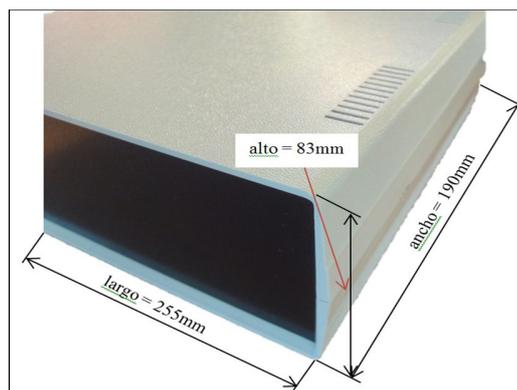
#### **4.5.5 Caja contenedora del generador de ozono**

Los parámetros a considerar de la caja contenedora, donde se colocan los elementos del generador de ozono son material, peso y dimensión, de los cuales:

- el material de la caja es de plástico por tener diferentes ventajas como perforación sencilla para instalar componentes eléctricos, peso conveniente en comparación con una caja de metal y resistencia a las vibraciones del gas de alimentación.

- El peso solo de la caja es de 0,5 kg cumpliendo con el parámetro de diseño, el cual expone que no debe ser mayor a 7,5 kg, lo cual es adecuado para que al momento de introducir todos los elementos del generador se obtiene un peso de 3 kg.
- La dimensión de esta caja no afecta a la concentración de ozono por lo que el contenedor puede ser de gran dimensión o de menor tamaño, pero si influye en el espacio donde se lo ubica.

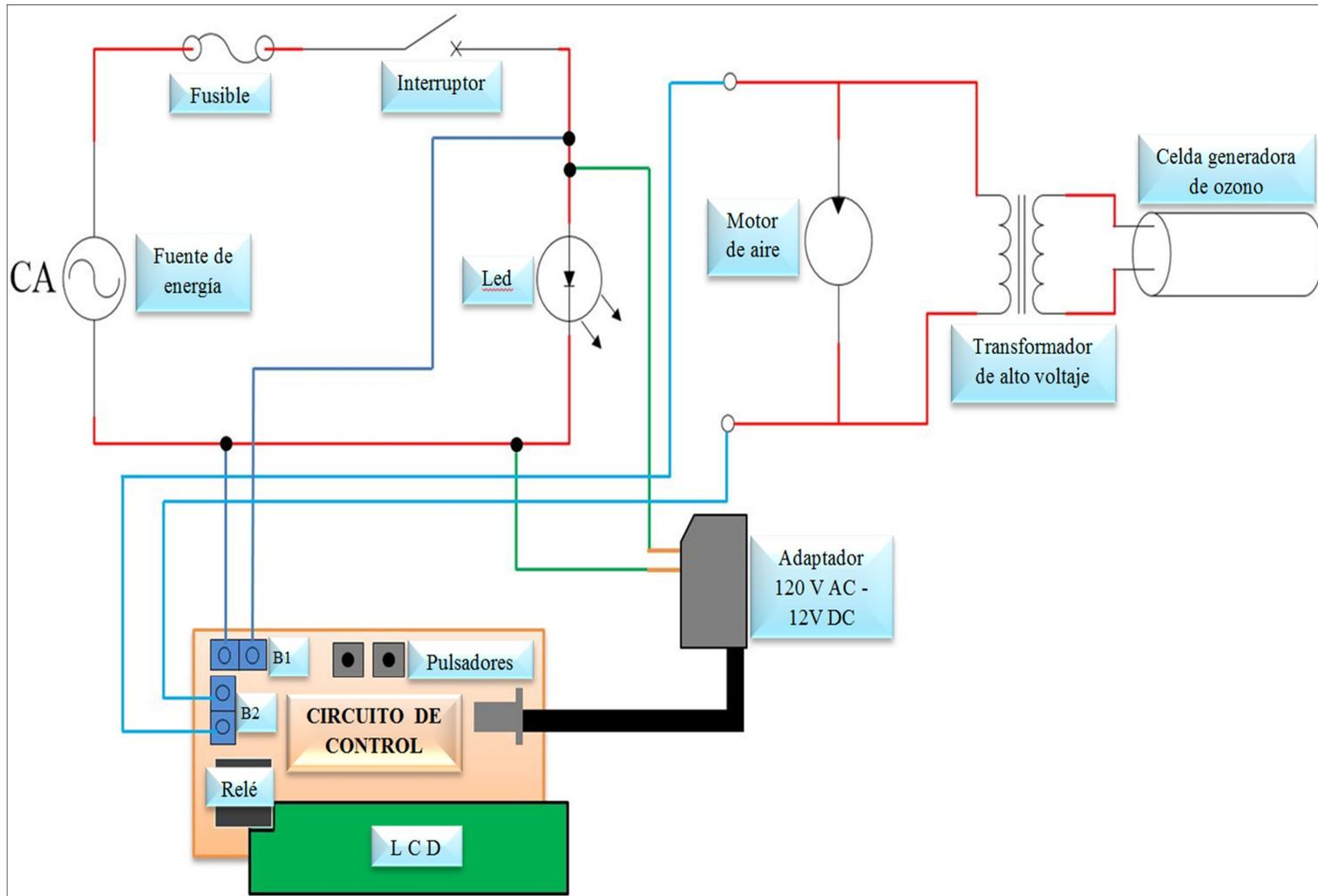
En los parámetros de diseño se mencionan 2 opciones, de los cuales se elige la segunda, es decir, para un volumen =  $8,74 m^3$  primero se consigue cada componente del generador de ozono y al final se adquiere una caja donde los valores de dimensión se presenta en la figura 80.



**Figura 80.** Dimensión de la caja contenedora del generador de ozono  
**Fuente:** TELSISCON electrónica

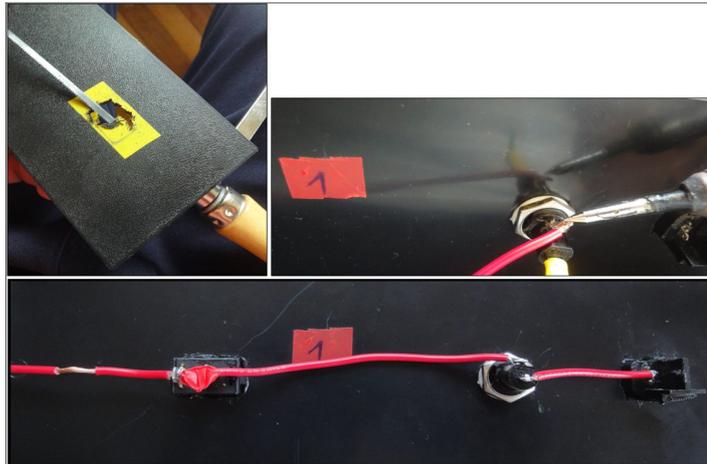
#### 4.5.6 Ensamble del generador de ozono

La unión de todos los componentes del generador de ozono es factible, una vez definido los elementos que se conectan a los 120 V de la red eléctrica y circuito de control. El esquema gráfico que facilita la comprensión de ensamble del generador se indica en la figura 81.



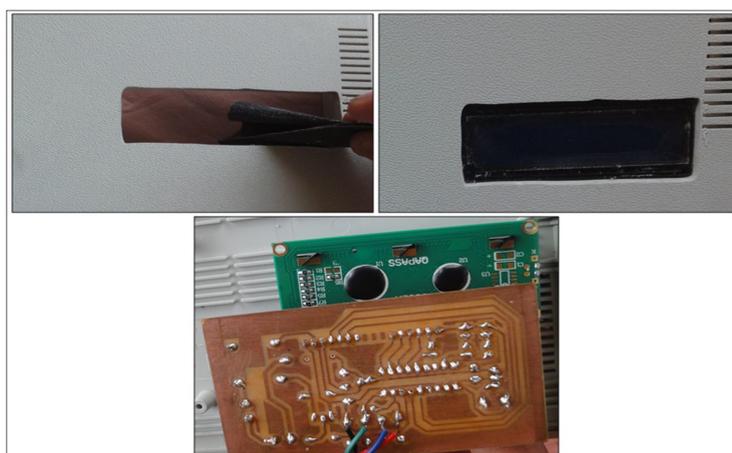
**Figura 81.** Esquema gráfico del circuito de potencia y el circuito de control  
**Fuente:** Investigador

Basado en el esquema anterior, hay dos partes de potencia y una de control. La primera parte de potencia se conecta al fusible, al interruptor y a un led. En la parte baja de la caja contenedora, se instalan estos elementos adicionando un conector para la fuente de energía y se los suelda como se ve en la figura 82.



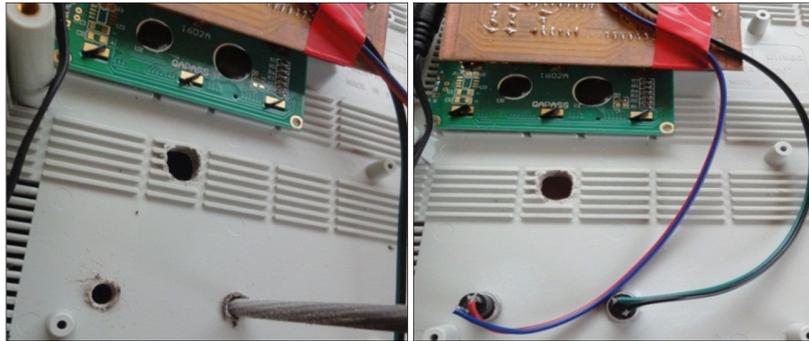
**Figura 82.** Conector para fuente de energía, fusible e interruptor colocados en la caja del generador  
**Fuente:** Investigador

Al circuito de control se lo ubica en la parte frontal de la caja, pero solo la LCD se coloca externamente como se ilustra en la figura adjunta, porque los mensajes deber ser claros y visibles.



**Figura 83.** Circuito de control colocado en la caja del generador  
**Fuente:** Investigador

En la misma parte frontal se hacen 3 aberturas, uno para colocar la led que indica el encendido del generador y 2 pulsadores normalmente abierto del circuito de control, los cuales representan al *inicio* y *selección de tiempo* del equipo de ozono. Las mencionadas aberturas se indican en la figura 84.

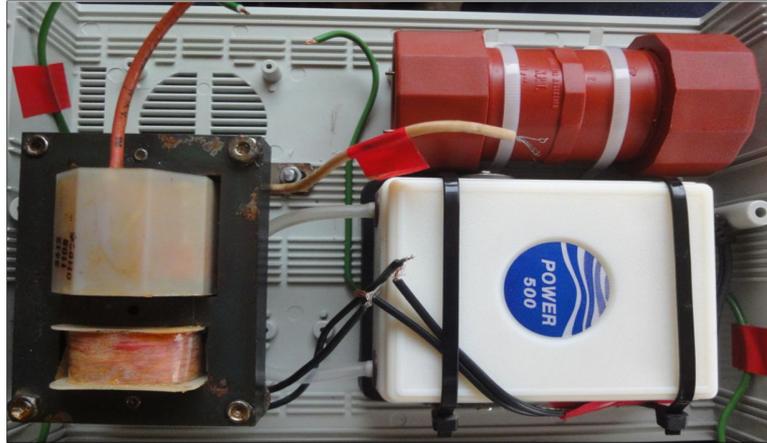


**Figura 84.** Aberturas en la caja del generador para led y pulsadores  
**Fuente:** Investigador

Para la segunda parte de potencia, se introducen 2 cables #18 en la parte posterior interna de la caja (que más adelante son conectados a los 120 V de la red eléctrica), además del motor de aire de pecera mostrado en la figura 85. A lado del motor se ajusta con remaches el transformador de alto voltaje y luego se instala la celda generadora de ozono con unas pequeñas amarras como se observa en la figura 86. Los orificios de las amarras se los hace fácilmente con un material de metal a alta temperatura.



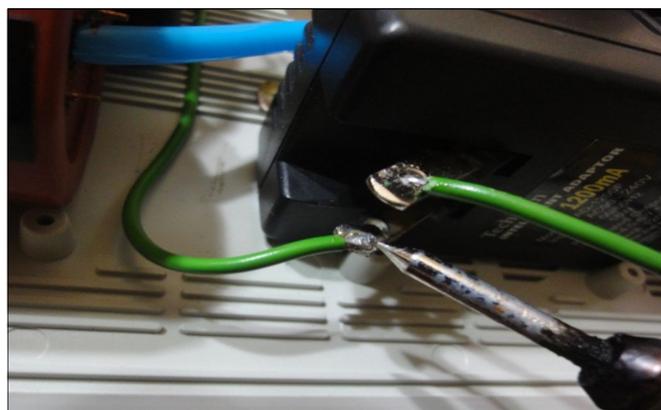
**Figura 85.** Motor de aire con cables en la caja del generador  
**Fuente:** Investigador



**Figura 86.** Transformador de alto voltaje y celda generadora de ozono en la caja del generador  
**Fuente:** Investigador

Se efectúan unas pequeñas pruebas de funcionamiento para después iniciar con la conexión; en estas pruebas la manguera de ingreso del aire y salida de ozono ya están situados en la celda.

Con la colocación de los elementos de la parte de potencia y control se comienza a conectar los cables correspondientes al esquema gráfico. Como el circuito del temporizador en descenso requiere entre 5 – 12 V DC para funcionar, se sitúa un adaptador 120 V AC - 12 V DC o una fuente de voltaje regulable y se suelda con los cables #18 indicado en la figura 87.



**Figura 87.** Fuente de voltaje regulable unido a los cables de energía eléctrica  
**Fuente:** Investigador

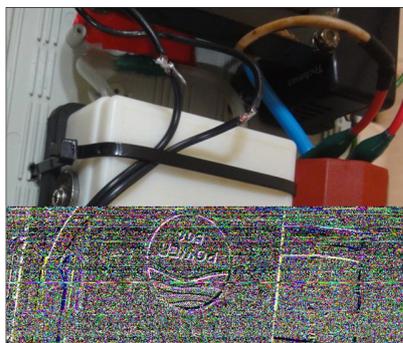
El devanado secundario del transformador de alto voltaje se enlaza a la celda generadora de ozono con un cable que es propio del flyback, ya que este es ideal en la obtención del arco eléctrico y para asegurarse de que no se separe durante el funcionamiento del generador se coloca un pedazo de thermofit como se ve en la figura 88.



**Figura 88.** Conexión del transformador de alto voltaje con la celda generadora de ozono  
**Fuente:** Investigador

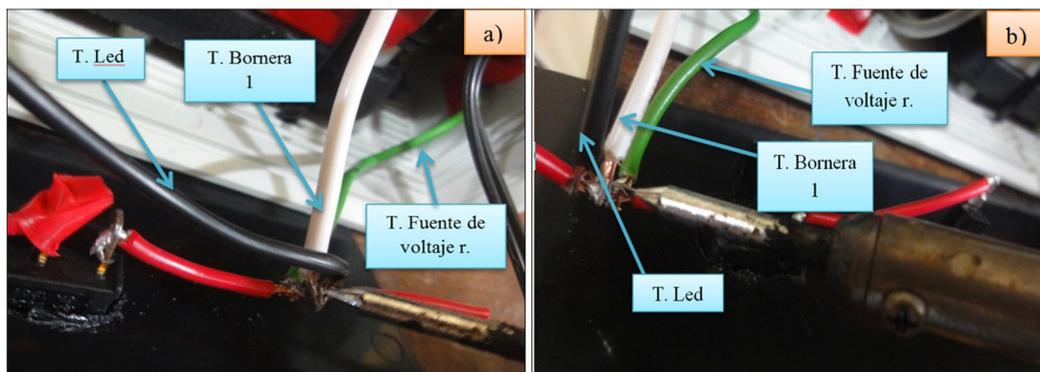
La bornera 1 (B1) a la que toca suministrar 120 V AC perteneciente al circuito de control y el diodo emisor de luz se conectan directamente a la fuente de energía.

El motor de aire con el transformador elevador tienen un circuito de potencia paralelo por lo que se suelda sus terminales como se refleja en la figura 89, y a estos terminales se les adiciona un cable que va unido a la bornera 2 (B2) del circuito de control.



**Figura 89.** Unión de los terminales del transformador con el motor  
**Fuente:** Investigador

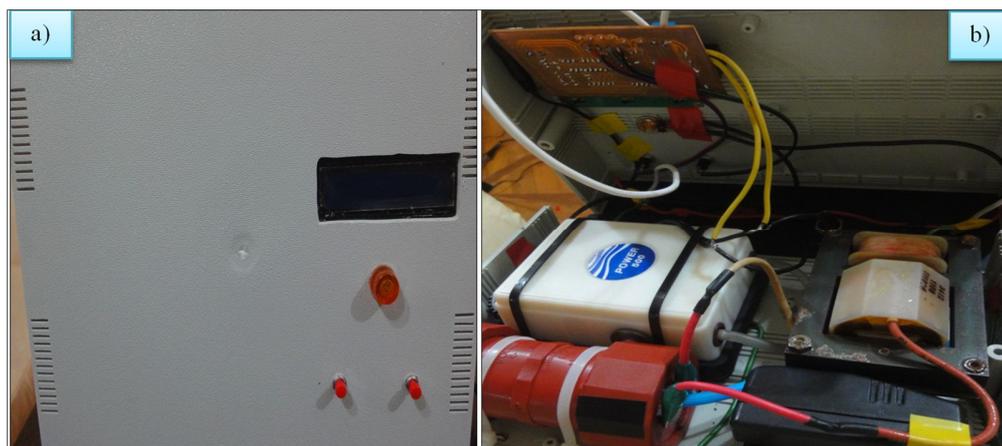
En el terminal suelto del interruptor se conectan un cable del led, un cable de la fuente de voltaje regulable y un cable de la bornera que suministra 120 V AC indicado en la figura 90a, lo mismo se hace en el terminal suelto del conector colocando los otros cables de los elementos mencionados como se ve en la figura 90b.



**Figura 90.** Un terminal del led, bornera 1 y fuente de voltaje regulable conectados: a) interruptor, b) conector

**Fuente:** Investigador

Todos los elementos internos del generador de ozono con el circuito de control dentro de la caja se observa en la figura 91 y finalmente se cierra esta caja con 2 pernos largos listo para su funcionamiento en un punto específico.



**Figura 91.** Componentes del generador de ozono ensamblados en una caja apropiada: a) parte externa y b) parte interna

**Fuente:** Investigador

#### 4.6 Pruebas y resultados

Para conocer la cantidad exacta de concentración de ozono que emite el generador construido, se acude a una institución técnica en el monitoreo de la calidad del medio ambiente como los es AFH Services.

AFH Services cuenta con la experiencia suficiente, los mejores equipos, las certificaciones y calificaciones requeridas por las entidades de control con personal calificado para brindar el mejor servicio en asesoría y mediciones [59].

La baja o alta concentración depende de la fuente de alto voltaje y el gas de alimentación, no del tiempo, es decir las pruebas de medición pueden empezar seleccionando cualquier minuto, pero para establecer una jerarquía se lo hace con el tiempo máximo y luego con el tiempo mínimo del circuito de control.

Las pruebas que se realizan es a través de un medidor de ozono propio de la empresa en:

1. concentración pura de ozono durante 25 minutos,
2. concentración de ozono en un ambiente cerrado de aproximadamente  $10m^2$  durante 25 minutos, y,
3. concentración pura de ozono durante 5 minutos.

El equipo analizador de ozono **thermo 49i**, registra valores de concentración de dicho gas cada minuto en las diferentes pruebas, las cuales se detallan en la tabla 17, 18 y 19.

**Tabla 17.** Valores de concentración pura de ozono durante 25 minutos

49I- 033017 1249.dat Thu Mar 30 12:56:13 2017		
Model 49I- (prog iSeries 49i 01.05.30.192)		
Time	Date	O <sub>3</sub>
12:27	03-30-17	42199,9
12:28	03-30-17	43790,5
12:29	03-30-17	44360,8

12:30	03-30-17	45404,9
12:31	03-30-17	46093
12:32	03-30-17	46925,5
12:33	03-30-17	46496,5
12:34	03-30-17	47158
12:35	03-30-17	47558,9
12:36	03-30-17	46471,6
12:37	03-30-17	46465
12:38	03-30-17	47753,4
12:39	03-30-17	47916,7
12:40	03-30-17	47749,4
12:41	03-30-17	48174,2
12:42	03-30-17	48824,3
12:43	03-30-17	49525,1
12:44	03-30-17	49783,2
12:45	03-30-17	49449,2
12:46	03-30-17	49713,9
12:47	03-30-17	49090,9
12:48	03-30-17	48841,1
12:49	03-30-17	48543,3
12:50	03-30-17	49261,1
12:51	03-30-17	49330,3

Fuente: AFH Services

**Tabla 18.** Valores concentración de ozono en un ambiente cerrado durante 25 minutos

49I- 033017 1356.dat Thu Mar 30 13:56:50 2017		
Model 49I- (prog iSeries 49i 01.05.30.192)		
Time	Date	O <sub>3</sub>
13:00	03-30-17	33,0495
13:01	03-30-17	29,5105

13:02	03-30-17	27,5955
13:03	03-30-17	30,3634
13:04	03-30-17	33,8201
13:05	03-30-17	43,0466
13:06	03-30-17	39,4864
13:07	03-30-17	35,5573
13:08	03-30-17	66,5518
13:09	03-30-17	30,9666
13:10	03-30-17	36,2782
13:11	03-30-17	36,6755
13:12	03-30-17	30,8881
13:13	03-30-17	31,7805
13:14	03-30-17	50,8097
13:15	03-30-17	39,856
13:16	03-30-17	51,3067
13:17	03-30-17	45,9596
13:18	03-30-17	29,1726
13:19	03-30-17	40,6208
13:20	03-30-17	56,6828
13:21	03-30-17	30,7363
13:22	03-30-17	43,532
13:23	03-30-17	28,3897
13:24	03-30-17	20,4785
13:25	03-30-17	12,614

**Fuente:** AFH Services

**Tabla 19.** Valores de concentración pura de ozono durante 5 minutos

49I- 033017 1422.dat Thu Mar 30 14:22:26 2017		
Model 49I- (prog iSeries 49i 01.05.30.192)		
Time	Date	O <sub>3</sub>
14:14	03-30-17	49255,7
14:15	03-30-17	50370,7
14:16	03-30-17	50269,1
14:17	03-30-17	50599

**Fuente:** AFH Services

En cada una de las tablas el valor de  $O_3$  está expresado en ppb (partes por billón) por lo que a cada uno de esos valores se los divide para 1000 con el propósito de obtener ppm (partes por millón) y luego aplicar la fórmula (2) referente a la conversión de ppm a  $ug/m^3$ .

El equipo thermo 49i tiene que estabilizarse al momento de empezar la medición, por eso se descarta generalmente los primeros valores para los cálculos respectivos.

A continuación se define los siguientes ejemplos:

- obtención de  $ug/m^3$ , con el tercer valor de  $O_3$  propio de la tabla 18.

$$ppm = \frac{O_{3er\ valor\ en\ ppb\ tabla\ 17}}{1000}$$

$$ppm = \frac{27,5955}{1000}$$

$$ppm = 0,0276$$

$$concentración\ de\ ozono = \frac{ppm * P. M * 1000}{24,45} \quad (2)$$

$$concentración\ de\ ozono = \left( \frac{0,0276 * 48 * 1000}{24,45} \right) \frac{ug}{m^3}$$

$$\text{concentración de ozono} = 54,2 \text{ ug/m}^3$$

- obtención de  $\text{ug/m}^3$ , con el cuarto valor de  $\text{O}_3$  propio de la tabla 18.

$$\text{ppm} = \frac{\text{O}_3 \text{ 4to valor en ppb\_tabla 17}}{1000}$$

$$\text{ppm} = \frac{30,3634}{1000}$$

$$\text{ppm} = 0,0304$$

$$\text{concentración de ozono} = \frac{\text{ppm} * P.M * 1000}{24,45} \quad (2)$$

$$\text{concentración de ozono} = \left( \frac{0,0304 * 48 * 1000}{24,45} \right) \frac{\text{ug}}{\text{m}^3}$$

$$\text{concentración de ozono} = 59,6 \text{ ug/m}^3$$

La razón por la que es necesario conocer los  $\text{ug/m}^3$ , es porque la OMS presenta el límite de concentración de ozono en esa unidad y por lo tanto la tabla 20 muestra los cálculos y promedios de cada una de las pruebas del generador.

**Tabla 20.** Resumen de los cálculos correspondiente a las 3 pruebas del generador de ozono automatizado

1ra prueba		2da prueba		3ra prueba	
ppm	$\text{ug/m}^3$	ppm	$\text{ug/m}^3$	ppm	$\text{ug/m}^3$
43,79	85969,1	0,0276	54,2	49,26	96698,3
44,36	87088,7	0,0304	59,6	50,37	98887,3
45,40	89138,5	0,0338	66,4	50,27	98687,8
46,09	90489,3	0,0430	84,5	50,60	99335,5
46,93	92123,7	0,0395	77,5		

	46,50	91281,5	0,0356	69,8		
	47,16	92580,1	0,0666	130,7		
	47,56	93367,2	0,0310	60,8		
	46,47	91232,6	0,0363	71,2		
	46,47	91219,6	0,0367	72,0		
	47,75	93749,0	0,0309	60,6		
	47,92	94069,6	0,0318	62,4		
	47,75	93741,2	0,0508	99,7		
	48,17	94575,1	0,0399	78,2		
	48,82	95851,4	0,0513	100,7		
	49,53	97227,2	0,0460	90,2		
	49,78	97733,9	0,0292	57,3		
	49,45	97078,2	0,0406	79,7		
	49,71	97597,8	0,0567	111,3		
	49,09	96374,8	0,0307	60,3		
	48,84	95884,4	0,0435	85,5		
	48,54	95299,7	0,0284	55,7		
	49,26	96708,9	0,0205	40,2		
	49,33	96844,8	0,0126	24,8		
<b>Promedio</b>	<b>47,70</b>	<b>93634,42</b>	<b>0,0372</b>	<b>73,06</b>	<b>50,12</b>	<b>98402,21</b>

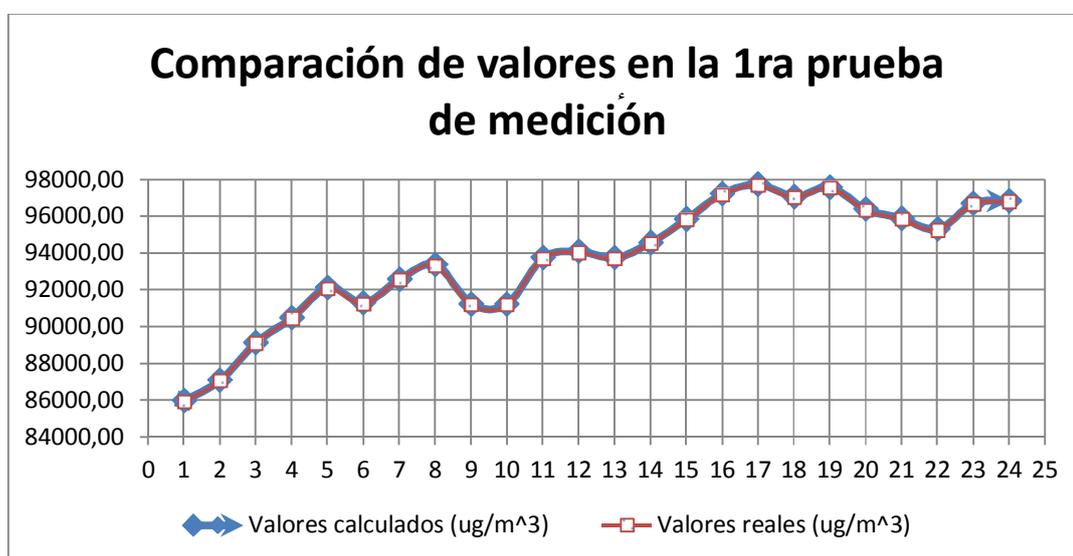
Fuente: Investigador

- La concentración de ozono en la primera y tercera prueba tienen valores muy altos, porque la medición se lo realiza directamente desde el generador sin entrar en contacto con el ambiente.
- La concentración de ozono en la segunda prueba es muy importante, ya que la medición se desarrolla en un ambiente determinado y el valor promedio sirve de comparación con el presentado en la Organización mundial de la Salud.

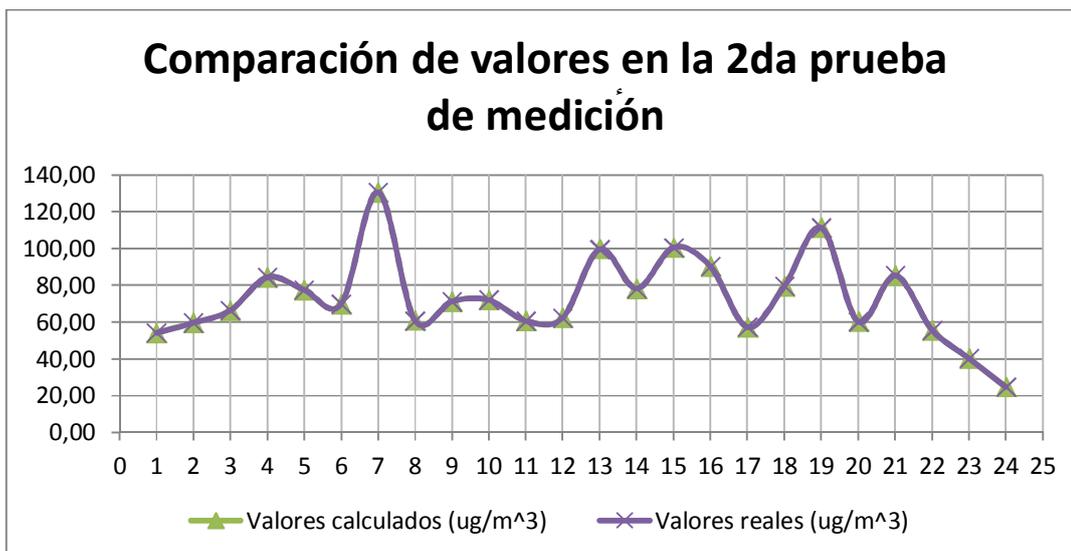
- La concentración de ozono no está en función del tiempo, porque durante la primera prueba el cual tiene un tiempo mayor, se obtiene un promedio de concentración igual a  $93634,42 \text{ ug}/\text{m}^3$ , mientras que en el tiempo menor de la tercera prueba el promedio de concentración aumenta siendo de  $98402,21 \text{ ug}/\text{m}^3$ .
- Cuando el generador de ozono está en constante funcionamiento, su concentración aumenta por lo que es importante utilizar el equipo solo cuando es necesario.

En el Anexo 4 se certifica los resultados de la concentración de ozono en las 3 pruebas de medición, con el respectivo análisis de la empresa AFH Services CIA. Ltda.

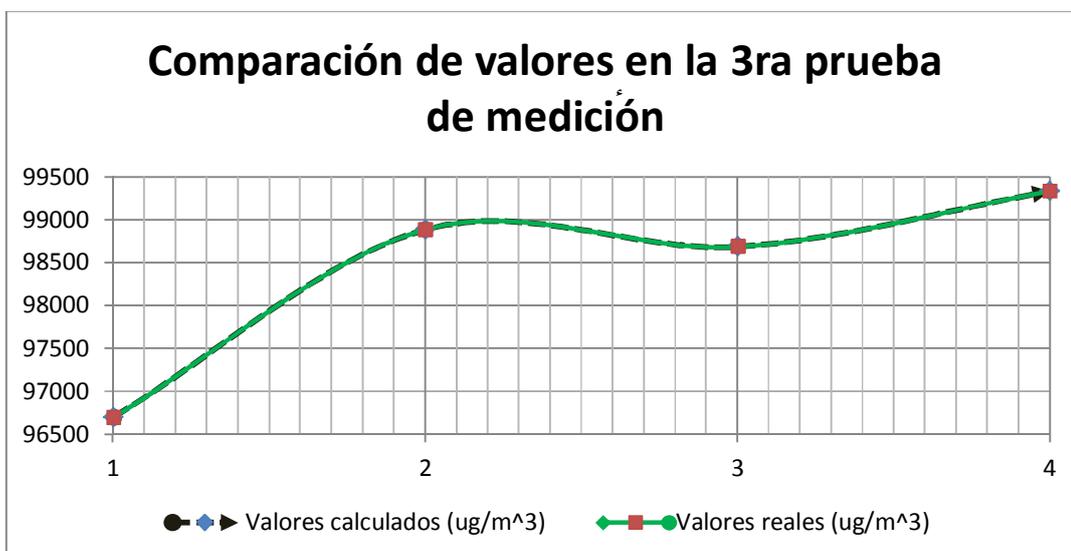
Con la información del Anexo 4 se puede observar y analizar si existe o no dispersión entre los valores reales (AFH Services) y los valores calculados de la tabla 20 en cuanto a concentración de ozono, cuyas gráficas se evidencian en las figuras 92, 93 y 94.



**Figura 92.** Comparación de valores calculados y valores reales referente a la concentración de ozono en la 1ra prueba de medición  
**Fuente:** Investigador



**Figura 93.** Comparación de valores calculados y valores reales referente a la concentración de ozono en la 2da prueba de medición  
**Fuente:** Investigador



**Figura 94.** Comparación de valores calculados y valores reales referente a la concentración de ozono en la 3ra prueba de medición  
**Fuente:** Investigador

Los valores calculados por medio de la fórmula (2) son muy semejantes a los valores reales obtenidos del medidor de ozono thermo 49i, por lo tanto, las gráficas de

dispersión en función del tiempo, correspondiente a las 3 pruebas de medición, demuestran que:

- el gas ozono es muy inestable,
- si no existe un temporizador en el ozonizador, su concentración aumenta considerablemente, y,
- se puede comparar los datos de la OMS o norma Ecuatoriana en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con el promedio de cualquiera de los 2 valores de la figura 93.

#### *Determinación de la salida de ozono del generador automatizado*

La determinación de la salida de ozono de un generador en  $\text{g}/\text{h}$  se consigue multiplicando: el caudal del motor de aire en litros por minuto con la concentración de ozono en  $\text{g}/\text{m}^3$  [27].

El caudal es un valor conocido de 2,6 l/min al igual que el promedio de la concentración de ozono en las 3 pruebas de medición, pero como estos últimos valores se hallan en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  es preciso convertirlos a  $\text{g}/\text{m}^3$  como se indica en la tabla 21.

**Tabla 21.** Cálculo de la salida de ozono en  $\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{l}/\text{min}$

Número de pruebas de medición	Concentración de ozono		Caudal	Salida de ozono
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\text{g}/\text{m}^3$	l/min	$\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{l}/\text{min}$
1ra	93634,42	0,09363	2,6	0,24345
2da	73,06	0,00007	2,6	0,00019
3ra	98402,21	0,09840	2,6	0,25585

**Fuente:** Investigador

La magnitud de la salida de ozono es masa/tiempo y como la tabla 21 muestra valores con diferentes unidades se efectúa las transformaciones correspondientes en la fórmula 1 para adquirir  $\text{g}/\text{h}$ .

$$\frac{g}{h} = \frac{g}{m^3} * \frac{l}{min} \quad (1)$$

$$\frac{g}{h} = \frac{g}{m^3} * \frac{l}{min} * \frac{1 m^3}{1000 l}$$

$$\frac{g}{h} = \frac{g}{1000 min} * \frac{60 min}{1 h}$$

$$\frac{g}{h} = \frac{60 g}{1000 h}$$

$$\frac{g}{h} = 0,06 \frac{g}{h}$$

↓

Siendo 0,06 la constante que debe multiplicarse a los valores de salida de ozono de la tabla 21.

Este cálculo elimina la cuestión de qué tipo de gas de alimentación se está utilizando y puede ser empleado ya sea con aire seco u oxígeno [27], donde los resultados finales se consideran en la tabla 22.

**Tabla 22.** Cálculo de la salida de ozono en g/h

Número de pruebas de medición	Salida de ozono en:	Salida de ozono en:
	$g/m^3 * l/min$	$g/h$
1ra	0,24345	0,01
2da	0,00019	0,00001
3ra	0,25585	0,02

**Fuente:** Investigador

La salida de ozono ofrece una idea de cuantos gramos emite el generador automatizado durante cada hora que según la tabla 22 es de 0,00001 y se escoge el dato de la segunda prueba porque es aplicada al ambiente.

#### **4.7 Instalación del generador de ozono**

Por motivos de defensa en la presentación del proyecto, la instalación no se lo realiza inmediatamente, pues una vez concluido todos los requerimientos de titulación, la ubicación del generador de ozono automatizado es posible.

En el Anexo 5 se detalla un manual de uso y mantenimiento del equipo de ozono para facilitar la comprensión de su funcionamiento [60].

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Los parámetros de diseño fueron muy importantes en la selección de materiales, obtención de fórmulas para cálculos respectivos de concentración y sobre todo en la explicación del proceso ordenado que debe tener la construcción del generador de ozono, desde su etapa inicial hasta su período de automatización y funcionamiento.
- El diseño del generador de ozono presentó los pasos sistemáticos para construir el equipo, junto con condiciones que cumplieron cada uno de los componentes internos del generador, refiriéndose a la celda generadora de ozono, motor de aire, fuente de alto voltaje y circuito de control.
- Los balastos electrónicos de diferente potencia acoplados al transformador flyback permitieron obtener algunos valores de alto voltaje, sin embargo dichos valores fueron variables ante la presencia de aire o desgaste del propio balastro, por eso se seleccionó otro transformador conocido como elevador para la fuente de alto voltaje, del cual se obtuvo mayor arco eléctrico y por consecuencia mayor concentración de ozono en conjunto con la celda y el motor de aire.
- El circuito de control presentó al PIC 16F628A como la mejor alternativa para que el generador de ozono no se considere como un equipo ordinario, ya que al funcionar por ciclos de tiempo en un rango de 5 a 25 minutos, considerando

a este último como tiempo máximo de funcionamiento, demuestra que la automatización ejecuta procesos más precisos.

- La concentración de ozono no depende del tamaño de la caja del generador por más grande que sea su dimensión, porque la concentración sólo se basa en los materiales de la celda generadora de ozono, alto voltaje que emite la fuente y el flujo de aire del gas de alimentación, lo demás son sistemas de ayuda y control.
- Los resultados de las tres pruebas de medición de ozono en concentración pura y en ambiente cerrado, presentaron un incremento de ppm cuando el ozonizador está en constante actividad, por lo que se puede expresar al tiempo y a la concentración como relación directamente proporcional, en el que a mayor periodo de funcionamiento del generador de ozono mayor son las ppm o  $ug/m^3$  que manifiesta.
- El tiempo de funcionamiento del proyecto construido está entre los 5 y 15 minutos por dos razones, la primera es para preservar los componentes internos evitando sobrecalentamientos y la segunda es por los resultados proporcionados por AFH Services en tiempo máximo de 25 minutos en el cual existe  $73 ug/m^3$ .

## 5.2 Recomendaciones

- Utilizar como referencia los materiales dispuestos en este proyecto para la elaboración de una celda generadora de ozono.
- Asegurarse de que la celda no presente alguna fuga de aire sobre todo en los orificios de los electrodos, porque este es un parámetro que afecta la concentración y por consecuencia la salida de ozono es irregular.
- No utilizar continuamente al generador en su tiempo máximo de funcionamiento que es de 25 minutos, debido al sobrecalentamiento de sus componentes.
- Encender el ozonizador siempre y cuando exista la necesidad de purificar el ambiente en un volumen conocido, caso contrario mantenerlo apagado por medio de su interruptor ON/OFF.
- Limpiar los elementos internos del equipo de ozono una vez que se lo haya apagado para evitar lesiones en manos por el calor de los elementos, en un tiempo posterior a 2 horas.
- No instalar el ozonizador en lugares donde la presencia de agua o lluvia sea evidente ya que cualquier gota en el transformador elevador puede provocar cortocircuitos y daños al equipo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] CosemarOzono. (2012, noviembre) GENERADORES DE OZONO: DEFINICIÓN Y SU APLICACIÓN EN HOTELES. [Online]. <http://www.cosemarozono.com/blog/generadores-de-ozono-definicion-y-su-aplicacion-en-hoteles/>
- [2] Vida10, "¿Qué es el ozono?," *ozonizador.net*, p. 12, 2016.
- [3] Organización Mundial de la Salud, "Ozono," *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*, pp. 14-15, 2005.
- [4] Mercado Libre. (2015) Generador De Ozono E Iones, Purificador De Agua Y Aire. [Online]. [http://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-407412935-generador-de-ozono-e-iones-purificador-de-agua-y-aire-\\_JM](http://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-407412935-generador-de-ozono-e-iones-purificador-de-agua-y-aire-_JM)
- [5] Purificador del Aire. (2014, Febrero) Los generadores de ozono: ozonizador. [Online]. <http://www.purificadordel aire.es/el-ozonizador/>
- [6] Abando limpiezas. (2013, julio) Eliminar olores mediante generadores de ozono. [Online]. <http://limpiezasbilbao.com/eliminar-olores-mediante-generadores-de-ozono/>
- [7] Javier Sanz. (2015, Junio) Ozono Almería. [Online]. <http://generadoresdeozono-almeria.es/soluciones-ozono/30/eliminacion-de-olores>
- [8] Rubén Dario Semanate Zapata, "Construcción de un purificador de aire con generación de gas ozono," *Escuela de formación de tecnólogos mantenimiento industrial*, pp. 50-51, junio 2013, <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7097/1/CD-5252.pdf>

- [9] Diana Carolina López Caiza and Juan Pablo Vásconez Hurtado, "Diseño e Implementación de un prototipo generador de ozono para purificación de agua para el consumo humano," *Proyecto previo a la obtención del título de ingeniero en Electrónica y Control*, vol. I, pp. 26 y 28, 4,24,39, Noviembre 2013.
- [10] Erwin Beutelspacher Santiago and José María Calderón Ancona, "Diseño y Construcción de un generador de ozono para aplicaciones de purificación de agua," *cenidet*, pp. 17,14, Agosto 2005.
- [11] Ozono Carbar's. (2015) ¿Qué es el ozono? [Online]. <http://www.ozonocarbars.com/queeselozono/index.php?subaction=showfull&id=1253494827>
- [12] EFINDE, "Eliminando el olor y las bacterias," *Dossier de soluciones específicas para hoteles. Generadores de Ozono*, p. 3, 2015.
- [13] Silvia Patricia Zevallos Alvarado and Ernesto Martínez, "Aire más limpio en sistemas de distribución de aire acondicionado," vol. I, p. 4, Noviembre 2007.
- [14] Salud CiberCuba. (2007, Julio) El ozono, elemento atmosférico que se usa para el tratamiento en medicina. [Online]. [http://salud.cibercuba.com/el\\_ozono\\_elemento\\_atmosferico\\_que\\_se\\_usa\\_para\\_el\\_tratamiento\\_en\\_medicina](http://salud.cibercuba.com/el_ozono_elemento_atmosferico_que_se_usa_para_el_tratamiento_en_medicina)
- [15] Ozosystems, "Propiedades del Ozono," *Ozosystems Corporation, S.L.*, vol. I, pp. 1,2,3,6,17, 2015.
- [16] Definición abc. (2015) Definición de Desinfección. [Online]. <http://www.definicionabc.com/general/desinfeccion.php>
- [17] Oxford Dictionaries. (2015) Definición de desodorizar. [Online].

<http://www.oxforddictionaries.com/es/definicion/espanol/desodorizar>

- [18] La Boutique del hogar. (2015) Purificar el aire y Eliminar malos olores. [Online]. <http://www.laboutiquedelhogar.es/generador-ozono-portatil.html>
- [19] Ricardo Restrepo Manrique. (2011, Noviembre) Tóxicos en el hogar (Segunda Parte). [Online]. <http://naturalezaexpectante.blogspot.com/2011/11/toxicos-en-el-hogar-segunda-parte.html>
- [20] Ingeniería del Ozono S.L. (2015) Aplicaciones Ozonos Baños, vestuarios y aseos. [Online]. <http://zonosistem.com/tratamiento-limpieza-depuracion-ozono/8/banos-vestuarios-y-aseos>
- [21] MAQUINARIApro. Generador de Ozono. [Online]. <http://www.maquinariapro.com/maquinarias/generador-de-ozono.html>
- [22] José Ramírez Villapudua and Abel Sáinz Rodríguez. (2010, Abril) Producción de ozono. [Online]. <http://www.monografias.com/trabajos81/ozono-agricultura-y-bienestar/ozono-agricultura-y-bienestar2.shtml>
- [23] Tecnoficio. ¿Cómo se genera el ozono? [Online]. <http://www.tecnoficio.com/electricidad/ozono.php>
- [24] Marino Facil. (2014) Generadores de Ozono: Teoría de descarga eléctrica. [Online]. <http://marinofacil.com/uso-del-ozono-en-nuestros-acuarios/>
- [25] DTForum.INFO. (2007, Agosto) Diagrama para generador de ozono. [Online]. <http://www.dtforum.info/index.php?topic=27514.msg268513005>
- [26] Salveco Proyectos S.L. Generador de ozono - desinfección, desodorización y eliminar olores. [Online]. <http://www.salvecoproyectos.com/desodorizacion.htm>

- [27] A2Z Ozone Inc. (2015) Ozone Calculators. [Online].  
<http://www.a2ozone.com/pages/ozone-calculators>
- [28] CosemarOzono. (2017) Purificador de Aire Familiar. [Online].  
<https://www.cosemarozono.es/generadores/generador-ozono/purificador-aire-familiar.html>
- [29] OzonoHogar. (2014) Modelo PAD. [Online].  
<https://www.ozonohogar.com/es/purificadores-aire/17-purificador-aire-domestico.html>
- [30] Organización Mundial de la Salud. (2017) Constitución de la OMS. [Online].  
<http://www.who.int/about/es/>
- [31] Secretaría de Ambiente\_Quito. (2017) Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire. [Online]. <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/norma-ecuatoriana-de-la-calidad-del-aire>
- [32] Maximilano Simaz. (2014, enero) Safework S.H. [Online]. <https://www.safework.com.ar/>
- [33] Magali Parzanese, "Tecnologías para la Industria Alimentaria - Ozono en alimentos," *Alimentos Argentina*, no. 4, p. 9, 2011, [http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha\\_04\\_Ozono.pdf](http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha_04_Ozono.pdf).
- [34] saberia.com. (2014, abril) ¿Cuál es la composición del aire? [Online].  
<http://www.saberia.com/2014/04/cual-es-la-composicion-del-aire/>
- [35] Definición. (2009) Oxígeno. [Online]. <http://definicion.de/oxigeno/>
- [36] DefiniciónABC. (2012) Definición de Oxígeno. [Online].

<http://www.definicionabc.com/general/oxigeno.php>

- [37] OZONO21. (2010, septiembre) Los rayos son amigos que generan OZONO. [Online]. <http://www.ozono21.com/actualidad-interna/los-rayos-son-amigos-que-generan-ozono/228/>
- [38] VAIVASUATA. (2014, octubre) Diferencia entre trueno, rayo y relámpago. [Online]. <http://diferenciaentre.info/diferencia-entre-trueno-rayo-y-relampago/>
- [39] UstedPregunta.com. (2014, octubre) ¿Cuánto voltaje puede tener un rayo eléctrico? [Online]. <http://www.defensacentral.com/ustedpregunta/categoria/ciencia/cuanto-voltaje-puede-tener-un-rayo-electrico/>
- [40] Endesa. (2014) Funcionamiento de los transformadores. [Online]. [www.endesaeduca.com/Endesa\\_educa/recursos-interactivos/conceptos-basicos/funcionamiento-de-los-transformadores](http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/conceptos-basicos/funcionamiento-de-los-transformadores)
- [41] EcuRed\_Conocimiento con todos y para todos. (2014) Fly-back. [Online]. <https://www.ecured.cu/Fly-back>
- [42] Ciencia Recreativa. (2013, agosto) Circuito de Mazzilli para controlar un Transformador Flyback. [Online]. [lacienciarecreativa.blogspot.com/2013/08/circuito-de-mazzilli-para-controlar-un.html](http://lacienciarecreativa.blogspot.com/2013/08/circuito-de-mazzilli-para-controlar-un.html)
- [43] Victoria Martínez, "Introducción a los Balastos electrónicos," *UDLAP*, vol. 1, pp. 5,7, 2005, [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/martinez\\_v\\_da/capitulo\\_1.html](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/martinez_v_da/capitulo_1.html).
- [44] Definición. (2012) Definición de automatización. [Online].

<http://definicion.de/automatizacion/>

- [45] Ashly López. (2016, junio) Ejemplo y aplicaciones de Arduino. [Online]. <http://latecnologiamooderna.blogspot.com/2016/06/ejemplos-y-aplicaciones-de-arduino.html>
- [46] Sergio Castaño. (2015, enero) Programando un microcontrolador. [Online]. <http://controlautomaticoeducacion.com/primeros-pasos-programando-un-microcontrolador/>
- [47] UCSA. (2011, enero) PLC. [Online]. <https://ramaucsa.wordpress.com/2011/01/31/concepto-plc-controlador-logico-programable/>
- [48] Quiminet.com. (2006, agosto) El aluminio: un metal con aplicaciones singulares. [Online]. <http://www.quiminet.com/articulos/elhttp://www.quiminet.com/articulos/el-aluminio-un-metal-con-aplicaciones-singulares-13680.htm-aluminio-un-metal-con-aplicaciones-singulares-13680.htm>
- [49] Marco Cremasco, Edson Tomaz, Vanessa Mochi, and Carlos Vergel , "Pérdida de Ozono en Líneas de Flujo Poliméricas: PVC y Silicona," *SciELO*, vol. 24, no. 3, enero 2013.
- [50] Merlett. (2014) MERLETT MANGUERAS DE PU – POR QUÉ POLIURETANO? [Online]. <http://www.merlett.es/News/MERLETT-MANGUERAS-DE-PU-POR-QUE-POLIURETANO#?page=1>
- [51] DTForuM.INFO. (2009, marzo) Problemas con flyback. [Online]. [http://www.dtforum.info/index.php?topic=96447.0;prev\\_next=prev](http://www.dtforum.info/index.php?topic=96447.0;prev_next=prev)
- [52] YoReparo. (2014, octubre) Reemplazo de flyback. [Online].

[http://tv.yoreparo.com/reparacion\\_de\\_tv/reemplazo-de-flybak-t1361878.html](http://tv.yoreparo.com/reparacion_de_tv/reemplazo-de-flybak-t1361878.html)

- [53] Electrónica Paso a Paso. (2015, abril) Como Aumentar el Rango de Medición DC de un Multímetro.
- [54] Computo Integrado. (2012, abril) Microcontrolador PIC16F628A. [Online]. <http://cintegrado.blogspot.com/2012/04/microcontrolador-pic16f628a.html>
- [55] Microchip, "PIC16F627A/628A/648A DataSheet," *Microchip Technology*, p. 4, 2007, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40044F.pdf>.
- [56] ProyectosPIC2010. (2010) Introducción PIC16F628A. [Online]. <https://sites.google.com/site/proyectospic2010/PIC18F452/introduccion-pic16f628a-1>
- [57] Diego Dorado. Visualizador LCD LM016L. [Online]. [http://www.academia.edu/9289390/Visualizador\\_LCD\\_LM016L](http://www.academia.edu/9289390/Visualizador_LCD_LM016L)
- [58] E&R by MrChunckuee. (2014, agosto) MicroCode Studio y PBP: Control de LCD utilizando MicroCode Studio y PBP. [Online]. <http://mrchunckuee.blogspot.com/2014/08/control-de-lcd-utilizando-microcode.html>
- [59] AFH Services. (2010) Monitoreo Calidad Medio Ambiente. [Online]. <http://www.afhservices.com.ec/nosotros.html>
- [60] Porter-Cable, "Manual de instrucciones generadores," Porter-Cable Professional Power Tools, Estados Unidos, Instructivo D21269-007-0,.

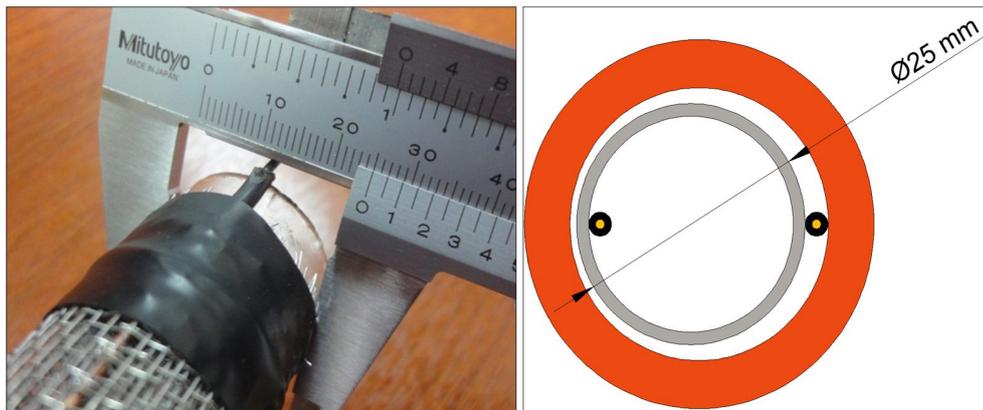
# ANEXOS

**ANEXO 1.** Medidas con el calibrador pie de rey y  
diseño en Autocad de la celda generadora de ozono

## Anexo 1

### A. Tubo de vidrio (Material dieléctrico)

La medida del diámetro externo e interno del vidrio circular con el calibrador de Vernier así como su esquema en un software de diseño asistido por computador se evidencia en las figuras 95 y 96.



**Figura 95.** Dimensión del diámetro externo del material dieléctrico (calibrador de Vernier y AutoCAD 2013)

Fuente: Investigador

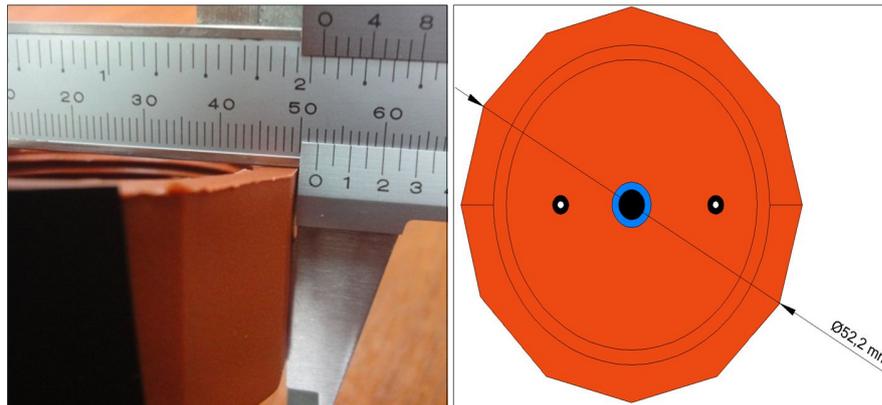


**Figura 96.** Dimensión del diámetro interno del material dieléctrico (calibrador de Vernier y AutoCAD 2013)

Fuente: Investigador

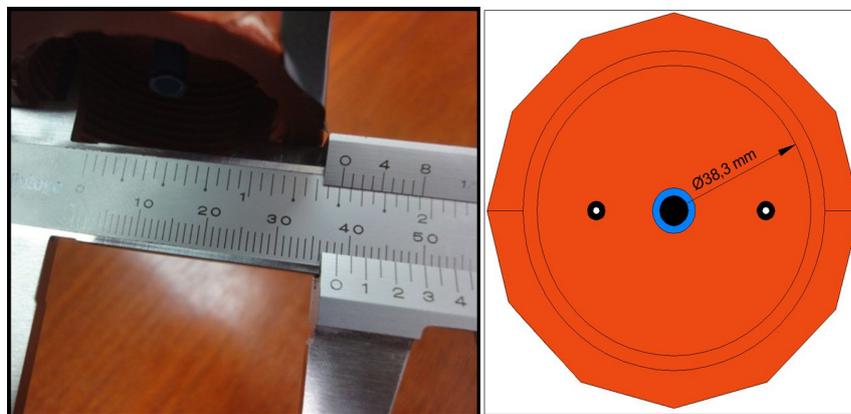
## B. Tapón del tubo PVC roscado

La medida del diámetro externo e interno de una de las dos tapas del tubo PVC roscado con el calibrador de Vernier así como su esquema en un software de diseño asistido por computador se observa en las figuras 97 y 98.



**Figura 97.** Dimensión del diámetro externo de un tapón del tubo PVC roscado\_vista inferior (calibrador de Vernier y AutoCAD 2013)

**Fuente:** Investigador

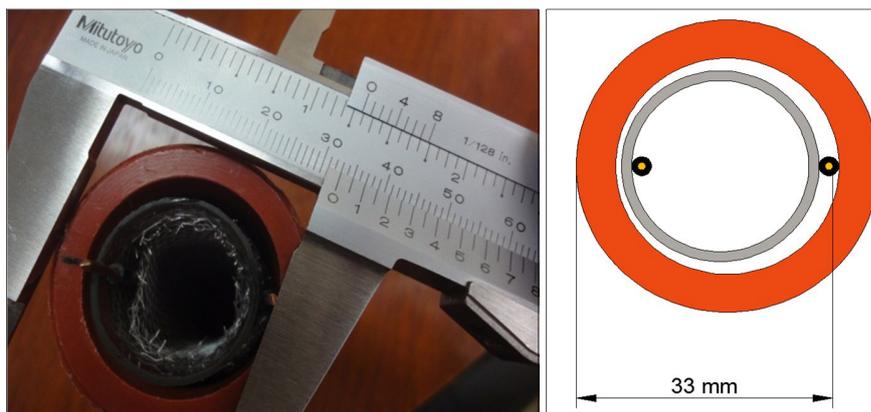


**Figura 98.** Dimensión del diámetro interno de un tapón del tubo PVC roscado\_vista inferior (calibrador de Vernier y AutoCAD 2013)

**Fuente:** Investigador

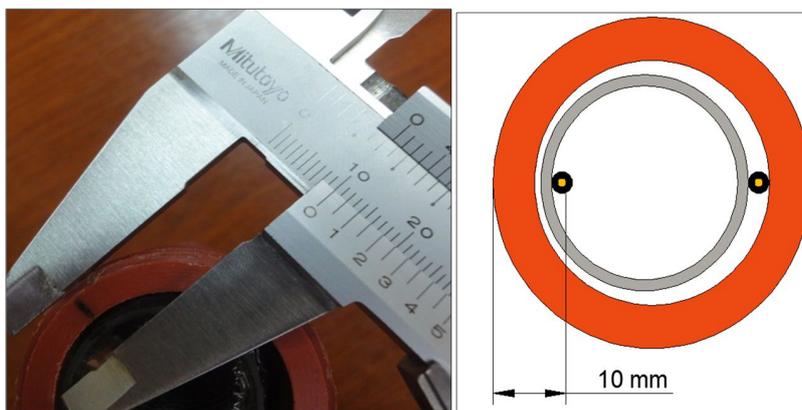
### C. Tubo PVC con celda generadora de ozono

La distancia existente entre el tubo PVC y el electrodo externo e interno de la celda generadora de ozono con el calibrador de Vernier así como su esquema en un software de diseño asistido por computador se presenta en las figura 99 y 100.



**Figura 99.** Dimensión del electrodo externo con el tubo PVC (calibrador de Vernier y AutoCAD 2013)

**Fuente:** Investigador



**Figura 100.** Dimensión del electrodo interno con el tubo PVC (calibrador de Vernier y AutoCAD 2013)

**Fuente:** Investigador

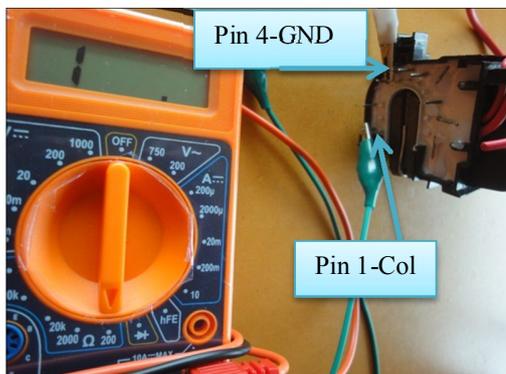
## **ANEXO 2. Pruebas y valores de la fuente de alto voltaje**

- A. Demostración de que los transformadores Flyback no están en corto
- B. Valores de resistencia registrado en el multímetro TRUPER y suscrito en la tabla 10 y 11 mediante la relación de 2 terminales del Flyback
- C. Comprobación de las 6 combinaciones con el flyback y el circuito electrónico del foco ahorrador de potencia de 62 W, 45 W, 25 W y balastro electrónico de tubo fluorescente de 20 W.
- D. Procedimiento para la elaboración de una sonda de multímetro digital con 9 resistencias de 1 M $\Omega$  y comprobación del funcionamiento de la punta de medición elaborada
- E. Registro del alto voltaje producido por 2 transformadores flyback y 4 balastos electrónicos propios de la tabla 13.

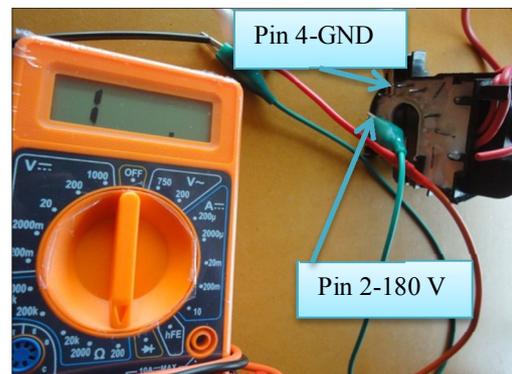
## Anexo 2

### A. Demostración de que los transformadores Flyback no están en corto

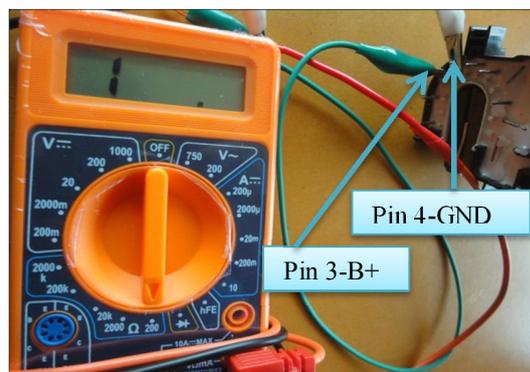
Una de las formas de determinar que los 2 tipos de flyback están sin irregularidades es cuando el pin del Colector, 180 V y B+ no mide resistencia con GND (tierra) como se puede ver en las figuras 101, 102 y 103 para el Flyback 6174V-6006H y las figuras 104 y 105 para el Flyback BSC25-5519, ya que si existe un valor de resistencia significa que el transformador está en corto y por lo tanto no es apto en la obtención de alto voltaje.



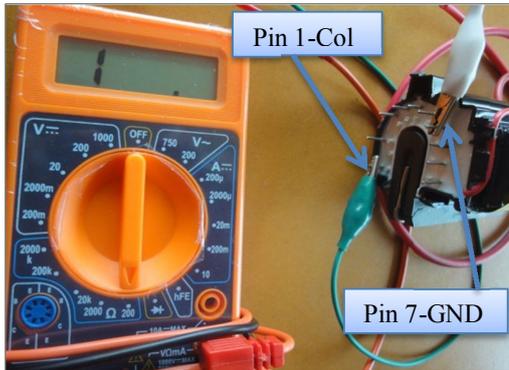
**Figura 101.** No registra valor de resistencia en el multímetro TRUPER entre Col y GND del Flyback 6174V-6006H  
**Fuente:** Investigador



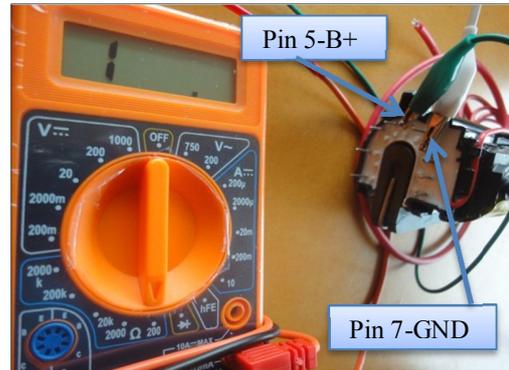
**Figura 102.** No registra valor de resistencia en el multímetro TRUPER entre 180 V y GND del Flyback 6174V-6006H  
**Fuente:** Investigador



**Figura 103.** No registra valor de resistencia en el multímetro TRUPER B+ y GND del Flyback 6174V-6006H  
**Fuente:** Investigador



**Figura 104.** No registra valor de resistencia en el multímetro TRUPER entre Col y B+ del Flyback BSC25-5519  
**Fuente:** Investigador

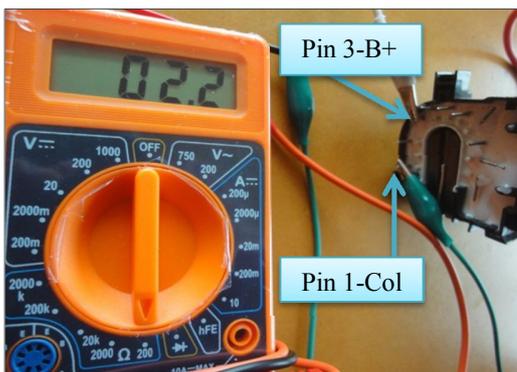


**Figura 105.** No registra valor de resistencia en el multímetro TRUPER entre B+ y GND del Flyback BSC25-5519  
**Fuente:** Investigador

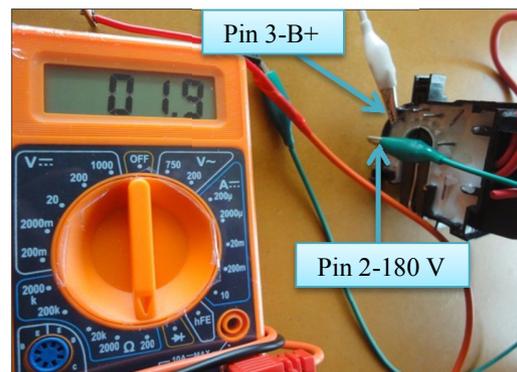
**B. Valores de resistencia registrado en el multímetro TRUPER y suscrito en la tabla 10 y 11 mediante la relación de 2 terminales del Flyback.**

**Flyback 6174V-6006H**

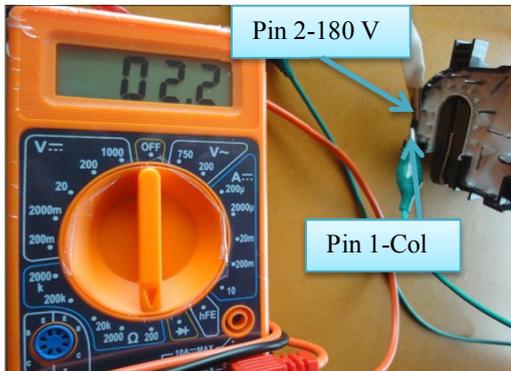
De las 2 puntas del multímetro una se coloca en el pin 1 y la otra en el pin 3 como se observa en la figura 106, luego se coloca las puntas en los terminales 2-3, 1-2, 6-9, 4-6 y 4-9 como se presenta en las figuras 107, 108, 109, 110 y 111 respectivamente.



**Figura 106.** Valor de resistencia en el multímetro TRUPER en los pines 1 y 3 del Flyback 6174V-6006H  
**Fuente:** Investigador

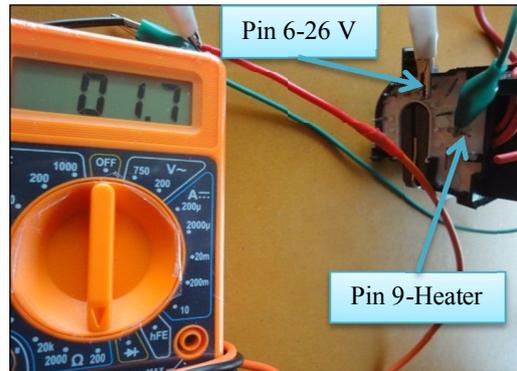


**Figura 107.** Valor de resistencia en el multímetro TRUPER en los pines 2 y 3 del Flyback 6174V-6006H  
**Fuente:** Investigador



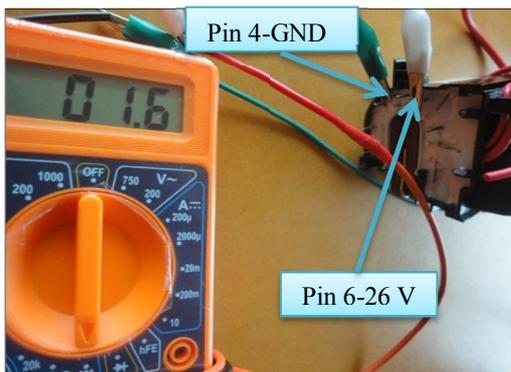
**Figura 108.** Valor de resistencia en el multímetro TRUPER en los pines 1 y 2 del Flyback 6174V-6006H

**Fuente:** Investigador



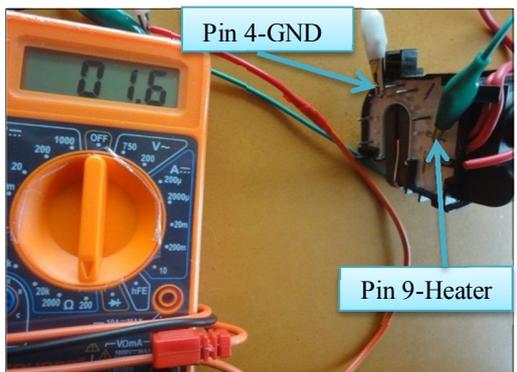
**Figura 109.** Valor de resistencia en el multímetro TRUPER en los pines 6 y 9 del Flyback 6174V-6006H

**Fuente:** Investigador



**Figura 110.** Valor de resistencia en el multímetro TRUPER en los pines 4 y 6 del Flyback 6174V-6006H

**Fuente:** Investigador

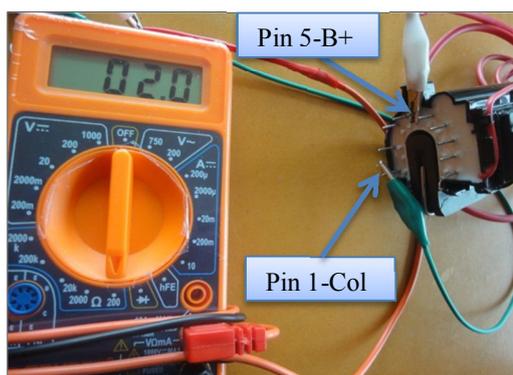


**Figura 111.** Valor de resistencia en el multímetro TRUPER en los pines 4 y 9 del Flyback 6174V-6006H

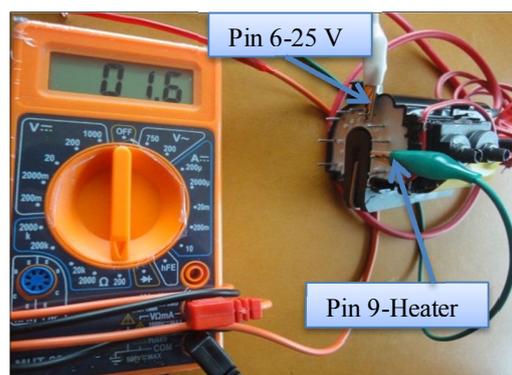
**Fuente:** Investigador

## Flyback BSC25-5519

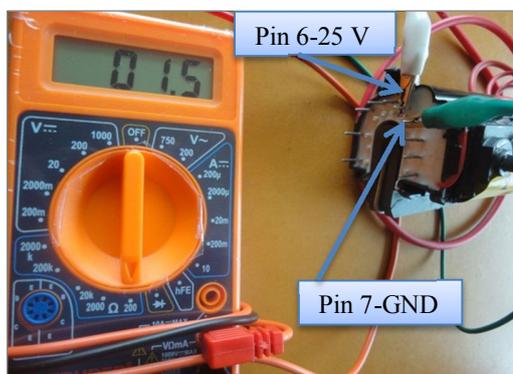
De las 2 puntas del multímetro una se coloca en el pin 1 y la otra en el pin 5 como se observa en la figura 112 luego se coloca las puntas en los terminales 6-9, 6-7 y 7-9 como se presenta en las figuras 113, 114 y 115 respectivamente.



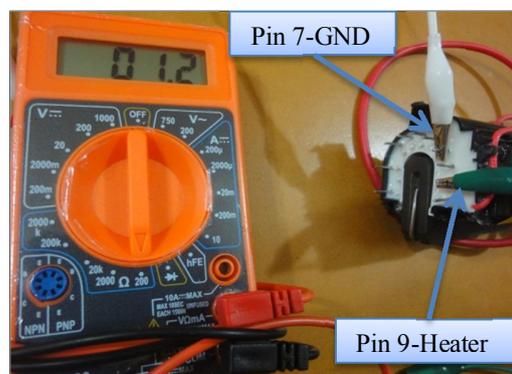
**Figura 112.** Valor de resistencia en el multímetro TRUPER en los pines 1 y 5 del Flyback BSC25-5519  
**Fuente:** Investigador



**Figura 113.** Valor de resistencia en el multímetro TRUPER en los pines 6 y 9 del Flyback BSC25-5519  
**Fuente:** Investigador



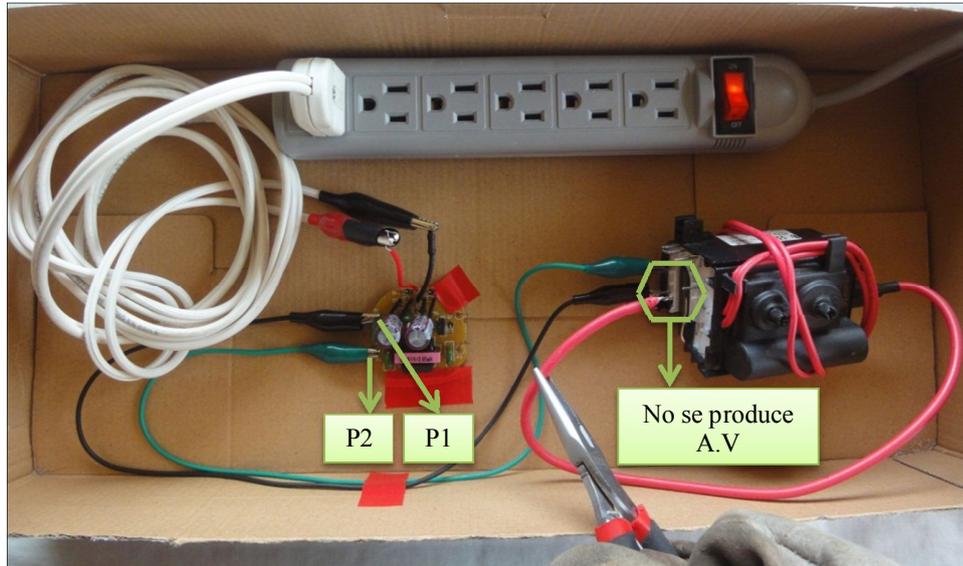
**Figura 114.** Valor de resistencia en el multímetro TRUPER en los pines 6 y 7 del Flyback BSC25-5519  
**Fuente:** Investigador



**Figura 115.** Valor de resistencia en el multímetro TRUPER en los pines 7 y 9 del Flyback BSC25-5519  
**Fuente:** Investigador

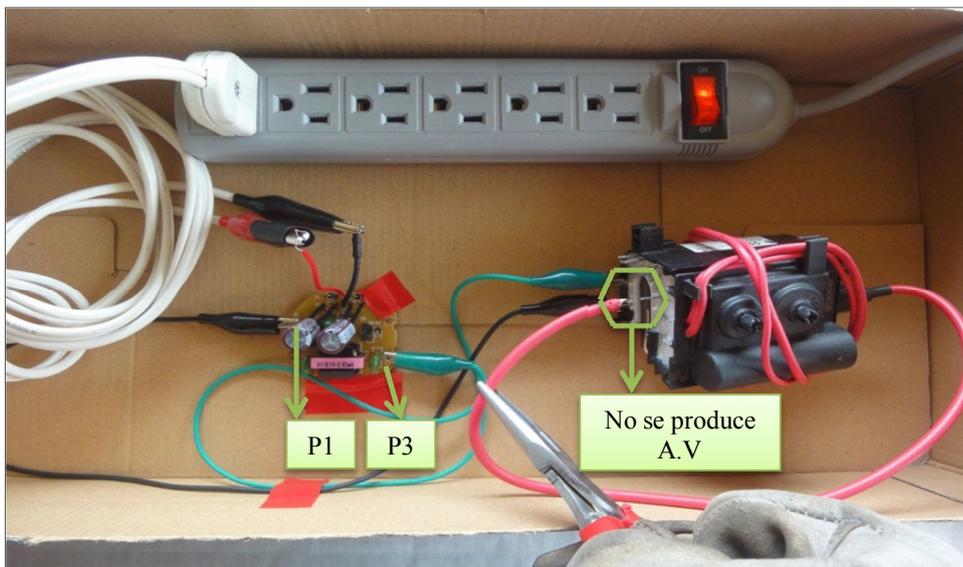
**C. Comprobación de las 6 combinaciones con el flyback y el circuito electrónico del foco ahorrador de potencia = 62 W.**

Con P1-P2 no se produce Alto Voltaje (A.V), como lo indica la figura 116.



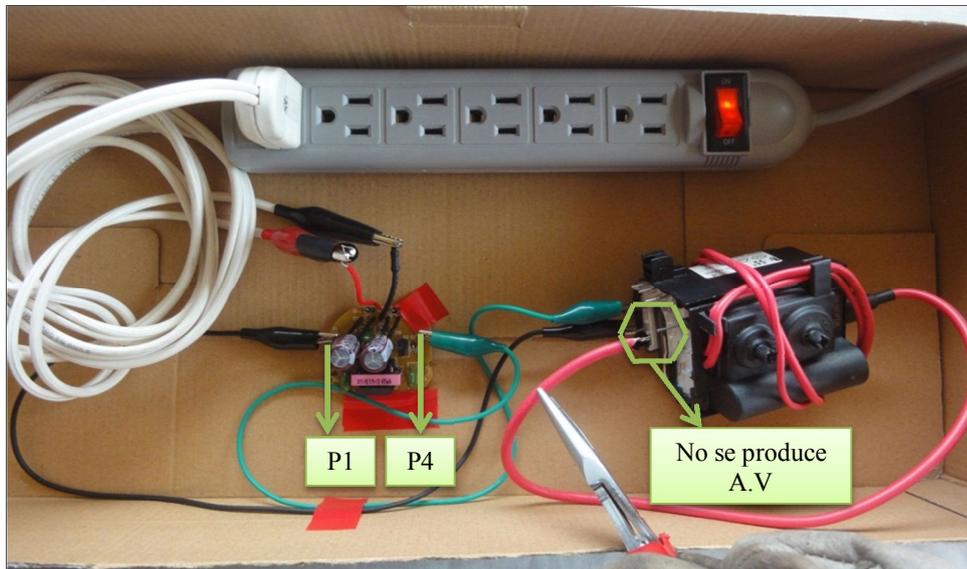
**Figura 116.** Combinación del pin 1 y 2 del circuito electrónico de 62 W  
**Fuente:** General Light

Con P1-P3 no se produce alto voltaje, presente en la figura 117.



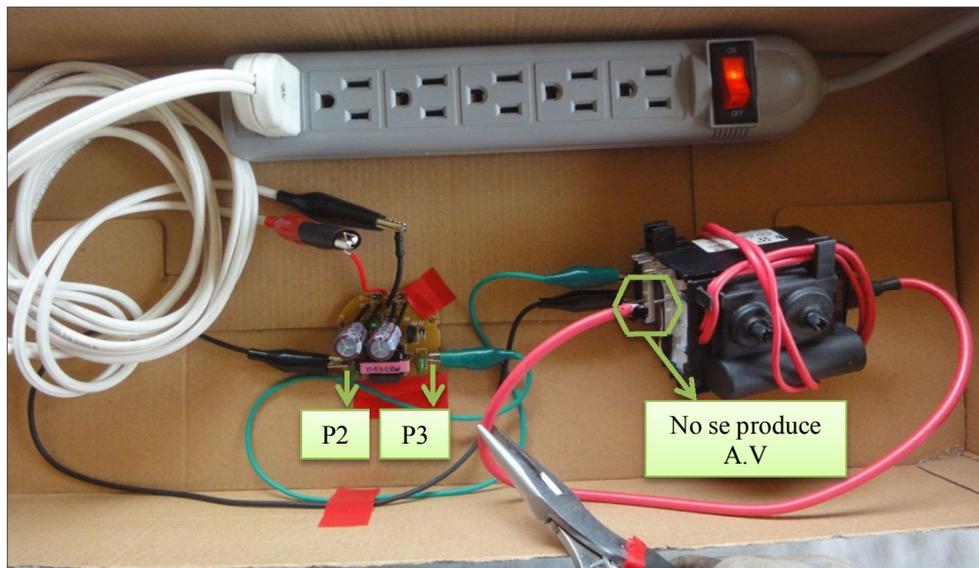
**Figura 117.** Combinación del pin 1 y 3 del circuito electrónico de 62 W  
**Fuente:** General Light

Con P1-P4 no se produce alto voltaje, como se muestra en la figura adjunta.



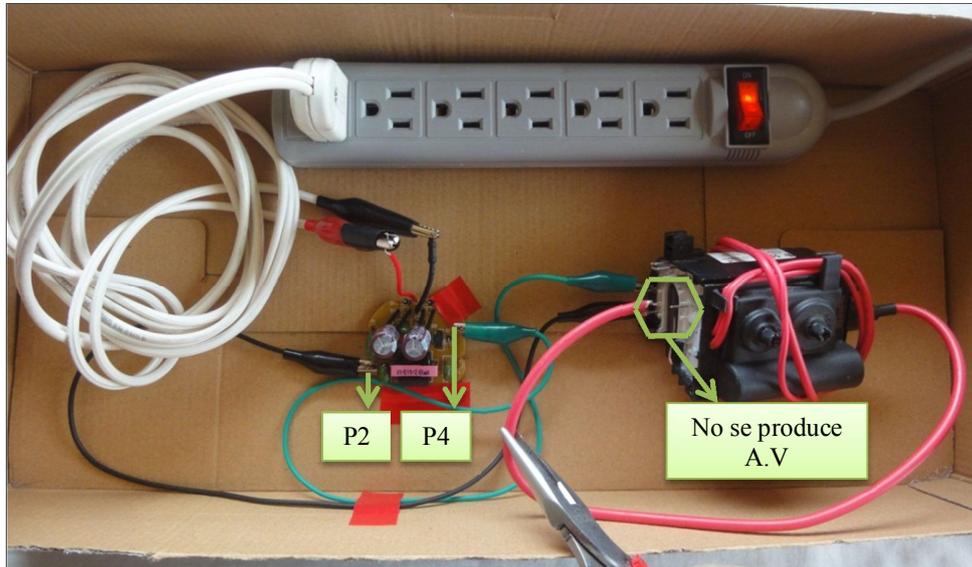
**Figura 118.** Combinación del pin 1 y 4 del circuito electrónico de 62 W  
**Fuente:** General Light

Con P2-P3 chispa en el circuito y no se produce alto voltaje, indicado en la figura 119.



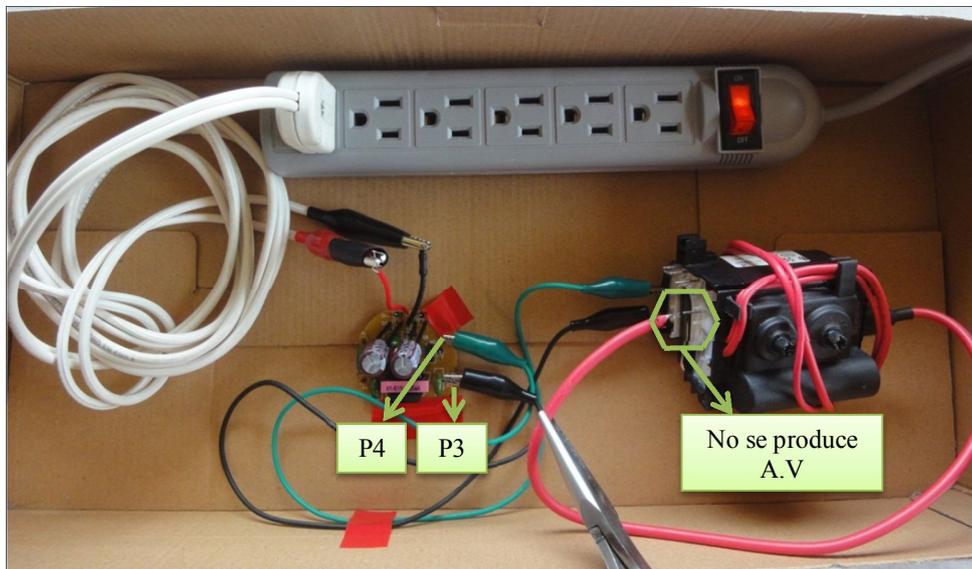
**Figura 119.** Combinación del pin 2 y 3 del circuito electrónico de 62 W  
**Fuente:** General Light

Con P2-P4 no se produce alto voltaje, presente en la figura 120.



**Figura 120.** Combinación del pin 2 y 4 del circuito electrónico de 62 W  
**Fuente:** General Light

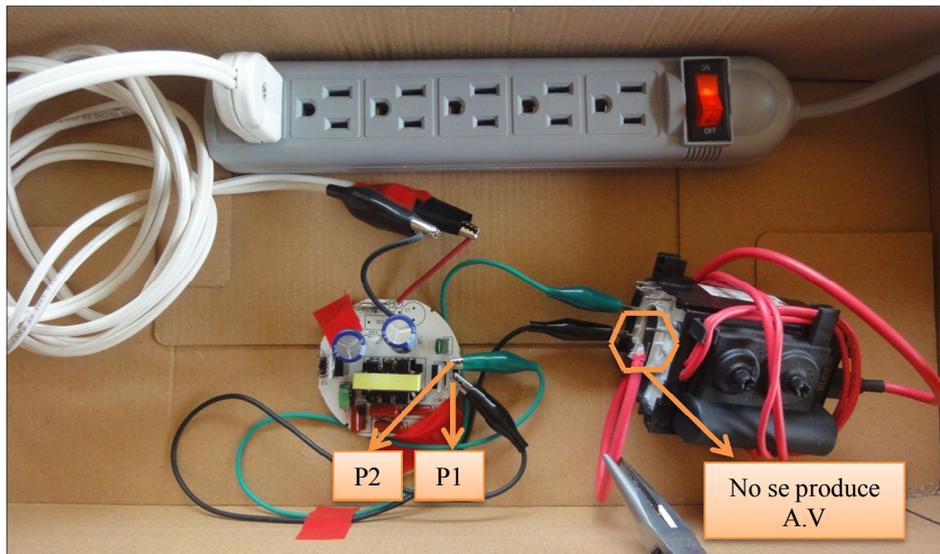
Con P3-P4 no se produce alto voltaje, ilustrada en la figura 121.



**Figura 121.** Combinación del pin 3 y 4 del circuito electrónico de 62 W  
**Fuente:** General Light

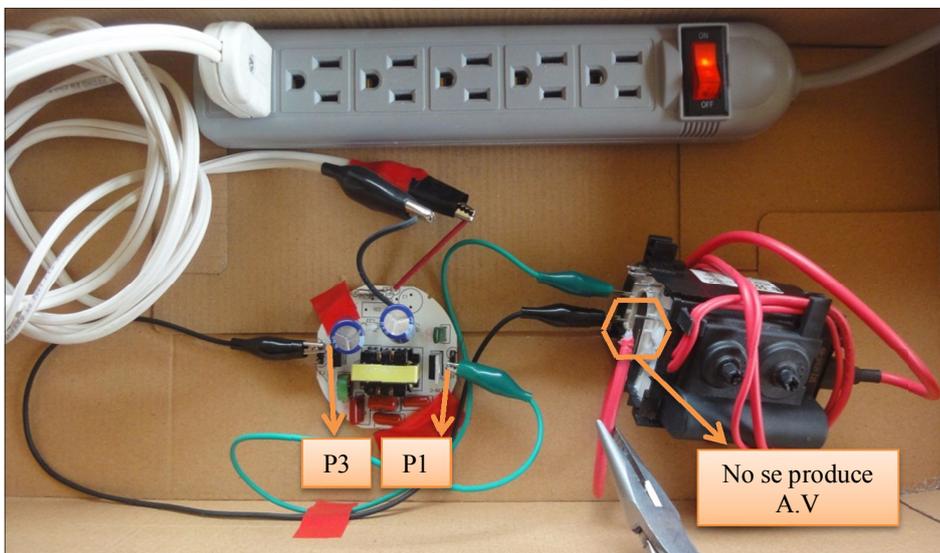
**Comprobación de las 6 combinaciones con el flyback y el circuito electrónico del foco ahorrador de potencia = 45 W.**

Con P1-P2 no se produce alto voltaje, como lo indica la figura 122.



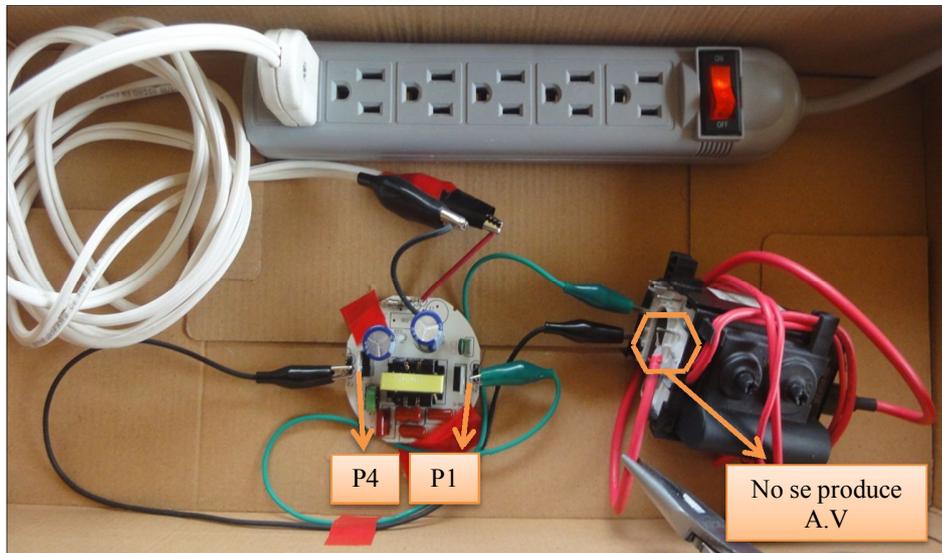
**Figura 122.** Combinación del pin 1 y 2 del circuito electrónico de 45 W  
**Fuente:** Maviju

Con P1-P3 no se produce alto voltaje, presente en la figura 123.



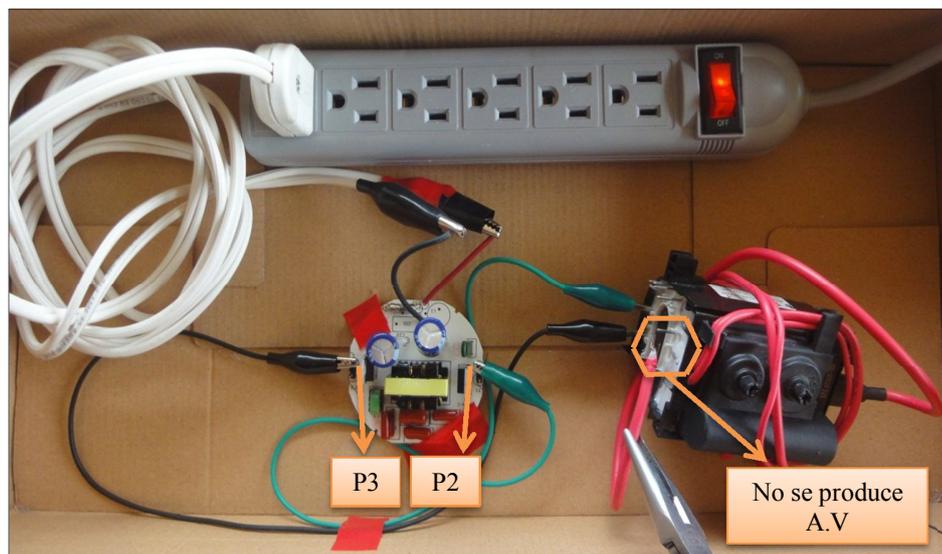
**Figura 123.** Combinación del pin 1 y 3 del circuito electrónico de 45 W  
**Fuente:** Maviju

Con P1-P4 no se produce alto voltaje, como se muestra en la figura adjunta.



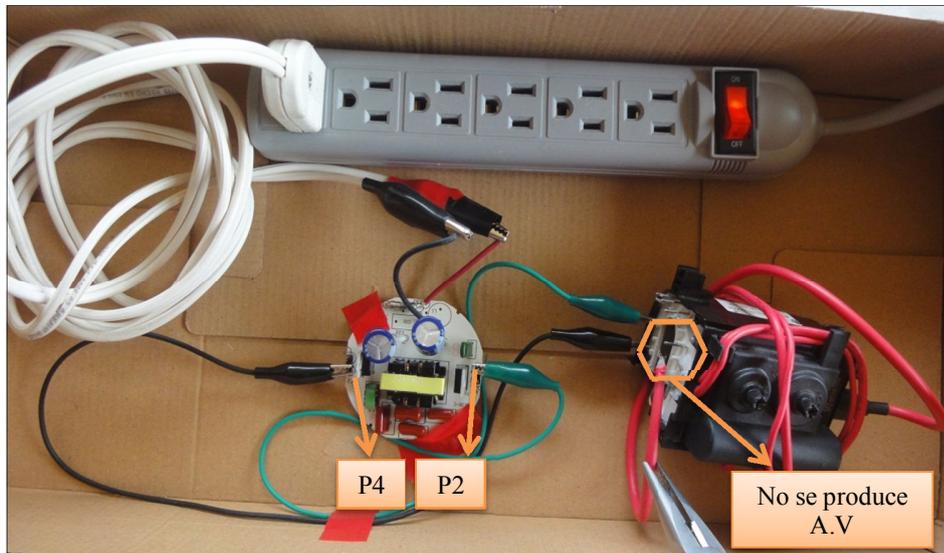
**Figura 124.** Combinación del pin 1 y 4 del circuito electrónico de 45 W  
**Fuente:** Maviju

Con P2-P3 no se produce alto voltaje, indicado en la figura 125.



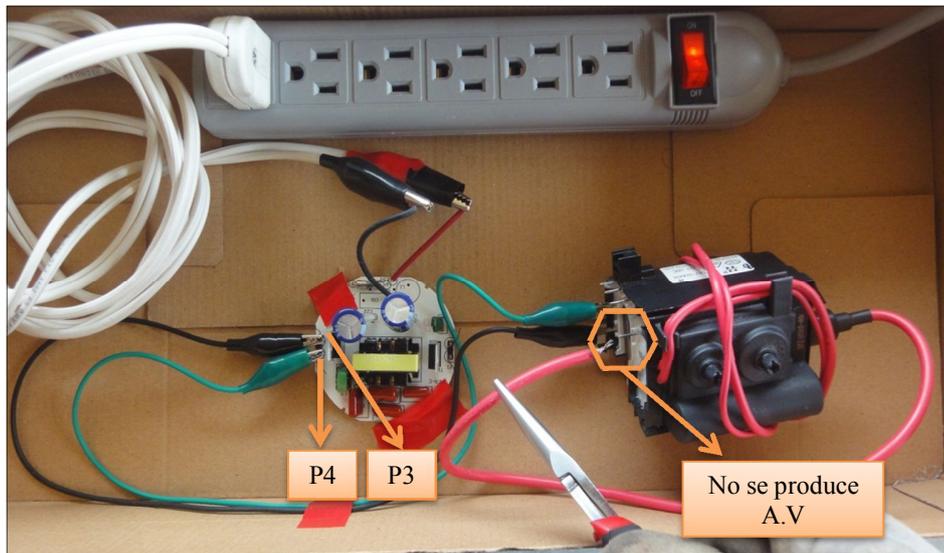
**Figura 125.** Combinación del pin 2 y 3 del circuito electrónico de 45 W  
**Fuente:** Maviju

Con P2-P4 no se produce alto voltaje, presente en la figura 126.



**Figura 126.** Combinación del pin 2 y 4 del circuito electrónico de 45 W  
**Fuente:** Maviju

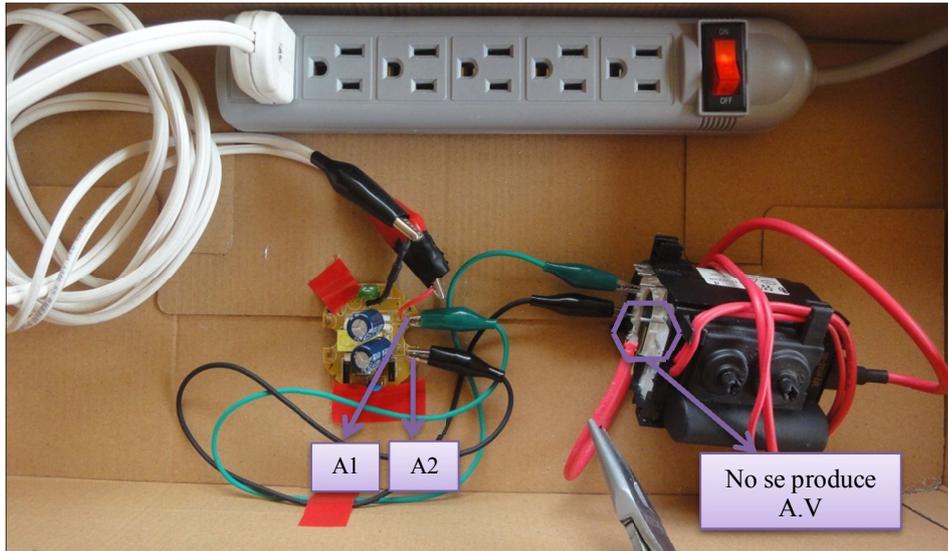
Con P3-P4 no se produce alto voltaje, ilustrada en la figura 127.



**Figura 127.** Combinación del pin 3 y 4 del circuito electrónico de 45 W  
**Fuente:** Maviju

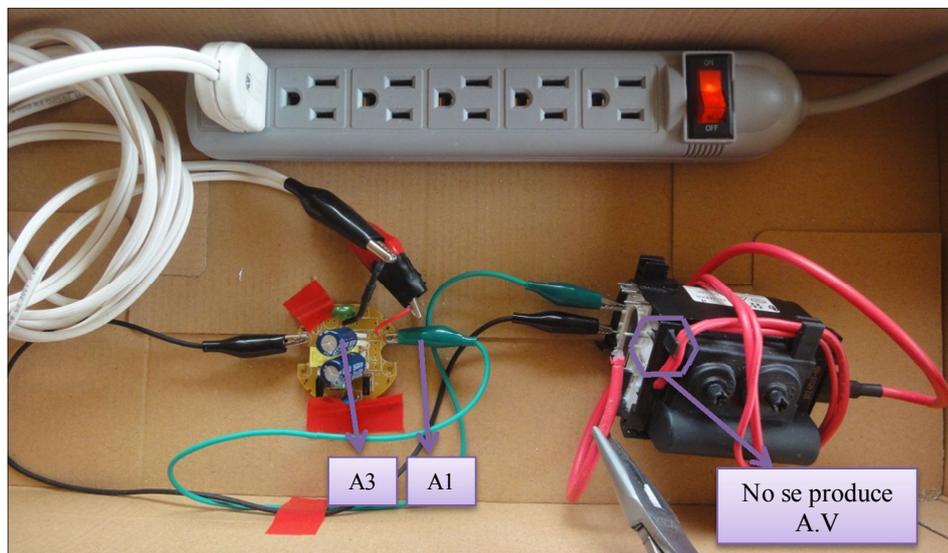
**Comprobación de las 6 combinaciones con el flyback y el circuito electrónico del foco ahorrador de potencia = 25 W.**

Con A1-A2 no se produce alto voltaje, como lo indica la figura 128.



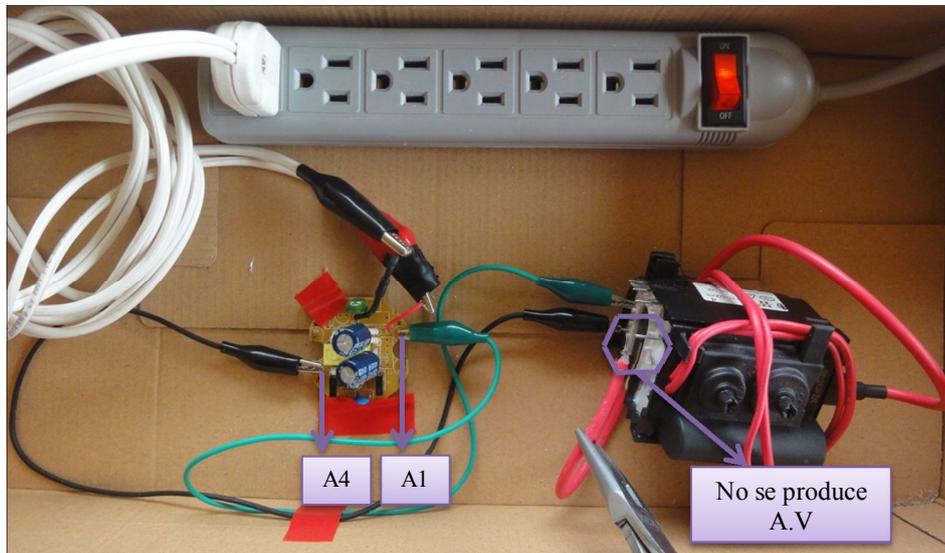
**Figura 128.** Combinación del pin 1 y 2 del circuito electrónico de 25 W  
**Fuente:** Sylvania

Con A1-A3 no se produce alto voltaje, presente en la figura 129.



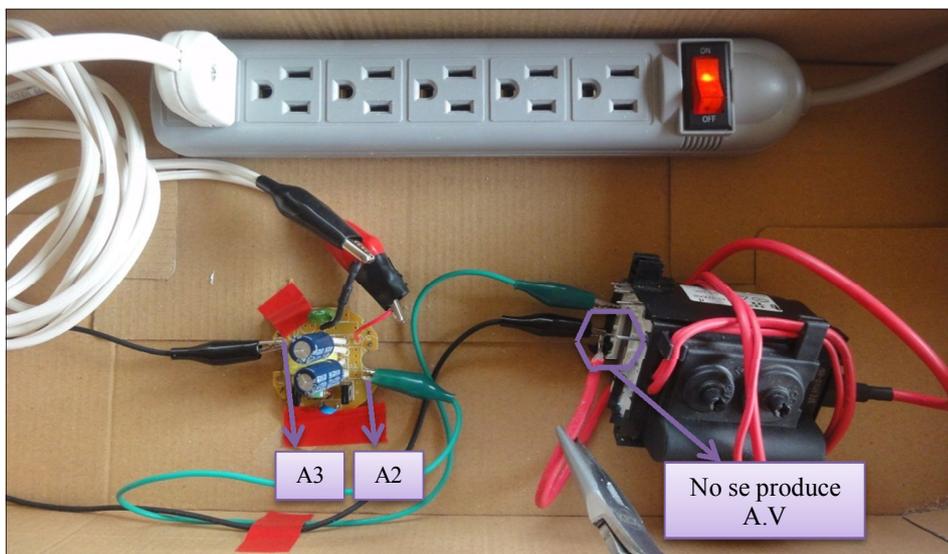
**Figura 129.** Combinación del pin 1 y 3 del circuito electrónico de 25 W  
**Fuente:** Sylvania

Con A1-A4 no se produce alto voltaje, como se muestra en la figura adjunta.



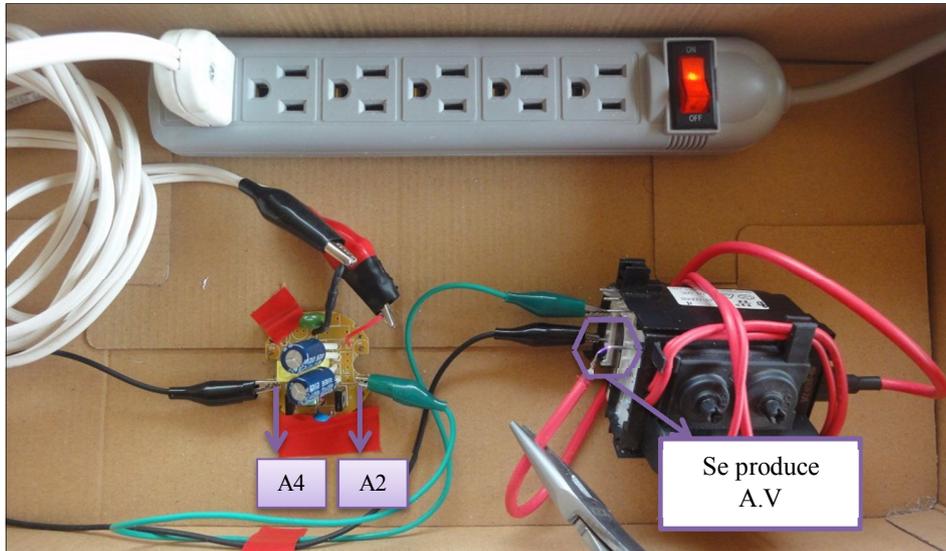
**Figura 130.** Combinación del pin 1 y 4 del circuito electrónico de 25 W  
**Fuente:** Sylvania

Con A2-A3 no se produce alto voltaje, indicado en la figura 131.



**Figura 131.** Combinación del pin 2 y 3 del circuito electrónico de 25 W  
**Fuente:** Sylvania

Con A2-A4 se produce alto voltaje, presente en la figura 132.



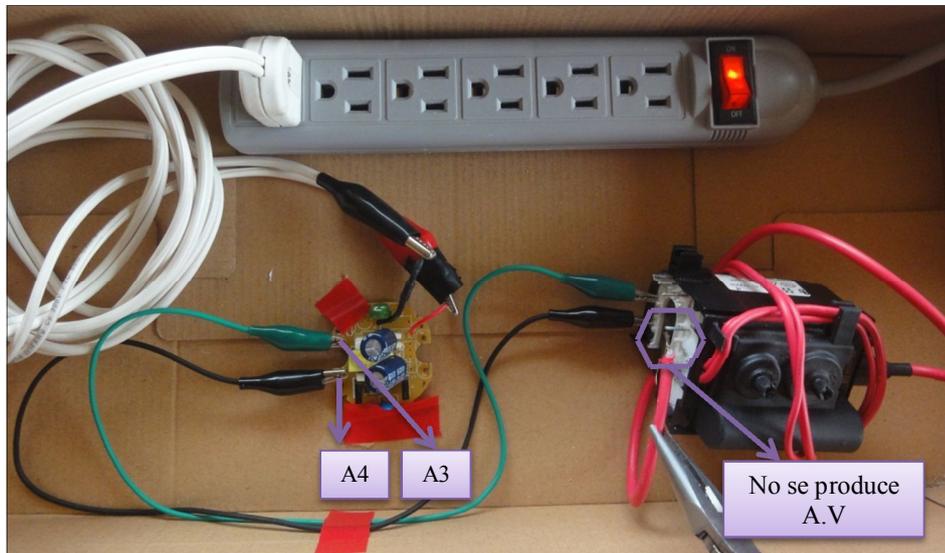
**Figura 132.** Combinación del pin 2 y 4 del circuito electrónico de 25 W  
**Fuente:** Sylvania

El Alto Voltaje se obtiene al acercar el terminal positivo del devanado secundario del transformador Flyback al pin del terminal negativo de dicho transformador como se observa en la figura 133.



**Figura 133.** Alto Voltaje del transformador Flyback  
**Fuente:** Sylvania

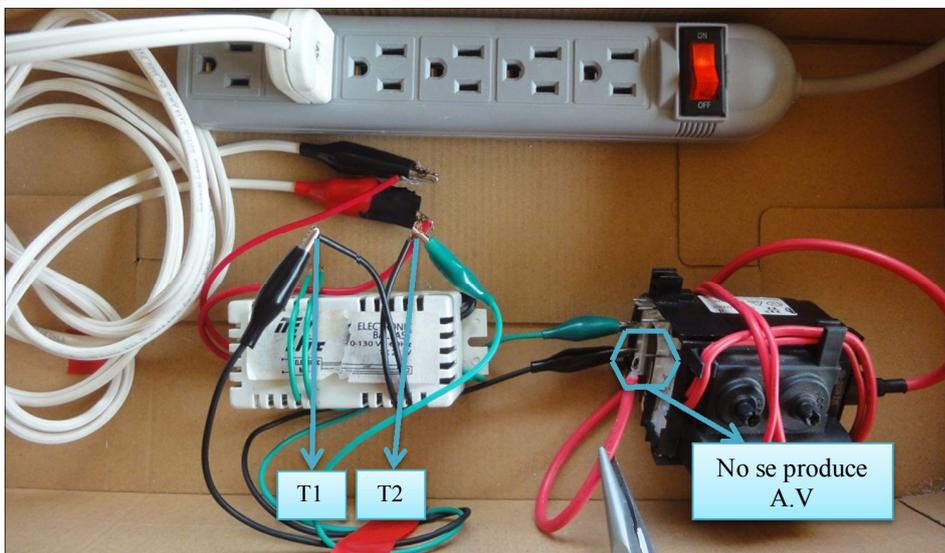
Con A3-A4 no se produce alto voltaje, ilustrada en la figura 134.



**Figura 134.** Combinación del pin 3 y 4 del circuito electrónico de 25 W  
**Fuente:** Sylvania

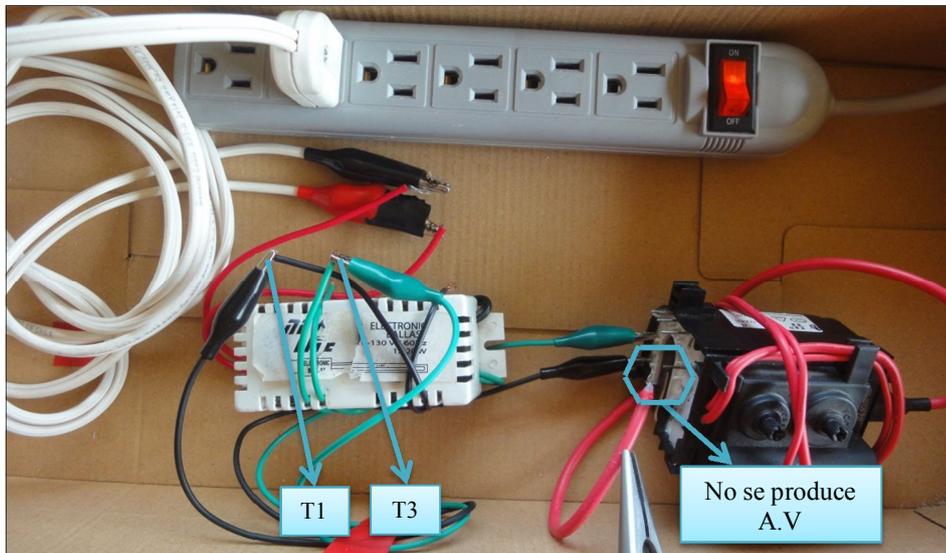
**Comprobación de las 6 combinaciones con el flyback y el balastro electrónico de tubo fluorescente de potencia = 20 W.**

Con T1-T2 no se produce alto voltaje, como lo indica la figura 135.



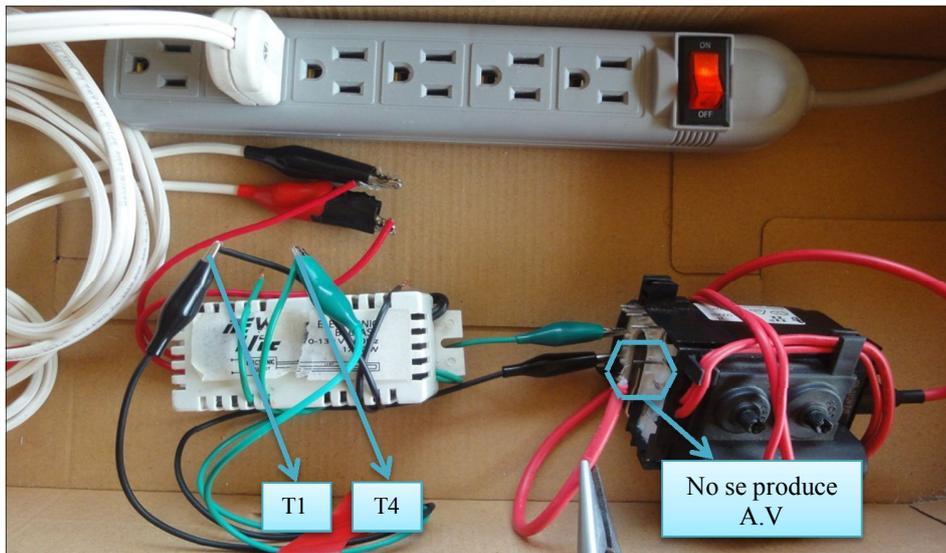
**Figura 135.** Combinación del terminal 1 y 2 del balastro electrónico de 20 W  
**Fuente:** New Lite

Con T1-T3 no se produce alto voltaje, presente en la figura 136.



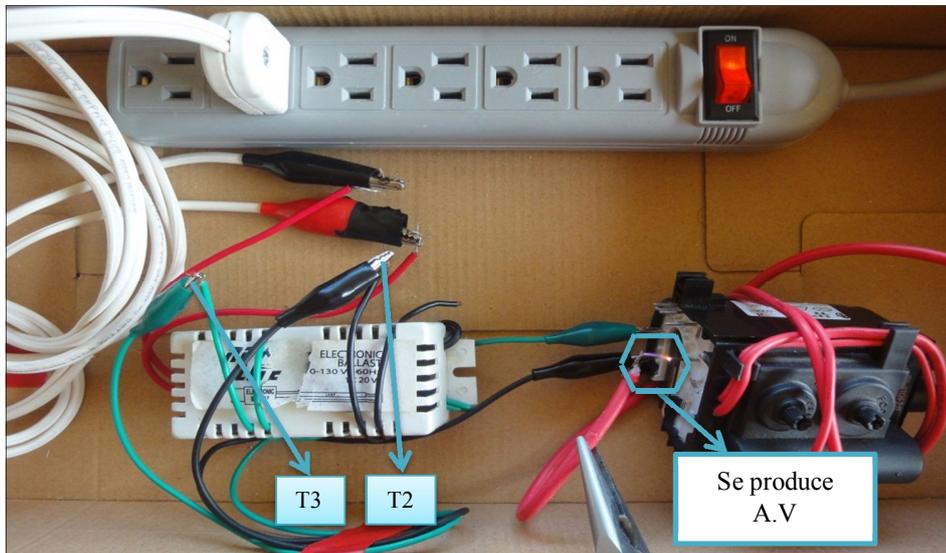
**Figura 136.** Combinación del terminal 1 y 3 del balastro electrónico de 20 W  
**Fuente:** New Lite

Con T1-T4 no se produce alto voltaje, como se muestra en la figura adjunta.



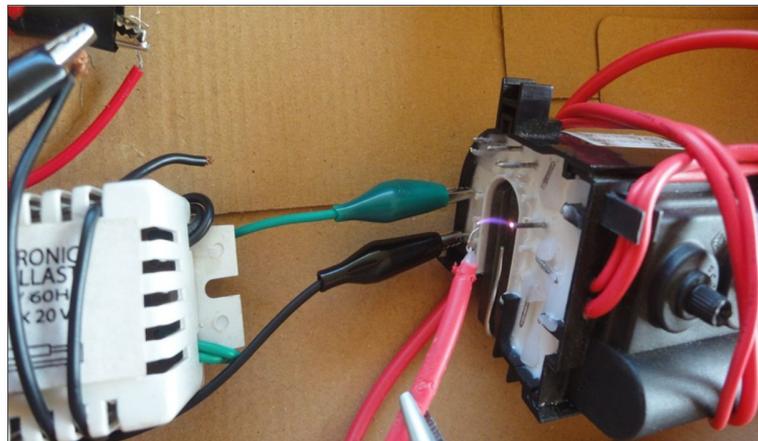
**Figura 137.** Combinación del terminal 1 y 4 del balastro electrónico de 20 W  
**Fuente:** New Lite

Con T2-T3 se produce alto voltaje, indicado en la figura 138.



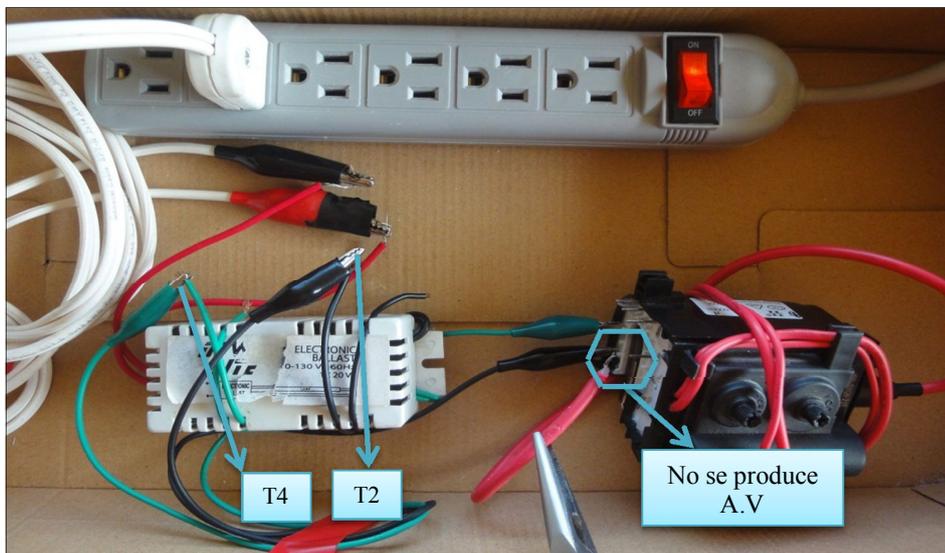
**Figura 138.** Combinación del terminal 2 y 3 del balastro electrónico de 20 W  
**Fuente:** New Lite

Con la ayuda del balastro electrónico de tubo de fluorescente de 20w, se produce el arco eléctrico entre el terminal positivo y negativo del devanado secundario del transformador flyback el cual se aprecia en la figura 139.



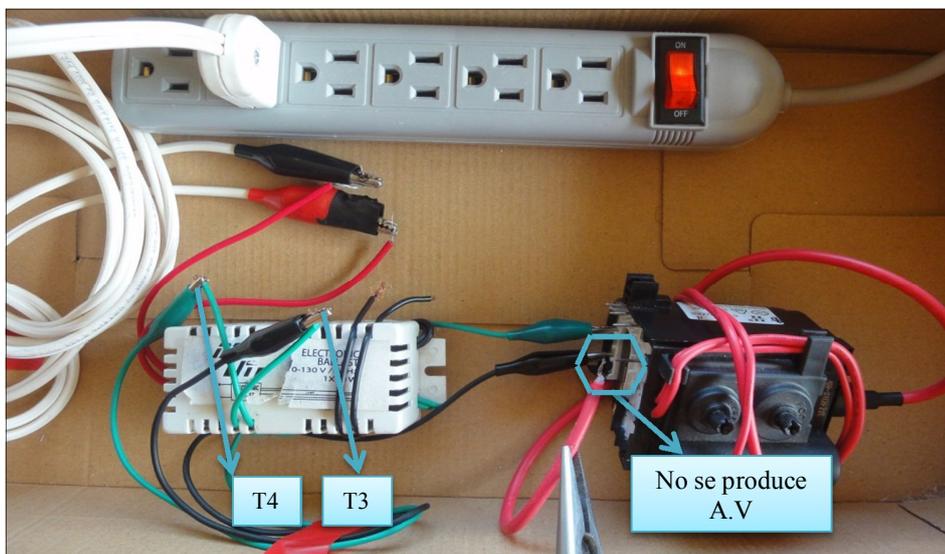
**Figura 139.** Arco eléctrico producido en el transformador flyback  
**Fuente:** New Lite

Con T2-T4 no se produce alto voltaje, presente en la figura 140.



**Figura 140.** Combinación del terminal 2 y 4 del balastro electrónico de 20 W  
**Fuente:** New Lite

Con T3-T4 no se produce alto voltaje, presente en la figura 141.



**Figura 141.** Combinación del terminal 3 y 4 del balastro electrónico de 20 W  
**Fuente:** New Lite

#### D. Procedimiento para la elaboración de una sonda de multímetro digital con 9 resistencias de 1 M $\Omega$ .

Primero se colocan 9 resistencias de 1 M $\Omega$  en serie, luego se suelda con cautín y estaño todos sus terminales a excepción de la resistencia que esta al inicio y al final de la serie, es decir tienen un terminal independiente cada uno como se ve en la figura 142.



**Figura 142.** Unión de 9 resistencias de 1 M $\Omega$  en serie con 2 terminales independientes  
**Fuente:** Investigador

El teflón posee gran resistencia a frecuencias altas de corriente y actúa en la electricidad como material aislante, por eso se procede a envolver la unión de resistencias soldadas con una cinta teflón indicado en la figura adjunta.



**Figura 143.** Unión de resistencias envueltas con cinta teflón  
**Fuente:** Investigador

Una vez cubierto las 9 resistencias con cinta teflón, se lo introduce en un pedazo de thermofit de similar medida en diámetro y longitud que la unión de resistencias, sin considerar las terminales independientes como se presenta en la figura 144, y cuando la unión soldada está dentro del thermofit se lo calienta con un fósforo o una vela mostrado en la figura 145. Se calienta el también material aislante hasta que los 2 componentes están completamente unidos.

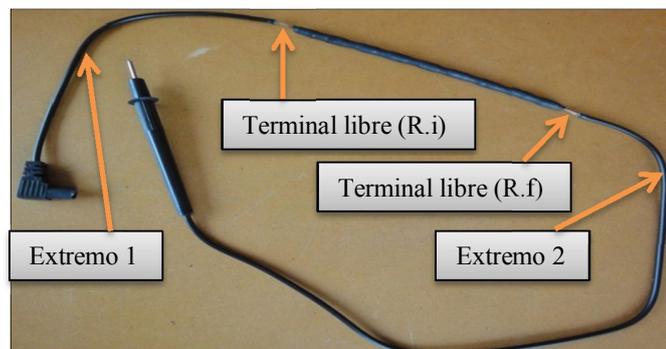


**Figura 144.** Resistencias soldadas con cinta teflón dentro del Thermofit  
**Fuente:** Investigador



**Figura 145.** Thermofit contraído a alta temperatura  
**Fuente:** Investigador

Lo siguiente es integrar la unión de resistencias con la punta negativa del multímetro digital, para lo cual se corta la punta de medición a una distancia elegida por la persona, donde uno de los extremos corresponde al terminal libre de la resistencia inicial (R.i) y el otro extremo corresponde al terminal libre de la resistencia final (R.f) como se manifiesta en la figura 146.



**Figura 146.** Unión de resistencias con thermofit añadido a la punta negativa del multímetro digital  
**Fuente:** Investigador

Antes de soldar todo el conjunto de la figura 146, se colocan 2 pequeños trozos de thermofit en el extremo 1 y 2 para la terminal de la resistencia inicial y el terminal de la resistencia final respectivamente y un thermofit más grande que cubra todos los componentes añadidos a la punta negativa del multímetro digital, que en este caso es de 18cm aproximadamente como se observa en la figura 147.



**Figura 147.** 2 Trozos pequeños de thermofit en cada terminal y la medida que debe tener el thermofit más grande

**Fuente:** Investigador

Se suelda las terminales de la unión de resistencias con los 2 extremos de la punta negativa cortada y a continuación se ubican los dos trozos pequeños de thermofit, para que sean sometidos al calor de la vela.

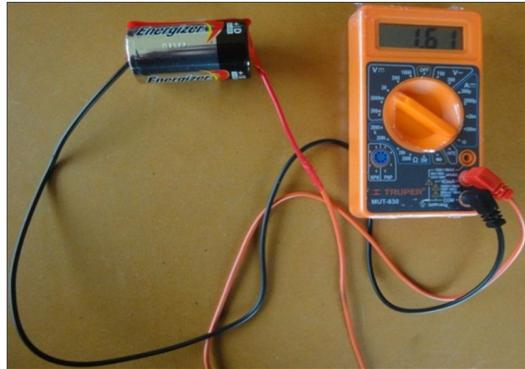
Finalmente se ubica el thermofit de mayor tamaño con la intención de cubrir todos los componentes elaborados y esto se logra a una alta temperatura.

### **Comprobación del funcionamiento de la punta de medición elaborada**

La sonda acoplada al multímetro digital TRUPER modelo MUT-830, registra valores de voltaje continuo bajo y alto, el aparato de medición presenta un valor que debe ser multiplicado x10 para obtener el valor real existiendo la siguiente comparación:

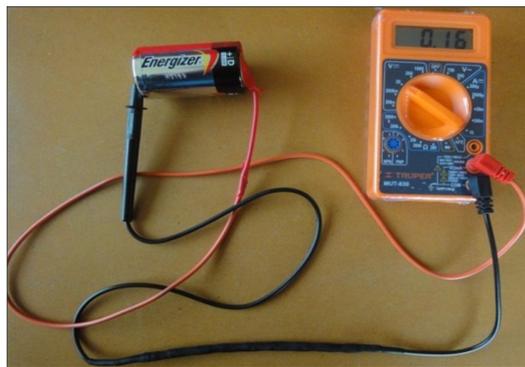
- la figura 148 indica el valor de voltaje de una pila tipo D con 2 puntas de medición normales siendo este de 1,61 V,
- la figura 149 presenta el valor de voltaje de una pila tipo D con la punta de medición negativa elaborada y la punta positiva normal mostrado un número

igual a 0,16 V que debe ser multiplicado x10 para conseguir el valor original en voltaje continuo.



**Figura 148.** Valor que registra el multímetro digital TRUPER con 2 puntas de medición normales en una pila tipo D

**Fuente:** Investigador



**Figura 149.** Valor que registra el multímetro digital TRUPER con 1 punta de medición normal (positiva) y otra punta de medición elaborada (negativa) en una pila tipo D

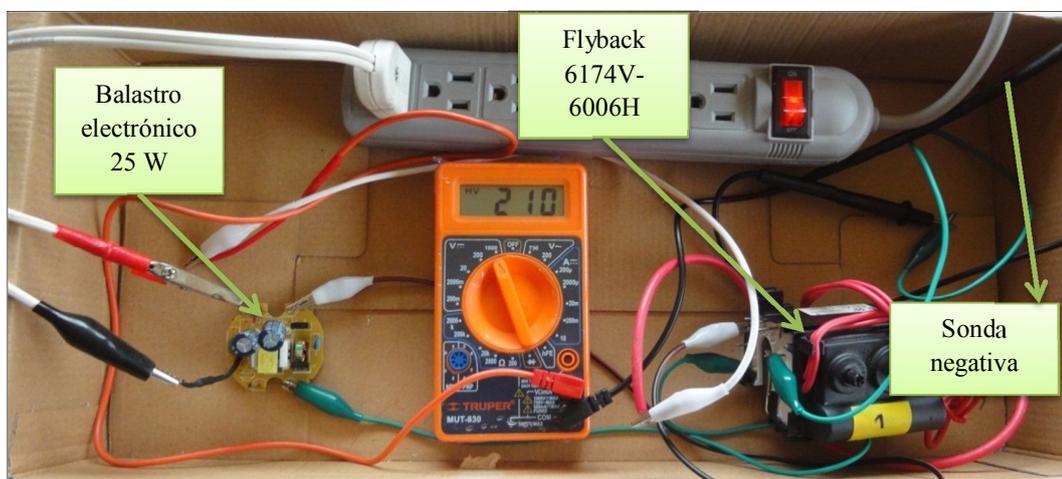
**Fuente:** Investigador

Cabe aclarar que de las 2 puntas de medición se selecciona la negativa y no la positiva porque al integrar la unión de 9 resistencias de  $1\text{M}\Omega$  en la punta de medición roja, los valores de alto voltaje no se registran como es debido ya que para visualizar un número toca invertir la polaridad en los terminales del flyback lo cual no es apropiado; lo correcto es que la sonda negativa elaborada se acople al pin negativo del flyback y la punta positiva se una al cable positivo del transformador.

**E. Registro del alto voltaje producido por 2 transformadores flyback y 4 balastos electrónicos propios de la tabla 13.**

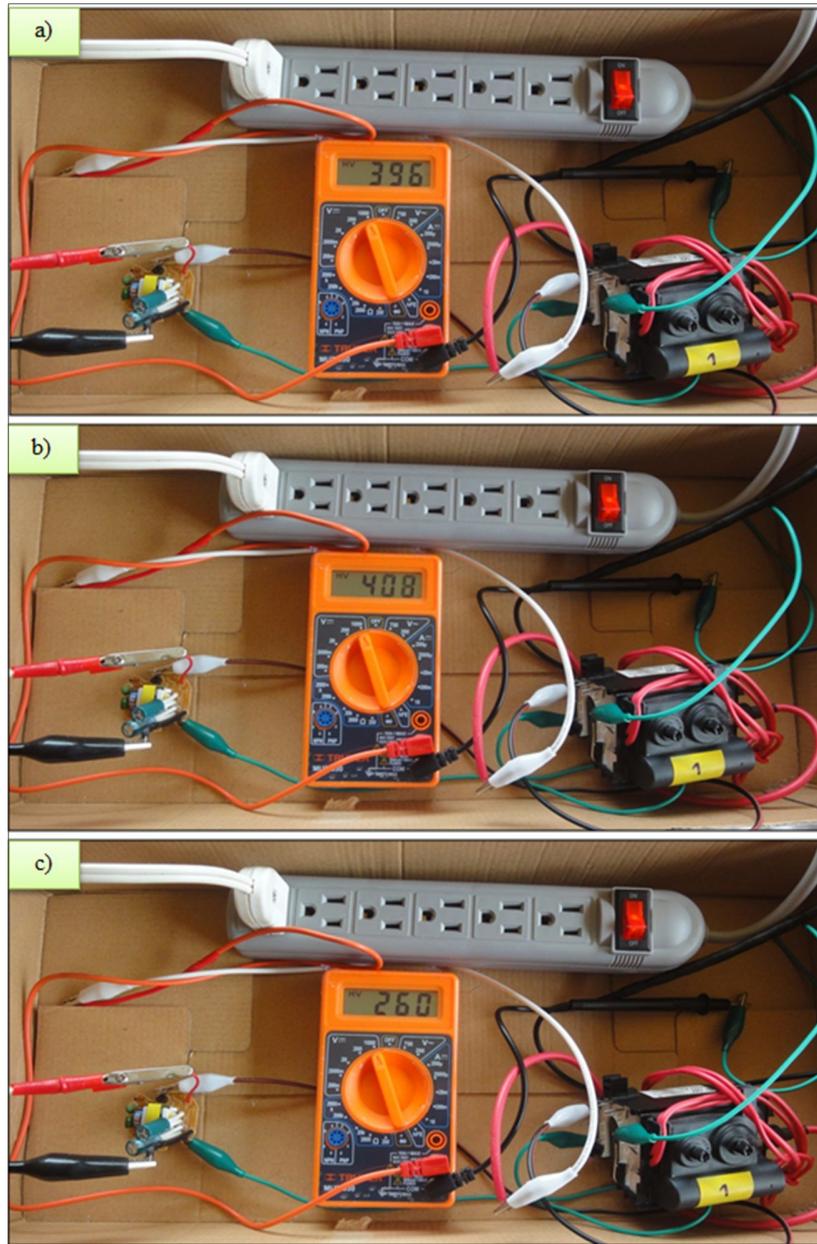
**Flyback 6174V-6006H**

El multímetro digital juntamente con la sonda negativa elaborada registra que la dependencia del flyback 6174V-6006H con el balastro electrónico de un foco ahorrador de 25 W produce 210 V DC como se observa en la figura 150, que multiplicado por el factor de relación (x10) es igual a 2100 V DC.



**Figura 150.** Valor de alto voltaje entre el flyback 6174V-6006H y el balastro electrónico de un foco ahorrador de 25 W  
**Fuente:** Sylvania

El multímetro digital juntamente con la sonda negativa elaborada registra que la dependencia del flyback 6174V-6006H con el balastro electrónico de un foco ahorrador de 15 W produce 396 V DC – 408 V DC – 260 V DC como se observa en la figura 151a, 151b y 151c respectivamente, que multiplicado por el factor de relación (x10) es igual a 3920 V DC – 4080 V DC – 2600 V DC.



**Figura 151.** Valor de alto voltaje entre el flyback 6174V-6006H y el balastro electrónico de un foco ahorrador de 15 W: a) 396VDC, b) 408VDC, c) 260VDC  
**Fuente:** Maviju

El multímetro digital juntamente con la sonda negativa elaborada registra que la dependencia del flyback 6174V-6006H con el balastro electrónico de un tubo

fluorescente de 40 W produce 240 V DC como se observa en la figura 152, que multiplicado por el factor de relación (x10) es igual a 2400 V DC.



**Figura 152.** Valor de alto voltaje entre el flyback 6174V-6006H y el balastro electrónico de un tubo fluorescente de 40 W

**Fuente:** New Lite

El multímetro digital juntamente con la sonda negativa elaborada registra que la dependencia del flyback 6174V-6006H con el balastro electrónico de un tubo fluorescente de 20 W produce 275 V DC como se observa en la figura 153, que multiplicado por el factor de relación (x10) es igual a 2750 V DC.



**Figura 153.** Valor de alto voltaje entre el flyback 6174V-6006H y el balastro electrónico de un tubo fluorescente de 20 W

**Fuente:** Maviju

### Flyback BSC25-5519

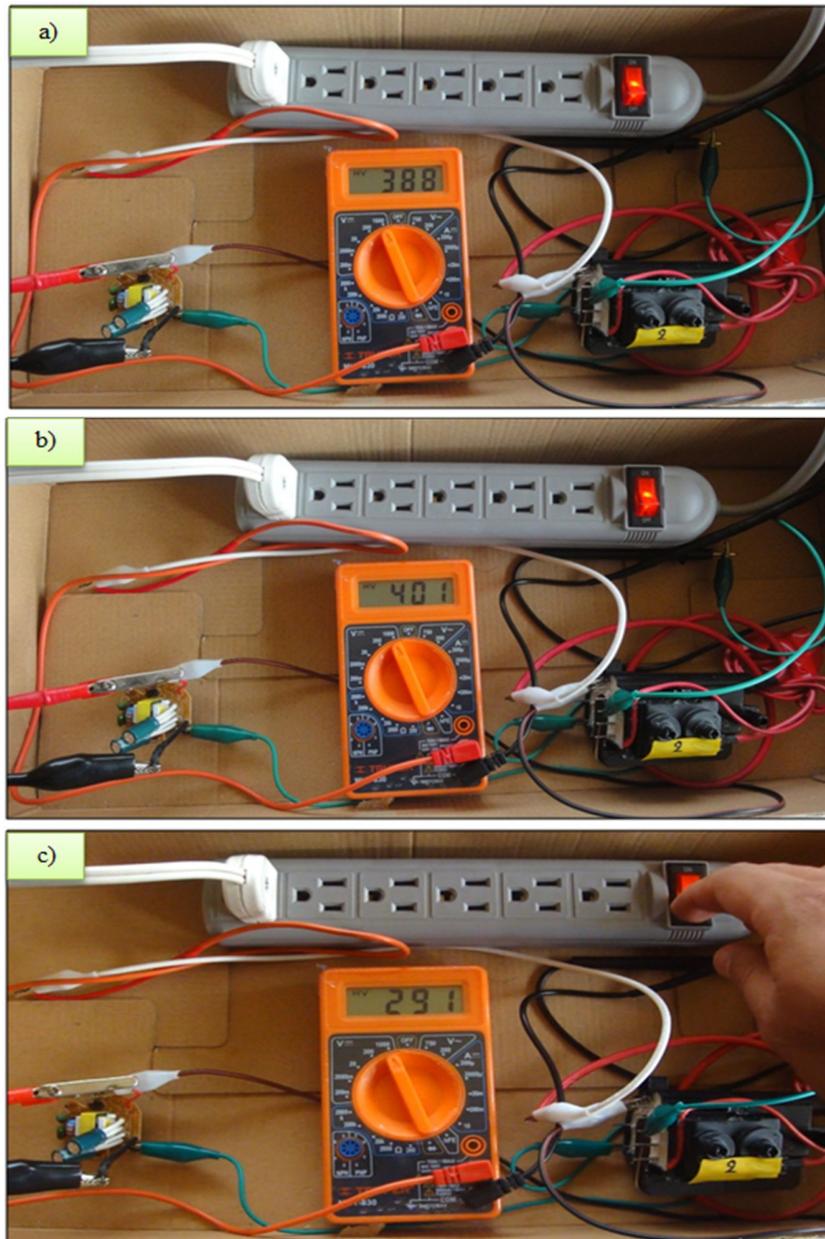
El multímetro digital juntamente con la sonda negativa elaborada registra que la dependencia del flyback BSC25-5519 con el balastro electrónico de un foco ahorrador de 25 W produce 201 VDC como se observa en la figura 154, que multiplicado por el factor de relación (x10) es igual a 2010 V DC.



**Figura 154.** Valor de alto voltaje entre el flyback BSC25-5519 y el balastro electrónico de un foco ahorrador de 25 W

**Fuente:** Sylvania

El multímetro digital juntamente con la sonda negativa elaborada registra que la dependencia del flyback BSC25-5519 con el balastro electrónico de un foco ahorrador de 15 W produce 388 V DC – 401 V DC – 291 V DC como se observa en la figura 155a, 155b y 155c respectivamente, que multiplicado por el factor de relación (x10) es igual a 3880 V DC – 4010 V DC – 2910 V DC.

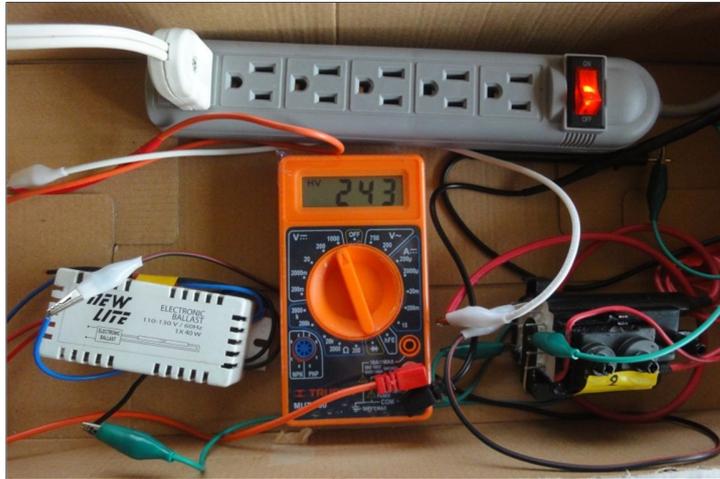


**Figura 155.** Valor de alto voltaje entre el flyback BSC25-5519 y el balastro electrónico de un foco ahorrador de 15 W: a) 388 V DC, b) 401 V DC, c) 291 V DC

**Fuente:** Maviju

El multímetro digital juntamente con la sonda negativa elaborada registra que la dependencia del flyback BSC25-5519 con el balastro electrónico de un tubo

fluorescente de 40 W produce 243 V DC como se observa en la figura 156, que multiplicado por el factor de relación (x10) es igual a 2430 V DC.



**Figura 156.** Valor de alto voltaje entre el flyback BSC25-5519 y el balastro electrónico de un tubo fluorescente de 40 W  
**Fuente:** New Lite

El multímetro digital juntamente con la sonda negativa elaborada registra que la dependencia del flyback BSC25-5519 con el balastro electrónico de un tubo fluorescente de 20 W produce 379 V DC como se observa en la figura 157, que multiplicado por el factor de relación (x10) es igual a 3790 V DC.



**Figura 157.** Valor de alto voltaje entre el flyback BSC25-5519 y el balastro electrónico de un tubo fluorescente de 20 W  
**Fuente:** Maviju

**ANEXO 3.** Construcción del circuito de control con el  
PIC 16F628A

### Anexo 3

#### Procedimiento de construcción

Antes de realizar la construcción del circuito de control se debe tener previamente la programación del PIC para saber que materiales usar y el circuito electrónico impreso.

- I. Cortar la baquelita con una dimensión igual a la del circuito impreso como lo indica la figura 158 y luego pulir toda la superficie de cobre con lija fina.



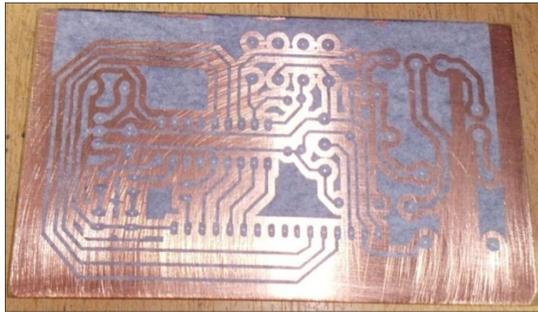
**Figura 158.** Baquelita cortada y lijada  
**Fuente:** Investigador

- II. Colocar el circuito electrónico impreso en la baquelita y asegurar de que están completamente unidas. Luego con una plancha a alta temperatura se introduce calor a esta unión como se ve en la figura adjunta, esto se hace durante unos minutos.



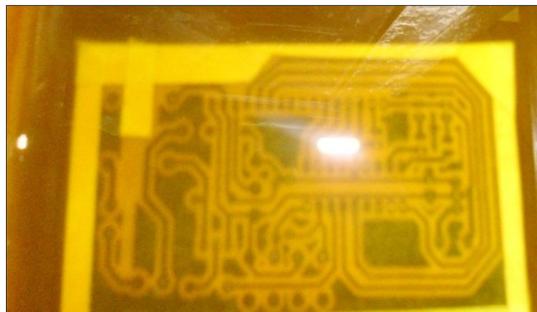
**Figura 159.** Planchado del circuito electrónico con la baquelita  
**Fuente:** Investigador

III. Como la baquelita se encuentra a alta temperatura se lo introduce en agua y después se retira cuidadosamente el circuito impreso de la baquelita para obtener su diagrama mostrado en la figura 160. Si alguna conexión está incompleta se lo enlaza con un marcador permanente.



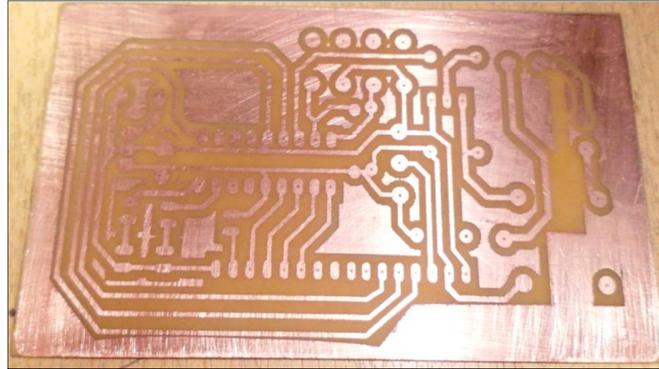
**Figura 160.** Circuito transferido a la baquelita  
**Fuente:** Investigador

IV. Ubicar totalmente a la baquelita obtenida en un recipiente con ácido férrico como se presenta en la figura 161, durante unos 10 minutos aproximadamente.



**Figura 161.** Baquelita en ácido férrico  
**Fuente:** Investigador

V. Retirar con precaución la baquelita del ácido para obtener un circuito impreso en baquelita aceptable adjuntado a la figura 162.



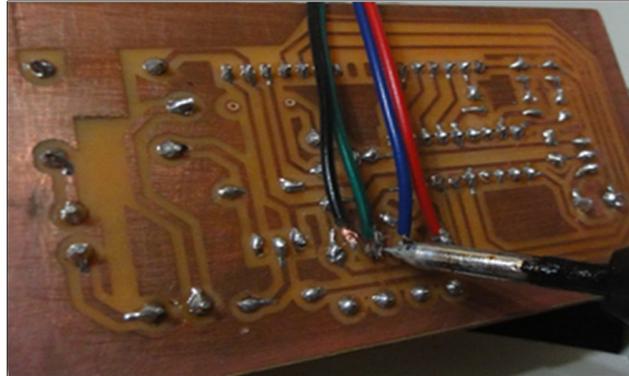
**Figura 162.** Baquelita después del proceso de ácido férrico  
**Fuente:** Investigador

VI. Realizar perforaciones en todas las terminales importantes de la baquelita, con un taladro de broca muy pequeña como se ve en la figura 163, porque en cada punto perforado se sitúan los materiales electrónicos como el PIC 16F628A, LCD, pulsadores, etc.



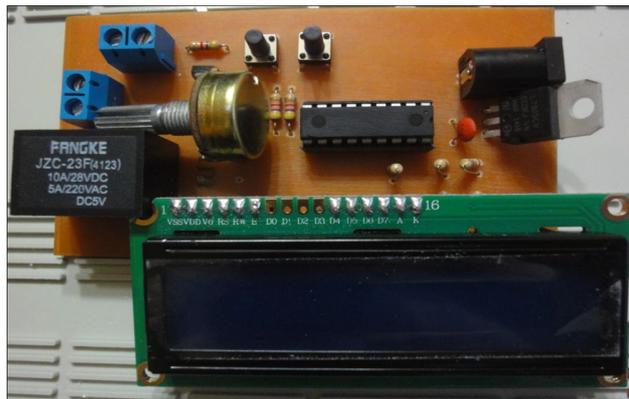
**Figura 163.** Perforaciones con taladro en baquelita  
**Fuente:** Investigador

VII. Finalmente se sueldan todos los componentes electrónicos a la baquelita presentado en la figura 164, para que el circuito de control se pueda utilizar en el generador de ozono.



**Figura 164.** Componentes electrónicos unidos a la baquelita  
**Fuente:** Investigador

El circuito de control ejecuta todas las líneas de código programadas en el PIC 16F628A, donde el generador de ozono depende del tiempo seleccionado por la persona y la construcción de dicho circuito se observa en la figura 165.



**Figura 165.** Estructura física del circuito de control  
**Fuente:** Investigador

**ANEXO 4.** Resultados de medición de ozono emitidos  
por AFH Services CIA. LTDA











**ANEXO 5.** Manual de uso y mantenimiento del  
generador de ozono automatizado

# MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO

## Generador de Ozono Automatizado

S.M-25

05-2017



### **ATENCIÓN**

Antes de usar el ozonizador, lea este instructivo cuidadosamente.

## Características – Generador de ozono automatizado

El generador de ozono posee características que aparecen como resultado del diseño y construcción del equipo y se lo identifica en la tabla 23.

**Tabla 23.** Características del generador de ozono automatizado

Voltaje	120 V AC
Frecuencia	60 Hz
Corriente	< 5 A
Tamaño	largo = 255 mm
	ancho = 190 mm
	alto = 83 mm
Caudal (aire)	2,6 l/min
Salida de ozono	0,01 mg/h
Temporizador	5, 10, 15, 20 y 25 minutos
Concentración máxima	25 minutos = 73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

**Fuente:** Investigador

## INSTRUCCIONES IMPORTANTES DE SEGURIDAD

Antes de poner en funcionamiento el equipo de ozono, es muy necesario conocer algunos peligros que pueden ocurrir cuando no se presta la debida atención de este manual. Existe peligro de electrocución, de inhalación, de superficies caliente y de operación insegura que son detallados en las tablas 24, 25, 26 y 27 respectivamente.

### Peligro de electrocución

**Tabla 24.** Instrucción de seguridad en el peligro de electrocución

RIESGO	POSIBLE ACONTECIMIENTO	PREVENCIÓN
Operación del generador cuando se encuentra abierta total o parcialmente su caja contenedora.	Intentar prender el equipo cuando su caja contenedora no está debidamente ajustada, puede exponer fácilmente a los	Revisar que la caja contenedora del generador se encuentre ajustado con 2 pernos, antes de poner en funcionamiento el

	componentes eléctricos y resultar en electrocución.	equipo.
Conectar un mayor valor de voltaje o amperaje al establecido en las características.	Exceder la capacidad de tensión o intensidad de corriente en el equipo de ozono, pueden causar sobrecalentamientos de los elementos internos y dañarlos.	Revisar la tabla de características del generador

**Fuente:** Investigador

## Peligro de inhalación

**Tabla 25.** Instrucción de seguridad en el peligro de inhalación

RIESGO	POSIBLE ACONTECIMIENTO	PREVENCIÓN
La concentración de ozono del generador aumenta gradualmente con el tiempo	El exceso de ozono en el aire puede producir efectos adversos de consideración en la salud humana. Puede causar problemas respiratorios, provocar asma, reducir la función pulmonar y originar enfermedades pulmonares.	<p>Seleccionar ciclos de tiempo bajos (5-15 minutos) para su funcionamiento.</p> <p>Si se utiliza el generador de ozono en su tiempo máximo de funcionamiento que es de 25 minutos, apagarlo y esperar entre 1-2 horas para luego volver a encenderlo.</p>

**Fuente:** Investigador

## Peligro de superficies calientes

**Tabla 26.** Instrucción de seguridad en el peligro de superficies calientes del generador

RIESGO	POSIBLE ACONTECIMIENTO	PREVENCIÓN
Mantenimiento de elementos internos del generador después de su funcionamiento.	El uso continuo del equipo puede aumentar la temperatura de los elementos, provocando daños leves en manos al realizar mantenimiento.	Apagar el generador de ozono, a través de su interruptor, cuando no se lo está utilizando.

**Fuente:** Investigador

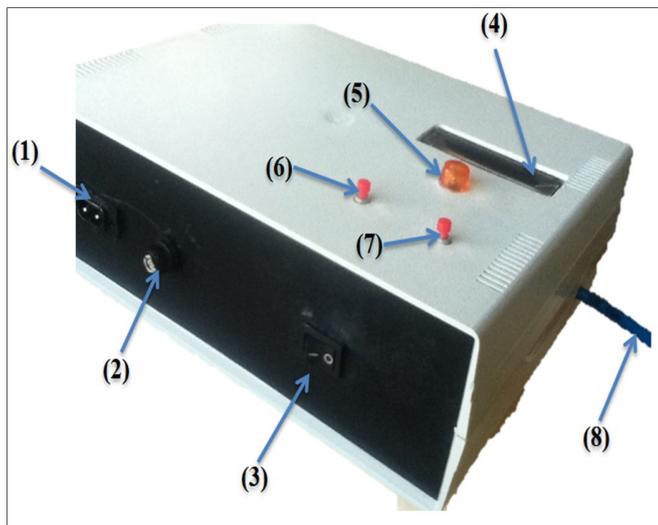
## Peligro de operación insegura

**Tabla 27.** Instrucción de seguridad en el peligro de operación insegura del generador

RIESGO	POSIBLE ACONTECIMIENTO	PREVENCIÓN
Generador en funcionamiento cuando el ambiente no presenta mal olor.	El generador no funcionará en forma adecuada, haciendo imposible la necesidad por la cual fue construido que es la de purificación del ambiente.	Encender el generador solo cuando se perciba la presencia de malos olores.

**Fuente:** Investigador

## Componentes externos – Generador de ozono automatizado



- (1) Conector 120 V AC
- (2) Fusible 5A
- (3) Interruptor ON/OFF
- (4) Visualizador LCD
- (5) Led indicador de encendido
- (6) Pulsador “Inicio”
- (7) Pulsador “Selección de tiempo”
- (8) Salida de ozono

**Figura 166.** Partes del generador de ozono automatizado

**Fuente:** Investigador

## INSTRUCCIONES DE USO

- A. Conectar un cable de alimentación eléctrica 120 V AC al componente 1 de la figura 166.
- B. Revisar si el fusible se encuentra en buen estado (2) caso contrario reemplazarlo.
- C. Encender el interruptor (3), inmediatamente se prende (4) y (5) con un mensaje donde los minutos y segundos son iguales a cero.
- D. Seleccionar un tiempo (7) entre 5 y 15 minutos y luego pulsar inicio (6).
- E. Mientras la LCD (4) presenta el temporizador en descenso, el ozono puede ser percibido (8).
- F. Apagar el interruptor (3) una vez haya concluido el proceso de generación de ozono (8).
- G. Repetir las instrucciones de uso cuando se desee purificar el ambiente.

## INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO

### Externamente

- I. Examinar toda la parte externa del generador para verificar que la caja contenedora esté debidamente ajustado y no produzca incidentes al momento de funcionar.
- II. Revisar el estado del fusible (2).
- III. Eliminar cualquier obstrucción en la manguera de la salida de ozono (8).
- IV. Limpiar el polvo que se acumule en toda la caja contenedora con un pedazo de tela.

### Internamente

- V. Retirar los pernos de la caja contenedora, solo cuando el generador haya estado apagado durante más de 2 horas, y limpiar cuidadosamente el polvo del circuito de control, celda generadora de ozono y adaptador 120 V AC / 12 V DC con un paño o pedazo de tela sin remover las conexiones de cada uno de los elementos internos.
- VI. Verificar que las mangueras del gas alimentación y de la celda generadora de ozono se encuentren correctamente acopladas.
- VII. Revisar que el devanado secundario del transformador de alto voltaje (cable rojo y blanco) esté conectado apropiadamente a los electrodos de la celda generadora de ozono.
- VIII. Cerrar la caja contenedora con los mismos pernos iniciales.

## GUÍA PARA EVALUACIÓN DE PROBLEMAS

Cuando un equipo no funciona como es debido, es porque puede presentar problemas internos o externos, por lo que se recomienda revisar la guía de la tabla 28.

**Tabla 28.** Evaluación y posible solución ante problemas que se presenten en el generador

PROBLEMA	CAUSA	CORRECCIÓN
No prende el generador de ozono	a) Cable eléctrico de alimentación 120 V AC flojo. b) Fusible abierto c) Cable del interruptor o conector eléctrico internamente desconectado. d) Circuito de control no recibe 12 V DC.	a) Conseguir un nuevo cable que se ajuste al conector. b) Reemplazar fusible. c) Abrir la caja contenedora y volver a soldar los cables en caso de ser necesario. d) Reemplazar el adaptador 120 V AC / 12 V DC.

No genera ozono	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Cables del gas de alimentación y transformador desconectados.</li> <li>b) Fugas de aire en la celda generadora de ozono.</li> <li>c) El devanado secundario del transformador elevador no está conectado a los electrodos de la celda.</li> <li>d) Choque eléctrico en las mallas de aluminio al interior de la celda.</li> <li>e) Cables del circuito de control correspondiente a los 120 V AC desconectados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Volver a conectar los cables del gas de alimentación y del transformador cuidadosamente.</li> <li>b) Verificar el origen de la fuga y sellar con silicona o cualquier otro elemento no conductor de electricidad.</li> <li>c) Conectar el terminal positivo del transformador al electrodo interno y el terminal negativo al electrodo externo.</li> <li>d) Abrir la celda generadora de ozono y cortar el aluminio sobrante.</li> <li>e) Ajustar los 2 cables internos de la fuente de alimentación (120 V AC) a la bornera 1 del circuito de control.</li> </ul>
Recalentamiento del generador de ozono	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Funcionamiento del equipo solo en tiempo de 25 minutos.</li> <li>b) Uso continuo.</li> <li>c) Encendido permanente del generador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Usar el equipo en un tiempo de 5-15 minutos.</li> <li>b) Utilizar el equipo solo cuando se perciba mal olor en el ambiente.</li> <li>c) Apagar el equipo desde su interruptor, una vez concluido el proceso de generación de ozono.</li> </ul>

**Fuente:** Investigador