

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**

**Escuela de Ingeniería en Electrónica**



**“Sistema prototipo para el acondicionamiento de tubos de gas para descarga”**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en  
Electrónica con el grado académico de Licenciatura**

**José Pablo Venegas Venegas**

**Cartago, Febrero de 2009**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**TRIBUNAL EVALUADOR**

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

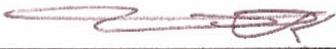
Miembros del Tribunal



---

Ing. Gabriela Ortiz León

Profesor lector



---

Ing. Miguel Hernández Rivera.

Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, Febrero 2009

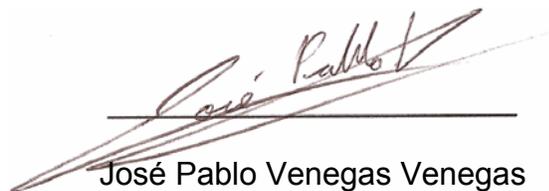
## **Declaratoria de Autenticidad**

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, Febrero 2009



Handwritten signature of José Pablo Venegas Venegas in red ink, written over a horizontal line.

José Pablo Venegas Venegas

Céd: 1-1154-0342

## Resumen

La empresa Trimpot Electrónicas Ltda. es una empresa dedicada a la elaboración de componentes electrónicos, entre los que se pueden mencionar: potenciómetros, redes de resistencias y tubos de gas para descarga (GDT), estos últimos son dispositivos de protección (supresores de impulsos de tensión).

En la fabricación de los tubos de gas existe un proceso llamado acondicionado (Conditioning), este se encarga de exponer estos dispositivos a una tensión mayor que su voltaje de ruptura o disparo, con esto se pone en funcionamiento el GDT por primera vez.

El acondicionado tiene como función principal estabilizar las características eléctricas de cada uno de los tubos, algunas de estas son el voltaje de disparo y la resistencia de aislamiento.

Este proceso lleva 8 años de realizarse de la misma forma, sin embargo posee los siguientes inconvenientes: un mantenimiento costoso debido a los componentes que lo conforman, un limitado margen de funcionamiento a razón del voltaje máximo que este puede alcanzar y por último, el área física que ocupa todo el equipo, tanto es así que la maquinaria que realiza el acondicionado está separada de los componentes de potencia, estos se encuentran en una segunda planta del edificio.

Por estos inconvenientes la empresa deseaba innovar este proceso con un sistema que fuera más versátil, pequeño y que económicamente proporcionará mayor rentabilidad.

En este proyecto se implementó un nuevo sistema de acondicionado en donde se sustituyeron los grandes componentes del sistema actual, como son los transformadores, por dispositivos de menor tamaño. Se llega a innovar, utilizando una bobina de automóvil que genera un impulso de tensión que acciona al GDT, para luego hacer fluir una corriente que lo mantenga activo por un determinado lapso.

**Palabras clave:** Bourns, Gas Discharge Tube, Supresor de tensión, Bobina de automóvil.

## **Abstract**

Trimpot Electronicas Ltda. specializes in electronic components design and manufacturing, for example potentiometers, resistor networks and gas discharge tubes (GDT); these last ones are protection devices (transient voltage suppressors).

In the manufacturing of the gas discharge tubes, there is a process that subjects these devices to a greater tension than its breakdown voltage. This process is called conditioning, in which the GDT is activated for the first time.

The conditioning's main function is to stabilize each tube's electrical characteristics, some of which are: the breakdown voltage and the insulation resistance.

This process remains unaltered for the past 8 years; nevertheless, it presents the following inconvenients: high maintenance due to the high price of the needed components; limited functioning range according to the maximum achievable voltage; and huge need for space because the power components that carry out the conditioning are extremely large and heavy. This equipment requires to be installed in a separate area of the building.

Due to the mentioned inconvenients, the manufacturing company sought to innovate the process with a small, cheap and versatile system, to provide higher investment returns.

For this project, a new design system was implemented, and it allowed the large components of the existing system (like the transformers) to be substituted by smaller devices. The innovation lies in a tension impulse generated by using a car's coil, which activates the GDT and allows current to flow, which keeps it active for a certain time or pre set time period.

**Keywords:** Bourns, Gas Discharge Tube, Voltage suppressor, Car's coil.

## **Dedicatoria**

*A mis padres por ser los pilares inquebrantables de mi formación, por su inmensurable paciencia para inculcarme los valores y buenos principios que me han llevado a alcanzar todo lo que he conseguido hasta el día de hoy.*

## **Agradecimiento**

*Un agradecimiento especial a mi familia por todo el apoyo brindado en todos estos años de estudio, siempre dándome la fortaleza necesaria para seguir adelante.*

*Además agradecer a la empresa Trimpot Electrónicas Ltda., por la oportunidad que me brindó y en especial al Ing. David Vargas y al Ing. Rodolfo Cárdenas por los aportes en este proyecto.*

## Índice

<b>Capítulo 1</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
1.1	Panorama general del proyecto	1
1.1.1	Información de Trimpot Electrónicas Ltda.	1
1.1.2	Información del GDT	2
1.1.3	Proceso de fabricación del GDT en la empresa.	8
1.1.4	Sistema de acondicionado actual.	12
1.2	Problema existente.	17
1.3	Solución seleccionada.	18
<b>Capítulo 2</b>	<b>Meta y objetivos</b>	<b>21</b>
2.1	Meta	21
2.2	Objetivo general	21
2.3	Objetivos específicos	21
<b>Capítulo 3</b>	<b>Descripción del prototipo para el acondicionado de GDT. ....</b>	<b>23</b>
3.1	Análisis de soluciones para el generador de impulsos de tensión.	23
3.1.1	Método utilizando un multiplicador de tensión.	24
3.1.2	Método que corta la corriente a través de una bobina.	26
3.1.3	Método utilizando un convertidor CD-CD.	27
3.2	Descripción del hardware	29
3.2.1	Módulo de control de tensión A.C.	29
3.2.2	Módulo generador de impulsos de tensión.	31
3.2.3	Módulo de potencia	35
3.2.4	Módulo de control	41
3.2.5	Seguridad en el uso del prototipo.	50
3.3	Descripción del software	53
<b>Capítulo 4</b>	<b>Análisis de resultados</b>	<b>59</b>
4.1	Resultados	59
4.2	Análisis	72
<b>Capítulo 5</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>77</b>
5.1	Conclusiones	77
5.2	Recomendaciones	78
	<b>Bibliografía</b>	<b>79</b>
	<b>Apéndices</b>	<b>81</b>
A.1	Glosario, abreviaturas y simbología.	81

<b>Anexos.....</b>	<b>83</b>
Anexo 1: Hoja de datos del microcontrolador.....	83
Anexo 2: Hoja de datos de la bobina.....	85
Anexo 3: Hoja de datos del convertidor CD-CD.....	86
Anexo 4: Hoja de datos de las resistencias.....	87
Anexo 5: Relés de mercurio.....	88
Anexo 6: Hoja de datos del transistor MOSFET.....	89

## Índice de figuras

Figura 1-1: Ilustración de las partes del GDT. [4] .....	3
Figura 1-2: Curva característica de la corriente en función de la tensión. [13].....	4
Figura 1-3: Comportamiento del GDT ante una transiente. [4] .....	5
Figura 1-4: Comportamiento del GDT luego de activarse. [3] .....	6
Figura 1-5: Circuito de protección en serie. [4] .....	7
Figura 1-6: Circuito de protección en paralelo. [4].....	8
Figura 1-7: Diagrama de bloques del proceso de fabricación. ....	8
Figura 1-8: Diagrama de bloques del proceso de fabricación. ....	9
Figura 1-9: Diagrama de bloques del proceso de terminado.....	11
Figura 1-10: Circuito del sistema de acondicionamiento actual. ....	16
Figura 1-11: Diagrama general de bloques de la solución.....	19
Figura 3-1: Diagrama de bloques de la solución implementada. ....	23
Figura 3-2: Circuito multiplicador de voltaje.....	24
Figura 3-3: Circuito generador de impulsos por medio de una bobina. ....	26
Figura 3-4: Circuito de un convertidor CD-CD. ....	28
Figura 3-5: Diagrama de bloques del circuito de control de tensión A.C.....	29
Figura 3-6: Circuito eléctrico del control de tensión A.C. ....	30
Figura 3-7: Señales generadas por del circuito de control de tensión A.C. ....	31
Figura 3-8: Diagrama de bloques del generador de impulsos de tensión. ....	32
Figura 3-9: Circuito generador de impulsos de voltaje. ....	33
Figura 3-10: Señales de control con sus respectivos impulsos de tensión.....	34
Figura 3-11: Diagrama de bloques del circuito de potencia.....	35
Figura 3-12: Circuito de potencia para un GDT de 2 elementos.....	37
Figura 3-13: Circuito de potencia para un GDT de 3 elementos.....	39
Figura 3-14: Señal de tensión en la base del GDT. ....	40
Figura 3-15: Diagrama de bloques del circuito de control.....	41
Figura 3-16: Señal de disparo ubicada en un ángulo 30°. ....	43
Figura 3-17: Señal de disparo ubicada en un ángulo 60°. ....	43
Figura 3-18: Señal de disparo ubicada en un ángulo 90°. ....	43
Figura 3-19: Señal de disparo con un ancho de pulso de 80 $\mu$ s.....	44
Figura 3-20: Señal de disparo con un ancho de pulso de 250 $\mu$ s.....	44
Figura 3-21: Señal de disparo con un ancho de pulso de 900 $\mu$ s.....	45
Figura 3-22: Tensión en la resistencia de acondicionado para la secuencia de 1s-3s-1s. ....	46
Figura 3-23: Tensión en la resistencia de acondicionado para la secuencia de 15s. ....	46
Figura 3-24: Señales generadas por el circuito de control.....	47
Figura 3-25: Circuito de control del sistema implementado.....	48
Figura 3-26: Diagrama de flujo del menú general del microcontrolador .....	53
Figura 3-27: Diagrama de flujo de la configuración analógica. ....	54
Figura 3-28: Diagrama de flujo de la configuración digital .....	56
Figura 3-29: Diagrama de flujo del proceso de acondicionado. ....	57
Figura 4-1: Análisis estadístico de la prueba de control.....	62
Figura 4-2: Análisis estadístico de la prueba con 120 V (1s, 1s, 1s).....	63

Figura 4-3: Análisis estadístico de la prueba con 120 V (1s, 3s, 1s).....	64
Figura 4-4. Análisis estadístico de la prueba con 240 V (1s, 1s, 1s).....	65
Figura 4-5: Análisis estadístico de la prueba con 240 V (1s, 3s, 1s).....	66
Figura 4-6: Análisis estadístico de la prueba con 480 V (1s, 1s, 1s).....	67
Figura 4-7: Análisis estadístico de la prueba con 480 V (1s, 3s, 1s).....	68
Figura 4-8: Análisis estadístico de la prueba con 480 V (2s, 3s, 2s).....	69
Figura 4-9: Señal de voltaje de un GDT 2038 acondicionando a 1 A. ....	69
Figura 4-10: Señal de voltaje en la resistencia acondicionando a 1 A.....	70

## Índice de tablas

Tabla 1-1: Dimensiones físicas de las cerámicas.....	2
Tabla 1-2: Tabla de características físicas y de acondicionamiento de los GDT que se produce en la empresa. ....	14
Tabla 3-1: Tabla comparativa de los métodos de generación de impulsos de tensión.....	25
Tabla 4-1: Tabla de datos de las pruebas de lote sobre la muestra de control...	60
Tabla 4-2: Tabla de voltajes medidos en diferentes puntos del circuito de potencia. ....	70
Tabla 4-3: Tabla comparativa de resultados de las pruebas.....	72

## **Capítulo 1 Introducción**

En la actualidad, las empresas dedican gran parte de sus recursos a la investigación de procesos que sean cada vez más rentables y eficientes, para poder enfrentar el mercado mundial con mejores armas, que le permitan entrar en la competencia y seguir creciendo, Trimpot Electrónicas no es la excepción.

De esta forma de pensar es donde surge la idea de crear un sistema para el acondicionamiento de tubos de gas para descarga, que posea las siguientes características: versátil, compacto y económico.

En este capítulo se comentará el ambiente en que se desarrolló este proyecto, se iniciará con una reseña de la empresa, además se explicará el proceso de fabricación, y por último se definirá el problema existente y la solución planteada.

### **1.1 Panorama general del proyecto**

#### **1.1.1 Información de Trimpot Electrónicas Ltda.**

La empresa Trimpot Electrónicas Ltda. es una empresa transnacional dedicada a la elaboración de componentes electrónicos para la industria, algunos de los productos que se fabrican son: potenciómetros, diodos supresores de transientes de voltaje, tiristores, diodos, transistores, tubos de gas para descarga (Gas Discharge Tube), entre otros.

La empresa tiene 35 años de establecida en Costa Rica, la planta de producción se encuentra ubicada en La Asunción de Belén, Heredia. En la actualidad cuenta con 1000 empleados aproximadamente.

En el país, la empresa se dedica a la elaboración de potenciómetros, redes de resistencias y tubos de gas para descarga. En la fabricación de los tubos de gas se encuentra el proceso de acondicionamiento, este se explica en la sección 1.1.4 (pág. 12), ya que en este proceso se ubica el problema a resolver.

### 1.1.2 Información del GDT.

A continuación, se explica algunos detalles acerca del GDT, como son: su estructura, su funcionamiento y su uso en la industria.

Enfocándose en su estructura, el GDT está formado por un tubo de cerámica de alúmina, en cada uno de sus extremos se coloca un electrodo para sellarlo y en su interior se atrapa un gas inerte, que puede ser argón, neón o una combinación de ambos.

Con respecto a la cerámica, se pueden encontrar con las siguientes medidas:

**Tabla 1-1:** Dimensiones físicas de las cerámicas.

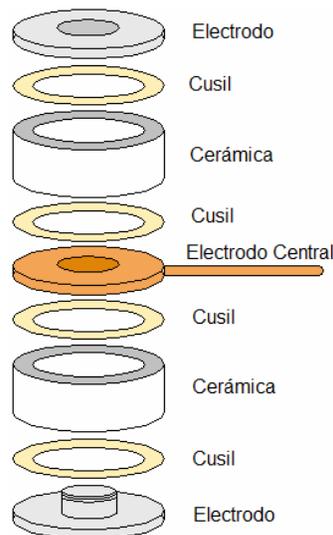
Tipo de Cerámica	Diámetro (mm)	Altura (mm)
A	5	2.5
B	5	3.5
C	8	4.5
D	8	8
E	13	11

Los electrodos son fabricados de aleaciones metálicas, estos poseen básicamente dos formas: la circular y la cuadrada, su forma dependerá de la aplicación que se le dé, además, cada electrodo posee un recubrimiento metálico de activación (Coating).

En la construcción del GDT se utilizan unas arandelas de estaño (Cusil), estas son colocadas entre la cerámica y los electrodos como se puede ver en la figura 1-1 (pág. 3). La función principal de esta arandela es unir la cerámica al electrodo, esto se logra fundiendo este componente al exponerse a altas temperaturas.

El funcionamiento de un GDT se puede explicar con la aparición de una transiente que exceda los valores máximos de protección del tubo o voltaje de ruptura de corriente directa (DCBD voltage, Direct Current Breakdown Voltage). En la empresa, se producen tubos que tienen un rango de voltajes de ruptura que van desde los 75 V a los 1100 V.

El GDT tiene como principal componente el gas atrapado en su interior, es con la ayuda de éste que un GDT es un dispositivo útil, esto a razón del principio físico que acompaña a los gases, como es la ionización.



**Figura 1-1:** Ilustración de las partes del GDT. [4]

Al aplicar entre los electrodos del dispositivo una tensión menor a su voltaje de ruptura, la corriente que circula a través del gas es de 100 nA, esta corriente es independiente aún si se aumentara la diferencia de potencial entre los electrodos sin alcanzar la tensión de disparo, esto se debe a un estado de saturación en el que entra el gas.

Si se aumentara aún más la diferencia de potencial entre los electrodos superando así el voltaje de ruptura del GDT, se producirá un incremento brusco en la corriente. En otras palabras, lo que ocurre dentro del tubo se conoce con el nombre de fenómeno de descarga o ruptura eléctrica del gas. Este fenómeno se puede describir como el paso de un comportamiento no conductor a uno conductor.

Este fenómeno va a depender de características de fabricación como son:

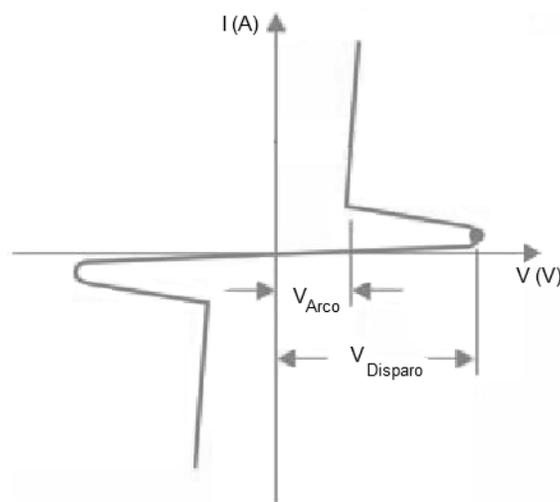
- Concentración, composición y presión del gas atrapado.
- Geometría y composición de los electrodos.
- Tensión y corriente que se aplique al dispositivo.

Para que el gas pase al estado de conducción, se debe generar la presencia de partículas cargadas entre los electrodos, a su vez el movimiento de estas implicaría el paso de una corriente.

La forma más característica de producir este efecto es logrando el impacto de electrones acelerados con la ayuda de un campo eléctrico contra los átomos y moléculas que conforman el gas.

Este choque de partículas producirán la ionización del gas, o en el peor de los casos se obtendrá un electrón y un ión positivo, los cuales gracias al campo eléctrico presente serán arrastrados, lo que podría verse como una corriente eléctrica, todo este proceso resultaría como consecuencia de colocar una tensión lo suficientemente alta entre los electrodos.

Se observa en la gráfica de corriente en función de la tensión, el comportamiento de este tipo de dispositivo, si en sus extremos se coloca una fuente constante de voltaje, la corriente a través de él se incrementará hasta que el dispositivo llegue a fundirse. Observar la figura 1-2.



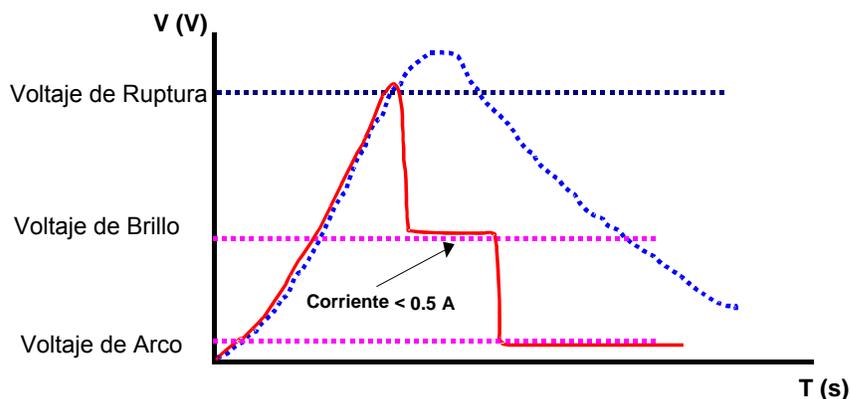
**Figura 1-2:** Curva característica de la corriente en función de la tensión. [13]

Debido al comportamiento de este dispositivo, en el proceso de acondicionado se necesita colocar una resistencia en serie, esta será la encargada de limitar la corriente. Estos dispositivos son creados para soportar corrientes que superan los 10000 A, pero en lapsos menores a los 20  $\mu$ s.

Con el incremento de la corriente que fluye a través del gas se generan zonas que emiten luz mientras que otras se mantienen oscuras, a este tipo de descargas se les conoce como luminiscentes (Glow), el color de estas emisiones de luz dependerá del tipo de gas.

La presencia de las emisiones de luz puede justificarse debido a la desexcitación de los átomos y moléculas del gas, que fueron excitados debido al choque con los electrones que se aplicaron.

La ionización del gas produce en el GDT un cortocircuito virtual, esta acción sucede en fracciones de microsegundo y se le conoce como: modo de arco (Arc Mode), de esta manera el GDT se convierte en un cortocircuito en la línea a la que está conectado, produciendo que toda la corriente pase a través de él sin dañar el equipo conectado a esta. Para observar el comportamiento del GDT referirse a la figura 1-3.



**Figura 1-3:** Comportamiento del GDT ante una transiente. [4]

Antes que el GDT sufra un impulso de tensión, este posee una impedancia de aislamiento de aproximadamente  $10^9 \Omega$  a un voltaje de 200 V.

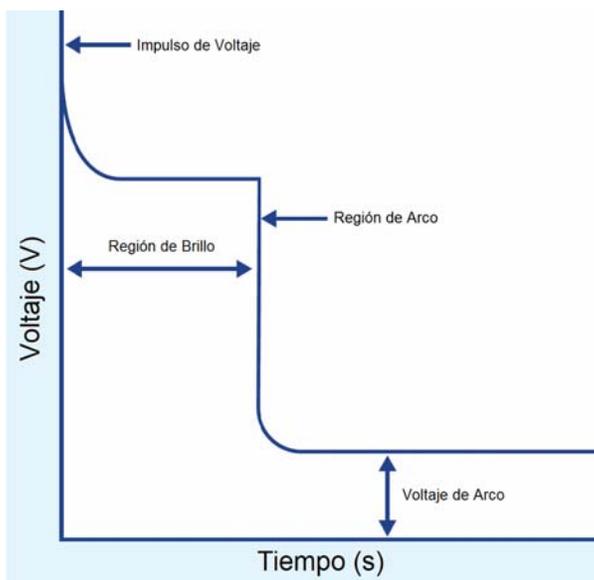
Con la aparición de una transiente en la línea conectada a los extremos del GDT, y antes de que este alcance el modo de arco, primero se observa un estado llamado: modo de brillo (Glow Mode), en este estado el gas atrapado empieza a ionizarse debido al paso de partículas cargadas de un electrodo a otro.

En el modo de brillo por estar parcialmente ionizado el gas, la corriente a través del GDT es menor a 0.5 A, en el momento en que se supera esta corriente el dispositivo entra al modo de arco, en donde el voltaje entre los electrodos es de 10 V, en el modo de brillo esta tensión es de 70 V.

El modo de brillo es un efecto indeseado en este tipo de dispositivo, ya que incrementa el tiempo de conmutación de un estado a otro, por esto el departamento de fabricación trabaja en disminuirlo.

El tiempo de transición entre la región de brillo y la de arco va a depender de la composición y presión del gas, de la distancia y la forma de los electrodos, la corriente disponible en el impulso y las propiedades del recubrimiento metálico de activación. Para analizar la transición de un estado a otro, se puede observar la figura 1-4.

La ionización y de-ionización se realiza en menos de 1  $\mu$ s, debido al tipo de gas y a la configuración física usada en la manufactura del GDT.



**Figura 1-4:** Comportamiento del GDT luego de activarse. [3]

El GDT pasará de nuevo a su estado de alta impedancia cuando la energía que lo mantiene en el estado de arco se disipe, el voltaje mínimo para mantener el tubo de gas en el modo de arco, se le llama voltaje de retención (Holdover Voltage).

El voltaje de ruptura puede variar según el modelo de GDT que se fabrique, este voltaje va a depender de la configuración física del dispositivo, por ejemplo, factores como son el radio y la longitud de la cerámica, si posee dos o tres electrodos, los porcentajes y la presión del gas atrapado, el tamaño y la orientación de las líneas de grafito, la forma y la distancia de los electrodos, la cantidad y la composición del recubrimiento metálico de activación, todas estas variantes producen voltajes de ruptura diferentes.

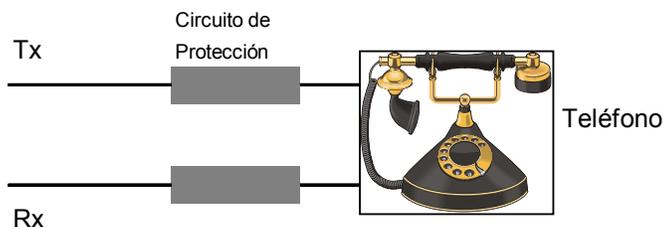
Continuando con el uso que se le da al GDT, se debe mencionar que la principal aplicación es la protección de equipos electrónicos, evitando que el nivel de voltaje exceda los valores máximos permitidos, estos incrementos en la tensión pueden ser causados por interruptores, cortocircuitos, inducciones o descargas directas causadas por rayos.

La efectividad y la calidad de estos dispositivos van ligadas a la velocidad de respuesta, capacidad de manejar corriente y la velocidad de recuperación después de un evento de descarga.

Las aplicaciones típicas de los GDT son circuitos electrónicos de telecomunicaciones tales como redes telefónicas, antenas, computadoras, controles industriales, semáforos y sistemas de protección en aviones.

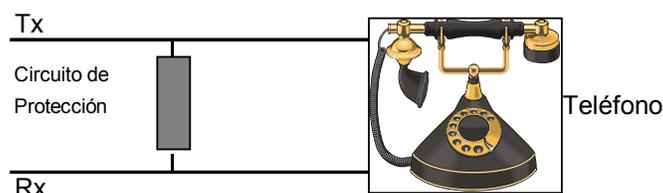
Los sistemas de protección para las aplicaciones anteriormente mencionadas se pueden colocar de dos formas básicamente:

- Protección en serie o de limitación de corriente (Surge Protector): la protección se pone en serie en la línea, si un evento o descarga de corriente ocurre, el dispositivo se abre tal como lo hace un fusible limitando la corriente que fluye por la carga (Ver figura 1-5).



**Figura 1-5:** Circuito de protección en serie. [4]

- Protección en paralelo o de limitación de voltaje (GDT): si se da un impulso de voltaje, el circuito de protección se cortocircuita incrementando la corriente en paralelo al circuito de carga, disipando la energía y disminuyendo el voltaje a niveles que no le causen daño al sistema (Ver figura 1-6).

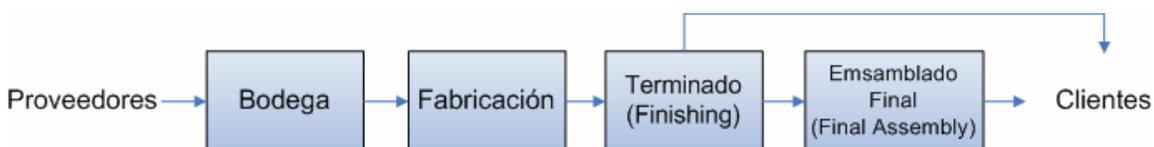


**Figura 1-6:** Circuito de protección en paralelo. [4]

### 1.1.3 Proceso de fabricación del GDT en la empresa.

En este apartado, se explica de manera general el proceso de fabricación del GDT, desde su materia prima hasta el empaque del producto terminado, primero se expondrá la distribución de la planta en secciones, para luego explicar los sub-procesos que se llevan a cabo en cada una de esas áreas.

Dentro del proceso de fabricación de los tubos de gas para descarga, la empresa se puede seccionar en cuatro grandes áreas para facilitar su análisis, estas se pueden apreciar en la figura 1-7.

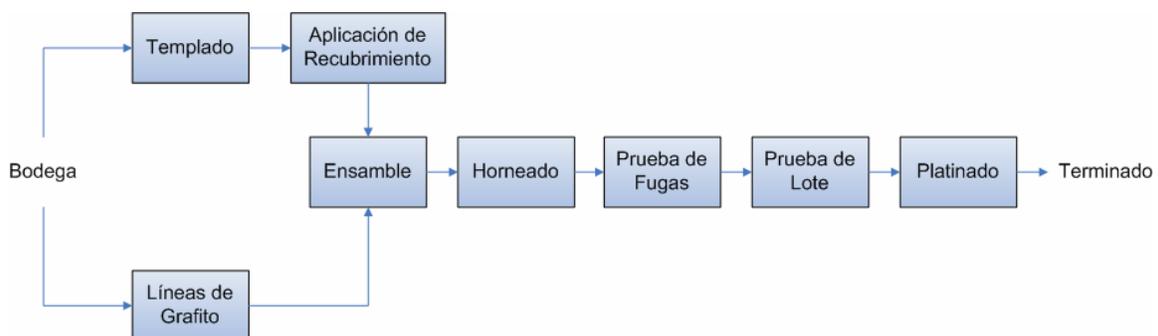


**Figura 1-7:** Diagrama de bloques del proceso de fabricación.

Estas áreas son las siguientes:

- Bodega: Área donde se almacena la materia prima necesaria para la elaboración de los tubos de gas para descarga, aquí se encuentran: los electrodos, la cerámica, los químicos para la elaboración del recubrimiento metálico, los materiales para el platinado, el alambre para los pines, etc.
- Fabricación: Área encargada de realizar las siguientes tareas: preparar la materia prima para comenzar el proceso, ensamblar los dispositivos, introducirles el gas, verificar que no hayan fugas, comprobar su funcionamiento y platar los electrodos.
- Terminado: Área donde se acondicionan los GDT, se imprime el modelo del tubo en la cerámica, se colocan los pines, se da forma a los pines, se coloca el dispositivo de seguridad mecánico, se prueban y se empacan.
- Ensamblado final: En esta área se encargan de tomar el GDT ya terminado para elaborar dispositivos de protección con una finalidad específica según el cliente, estos protectores son ensamblados y empacados de manera manual, por ser un producto de más detalle.

Para analizar el proceso de fabricación de una manera más detallada, se puede observar la figura 1-8.



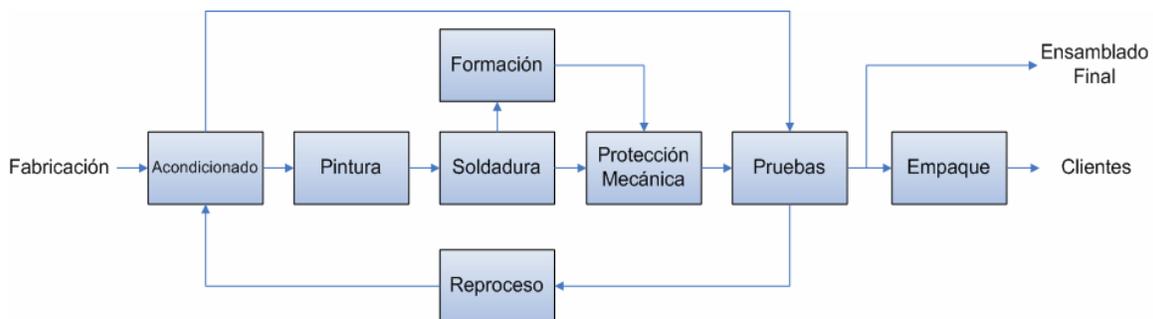
**Figura 1-8:** Diagrama de bloques del proceso de fabricación.

El proceso de fabricación tiene los sub-procesos siguientes:

- **Líneas de Grafito:** En esta área se toma la cerámica que conforma al GDT, esta tiene forma cilíndrica con radios y longitudes que pueden variar según el modelo del dispositivo, y se le colocan líneas de grafito en su interior que sirven como guía a los electrones cuando el gas está ionizado.
- **Templado (Annealing):** Es el proceso encargado de preparar los electrodos, en donde son limpiados con un proceso químico y además, son sometidos a altas temperaturas con el fin de eliminar cualquier tipo de impureza.
- **Aplicación del Recubrimiento (Coating):** El recubrimiento es una sustancia viscosa elaborada de varios metales y químicos, la cual se aplica a los electrodos para darle estabilidad al GDT, esta estabilidad se refleja en los valores como son el voltaje de ruptura, el voltaje de brillo y el voltaje de arco.
- **Ensamble:** Es aquí donde por primera vez, todas las partes que conforman un GDT están juntas, el dispositivo completo se introduce en unas plantillas de carbón para que se mantenga unido, se utiliza este material debido a que acompañará a los tubos de gas dentro del horno.
- **Horneado:** Este proceso es uno de los más delicados en lo que a fabricación se refiere, debido a que dentro de los hornos se realiza la incorporación del gas al GDT y además, se unen todos los componentes, obteniendo un dispositivo que podría ser funcional.
- **Prueba de Fugas (Leak Test):** Es una comprobación de que el GDT no posee fugas, ya que de existir estas, hay que sacar al dispositivo de la línea de producción.
- **Prueba de Lote (Batch Test):** Se realizan pruebas a una muestra de tubos, con el fin de verificar que los valores del voltaje de ruptura y la resistencia de aislamiento, tengan una orientación adecuada hacia los valores finales a los cuales se quiere llegar.

- **Platinado:** Es un proceso completamente químico con el cual se pretende limpiar los electrodos y además darles un acabado platinado.

Al área de Terminado (Finishing) se le dará un mayor enfoque debido a que todo el proyecto está inmerso en ella, en la figura 1-9, se puede ver el diagrama de bloques general de esta área.



**Figura 1-9:** Diagrama de bloques del proceso de terminado.

- **Acondicionado (Conditioning):** Este proceso es la parte central del proyecto, aquí se realiza la activación del GDT por primera vez, además, este proceso se encarga de ubicar el voltaje de ruptura del dispositivo dentro del rango de tolerancia que garantiza la empresa.  
Un mal acondicionamiento puede producir que el dispositivo se active antes o después del voltaje de ruptura deseado, provocando que este tubo de gas no pueda salir al mercado. Se hablará más a fondo este tema en la sección 1.1.4 (pág. 12).
- **Pintura (Painting):** Esta área se encarga de colocar en la cerámica, la numeración correspondiente según el modelo y el voltaje de ruptura, además la pintura ayuda a que el dispositivo no absorba la humedad del ambiente dándole estabilidad al GDT.
- **Soldadura (Welder):** Aquí se colocan los pines a los modelos que los requieran, estos pueden ser axiales o radiales y son electro-soldados a los electrodos.

- **Formación:** En esta parte del proceso se le da forma a los pines según el modelo de dispositivo, la mayoría de estos tubos se producen para el área de ensamblado final.
- **Protección Mecánica (Fail Safe):** En esta área se coloca un dispositivo de seguridad mecánico al GDT, el cual produce un cortocircuito cuando los niveles de temperatura sobrepasan los permitidos por el tubo de gas, ese exceso en la temperatura es el reflejo de que una corriente muy alta fluye a través de él.
- **Pruebas (Test):** Esta es la última revisión que se le efectúa al GDT en todo el proceso de fabricación, aquí se verifica su voltaje de ruptura y su resistencia al aislamiento.
- **Empaque:** Una parte de los dispositivos son empacados para ser vendidos en el exterior, ya sea Norteamérica, Europa o Asia, y la otra parte del producto se queda en la fábrica para ser utilizados en el ensamblado final.

Por último, el ensamblado final es un área aparte del proceso de fabricación del GDT, sin embargo, se relaciona con la utilización del mismo, aquí se fabrican otros dispositivos de protección más elaborados que son vendidos a un mercado más selecto, esta parte del proceso se omitirá debido a que no tiene relación alguna con el proyecto.

#### **1.1.4 Sistema de acondicionamiento actual.**

Por estar este proyecto inmerso en el acondicionamiento de los tubos de gas, en este apartado se explica en detalle el proceso que actualmente se realiza en la empresa y se analizará el equipo que se utiliza para esta tarea.

La importancia de este proceso en la fabricación del GDT, es que se encarga de ajustar el voltaje de ruptura dentro de un rango de  $\pm 15\%$ . Este porcentaje es el valor de tolerancia del producto que garantiza la empresa. Los tubos de gas no se encuentren dentro de ese rango no pueden venderse.

El acondicionado se encarga de activar por primera vez al GDT. La activación consiste en superar el voltaje de ruptura del dispositivo, de manera que el gas en su interior sea ionizado y se dé paso a un flujo de electrones.

La función principal del paso de la corriente a través del GDT, es el afinamiento de la superficie del recubrimiento metálico que poseen los electrodos, esto da la estabilidad para que el voltaje de ruptura sea una característica eléctrica constante en cada tubo.

Actualmente, en la empresa se aplica dos tipos de acondicionado, estos se pueden clasificar basándose en la corriente que pasa a través del GDT y el tiempo de exposición de cada tubo, a continuación se exponen ambos tipos:

- Una corriente de 5 A ó 1 A por un lapso de 1 s. Este tipo de acondicionado, se utiliza para afinar la superficie del recubrimiento en los electrodos del tubo. Lo que define si se aplica una corriente u otra es el tamaño de la cerámica, para la cerámica tipo A y B se utiliza 1 A, para las tipo B, C y D se aplica 5 A (Ver tabla 1-1, Pág. 2). Esta secuencia se aplica al tubo con el fin de bajar el nivel de voltaje de ruptura.
- Una corriente de 100 mA por un lapso de 15 s. Este otro tipo de acondicionado, eleva la presión del gas dentro del tubo. Esta secuencia se utiliza para aumentar el nivel de voltaje de disparo, sin embargo, no es a todos los modelos que se le aplica esta corriente.

En la tabla 1-2 (pág. 14), se observa todos los tipos de tubos de gas que se producen en la compañía, además, se definen las dimensiones físicas del producto ya terminado, los voltajes de ruptura, la corriente y el tiempo de acondicionado y el voltaje que se aplica para activar el GDT.

Luego de aclarar los detalles del acondicionado, se explicará el funcionamiento del circuito que lleva a cabo este proceso, para iniciar se puede observar la tabla 1-2 (pág. 14), en donde se especifica el voltaje utilizado para accionar cada tipo de GDT, este voltaje puede ser de 600  $V_{RMS}$ , 1100  $V_{RMS}$  o 1500  $V_{RMS}$ .

**Tabla 1-2:** Tabla de características físicas y de acondicionamiento de los GDT que se produce en la empresa.

Modelo	Cantidad de Elementos	Tamaño De la Cerámica (mm)	Voltaje de Ruptura (V)	Corriente (A)	Cantidad de descargas	Tiempo de Descarga (s)	Voltaje de Alimentación (V <sub>RMS</sub> )		
71641	3	8x11	75	5	2	1	600		
71586	2	8x6	90						
2026	3	8x11	120						
2027	2	8x6	150						
71638	2	5x4.1	200						
71638-s	2	5x4.1	75 90 120 150 200	1	2	1			
71644	3	5x7.5							
71644-s	3	5x7.5							
71643	2	5x5							
2035	2	5x4.1							
2036	3	5x7.5							
2037	2	5x5							
71641	3	8x11						230	5 / 0.1
71627	2	8x6	250						
71565	2	8x6	300						
71589	3	8x11	330						
71586	2	8x6	350						
2026	3	8x11	400						
2027	2	8x6	420						
71638	2	5x4.1	470						
71638-s	2	5x4.1	500	1 / 0.1	2 / 1	1 / 15			
71644	3	5x7.5	230						
71644-s	3	5x7.5	250						
71643	2	5x5	300						
71640-s	3	5x9.5	330						
2035	2	5x4.1	350						
2036	3	5x7.5	400						
2037	2	5x5	420						
2038	3	5x9.5	470						
2039	2	5x4.1	500						
71639-s	2	5x4.1	600						
71640-s	3	5x7.5	800 1100				1 / 0.1	2 / 1	1 / 15
2038	3	5x7.5							
2038	3	5x7.5	350	1	2	1	600		

Para alcanzar los voltajes de acondicionamiento se utilizan transformadores secos, ya que la empresa tiene como entrada 480 V<sub>RMS</sub> de la red eléctrica.

Los transformadores secos, son un tipo de transformador cuya característica principal, es que son refrigerados por aire, estos poseen un aislante elaborado con una resina epoxi en sus devanados, que evitan el calentamiento de los mismos.

Algunas ventajas de la utilización de este tipo de transformador son: no requieren de mantenimiento luego de haberse instalado, su menor tamaño y mayor seguridad, si se compara con los refrigerados en aceite.

Estos transformadores secos tienen las siguientes dimensiones: 0.5 m de largo, 0.5 m de ancho x 0.7 m de altura, además su precio puede rondar los 3 millones de colones.

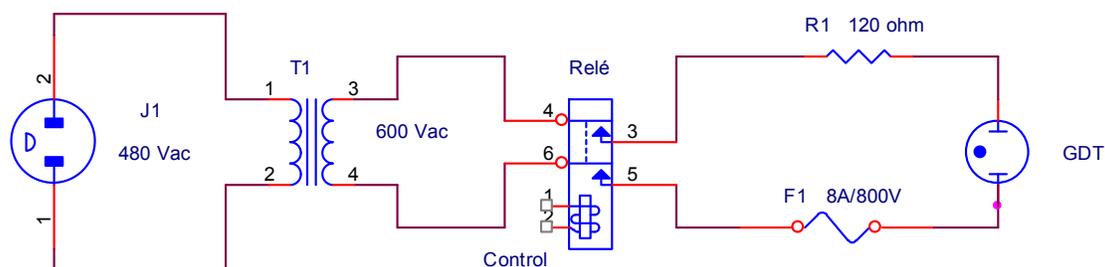
Otro componente de este sistema son las resistencias, estas se encargan de limitar la corriente por el circuito.

Debido a la cantidad de potencia que estas deben disipar, la cual puede ser hasta de 3000 W, su tamaño debe ser considerado al momento de ubicarlas dentro de la fábrica, incluso provocando que estas deban estar en una segunda planta del edificio para ahorrar espacio en el lugar donde se realiza el proceso de acondicionamiento (Ver anexo 4, pág. 87).

Otro detalle de las resistencias es su costo, ya que su valor ronda los 250 mil de colones cada una; su elevado precio se debe a la cantidad de potencia que podrían soportar.

El mantenimiento del sistema actual ronda los 500 dólares mensuales. Dentro de los costos de mantenimiento se debe considerar el pago por la compra y el traslado de componentes que se dañen, su instalación, el tratamiento dado a los elementos de desecho y los costos de calibración. Todo esto provocado por el deterioro relacionado con el uso del sistema.

El circuito de acondicionado actual, se muestra en la figura 1-10, para este ejemplo, se toma un voltaje de 600 V<sub>RMS</sub> y una corriente de 5 A.



**Figura 1-10:** Circuito del sistema de acondicionamiento actual.

El funcionamiento de este circuito se lleva a cabo de la siguiente manera, el transformador se encarga de elevar la tensión, con esta señal en aumento y sin existir una corriente a través del circuito, todo el voltaje en el devanado secundario se ve reflejado en los extremos del tubo de gas, cuando se alcanza el voltaje de ruptura del GDT, la tensión en los extremos de este pasará a ser de 10 V.

Cuando el GDT es accionado, el voltaje en la resistencia será igual a la resta del voltaje en el secundario del transformador menos los 10 V en el tubo de gas, limitando así la corriente a través del circuito, también llamada corriente de acondicionado.

Este proceso se repite tanto para el semiciclo positivo como para el negativo, y por el lapso que se describe en la tabla 1-2 (pág. 14) según el modelo de GDT que se fabrique.

Sin tomar en cuenta el modelo de GDT que se desee acondicionar el funcionamiento del sistema es básicamente igual para todos ellos, en cualquiera de los casos se pueden detectar las desventajas que este posee, y que justifican la ejecución de este proyecto, este tema se discutirá en la sección 1.2 (pág.17).

## **1.2 Problema existente.**

Trimpot Electrónicas Ltda. tiene como objetivo disminuir los costos en el proceso de fabricación y aumentar la productividad de la empresa, por lo cual, fomenta la investigación e implementación de sistemas más efectivos para reemplazar los actuales, por esta razón la compañía está interesada en mejorar el proceso de acondicionamiento de los GDT.

La razón por la que se quiere mejorar el sistema de acondicionamiento, es porque este posee las siguientes desventajas:

- El consumo de energía: Esto se debe a la gran cantidad de potencia que se disipa en las resistencias del sistema a razón del manejo de las tensiones y corrientes utilizadas en este proceso.
- El volumen físico: Este se relaciona con el manejo de la potencia, debido a que a mayor potencia se maneja en un circuito, mayor dimensión física tendrá cada uno de sus componentes. De aquí se justifica el tamaño de los transformadores y el de las resistencias.
- Costo económico: Este sistema tiene la característica de que la mayoría de sus componentes manejan niveles altos de potencia, lo cual trae como consecuencia que todos estos tengan un alto costo.
- Limitado margen de trabajo: A razón del uso de los transformadores secos, el sistema es bastante rígido, por lo que si se desea aumentar el voltaje para acondicionar un tipo GDT, se debe cambiar el transformador.

En síntesis, el sistema actual de activación de los GDT es inadecuado, rígido y costoso, porque no tiene un rango de tensiones de activación y su mantenimiento representa un costo considerable para la empresa.

### **1.3 Solución seleccionada.**

Primero se debe explicar que este proyecto consistió en generar un nuevo sistema de acondicionado, sin olvidar que este es un prototipo y no se implementó dentro del proceso de producción a lo largo del proyecto, es por este motivo que se hablará tanto del funcionamiento del sistema de acondicionado actual como del funcionamiento del sistema implementado.

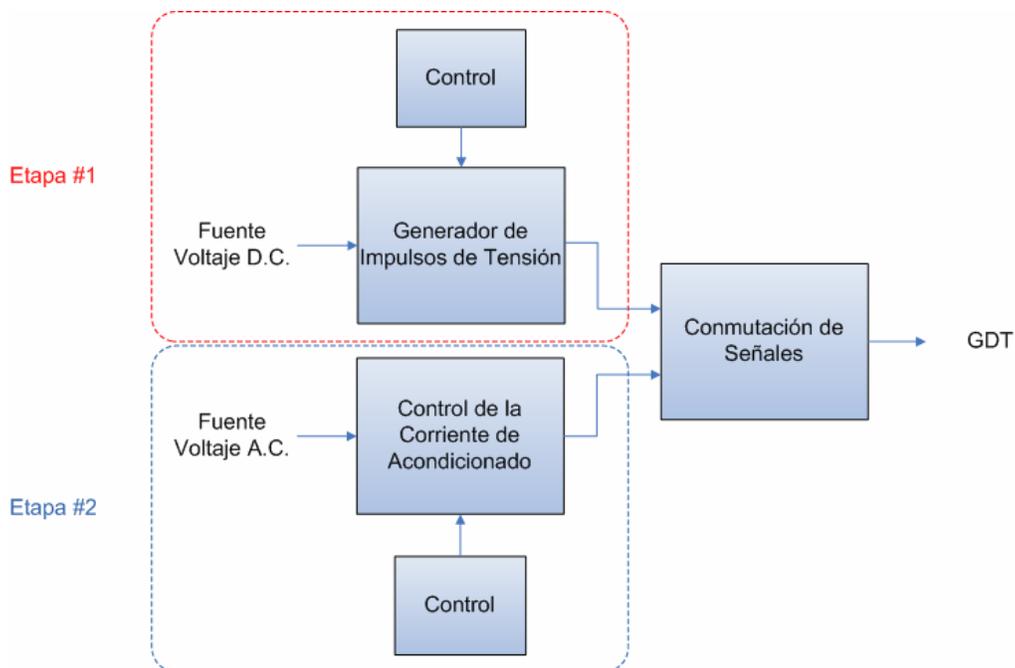
En la búsqueda de una solución para el problema, se tomaron en cuenta algunas demandas hechas por la empresa, estas buscan garantizar que el prototipo elimine los inconvenientes que tiene el sistema actual. Estas demandas son las siguientes:

- El sistema implementado debe reducir el costo de mantenimiento en un 20 % en comparación al sistema actual.
- Tener la capacidad de acondicionar todos los GDT que se producen actualmente y futuros dispositivos que sobrepasen en un 100% el máximo voltaje de ruptura actual, este valor debe alcanzar los  $2200\text{ V} \pm 5\%$ .
- El volumen físico del prototipo debe reducirse en un 40 % con respecto al sistema existente.
- Respetar las corrientes y los tiempos de exposición en el proceso de acondicionado según se aplica en el proceso actual.
- Acondicionar los GDT cumpliendo al 100% con los estándares que debe de seguir la empresa.

Para la solución del proyecto, se analizó una investigación realizada por el departamento de manufactura de la empresa, en donde se menciona, que el proceso de acondicionado del GDT requiere de un alto voltaje que logre ionizar el gas atrapado en el dispositivo, ya por activarse, se debe controlar la corriente que fluye a través de él, basándose en esta investigación se enfoca la solución en dos etapas (Ver figura 1-11, pág. 19):

- La primera etapa, es lograr la activación del GDT aplicándole un impulso de tensión que alcance los  $2200 \pm 5\%$ .
- La segunda etapa, es controlar la corriente que fluye a través del dispositivo cumpliendo con los estándares actuales de la empresa.

Para efectuar la primera etapa se investigó acerca de varios métodos para producir impulsos de tensión que alcancen como mínimo los 2200 V, entre los cuales se analizaron las siguientes opciones: un multiplicador de voltaje, un convertidor CD-CD e interrumpir la corriente a través una bobina.



**Figura 1-11:** Diagrama general de bloques de la solución.

Todos estos métodos pueden llegar a producir los impulsos de tensión, sin embargo, para el caso de este proyecto se eligió el método de la bobina, las razones serán analizadas en la sección 3.1 (pág. 23).

Para este método se investigó sobre dispositivos que interrumpieran la corriente a través de la bobina, la búsqueda se enfocó en la velocidad de conmutación, en la corriente que debería soportar y en el voltaje de reversa máximo.

Debido a la investigación, se implementó el circuito con tres dispositivos diferentes: un transistor BJT de potencia, un transistor IGBT y un transistor MOSFET, con este último se logró el mayor pico de tensión en el impulso.

Para experimentar con este circuito fue necesario la utilización de una punta para osciloscopio de 1000X, debido a que los voltajes de salida en el secundario de la bobina, llegaban a los 26000 V.

Para la segunda etapa se disponía de un rango entre 120 V y 480 V para la tensión de alimentación, según la recomendación del departamento de fabricación de la empresa y los resultados obtenidos en las pruebas, se elige el valor de 480 V, las razones por las que se optó por este voltaje se darán en la sección 4.1 (pág. 59).

Para unir las dos etapas anteriores, se requiere de una sincronización entre estas y el encargado de cumplir con esta función es un microcontrolador, este tiene la tarea producir los impulsos de tensión, controlar los tiempos de exposición, controlar de tensión máxima del impulso y controlar el ángulo de disparo donde se activara el GDT.

Además del circuito de control, se implementó un circuito en donde se debe conmutar entre el impulso de tensión y la fuente que suministra la corriente. En este circuito, se trabajó siempre tomando en cuenta la generación de arcos eléctricos, debido a las tensiones que este maneja.

En síntesis, la solución al problema es renovar el sistema de acondicionamiento de los GDT, el nuevo sistema utiliza un circuito generador de impulsos de voltaje para activar los dispositivos, en lugar de la utilización de transformadores secos que eleven el voltaje.

## **Capítulo 2 Meta y objetivos**

En este capítulo se presentan los objetivos y la meta del proyecto que serán los encargados de guiar el proyecto.

### **2.1 Meta**

- Lograr un decremento del 5% en los costos del proceso de fabricación de los GDT, por medio de la innovación del sistema de acondicionamiento de dicho proceso.

### **2.2 Objetivo general**

- Sintetizar un sistema que permita la activación de los GDT mediante un impulso de alta tensión que alcance los  $2200\text{ V} \pm 5\%$ , cumpliendo con las regulaciones ITU-T (CCITT) K.12, IEEE C62.31, RUS PE-80, Telcordia GR 1361.

### **2.3 Objetivos específicos**

1. Comparar al menos tres diferentes técnicas para generar pulsos de alta tensión que alcance los  $2200\text{ V} \pm 5\%$  V con una duración mínima de  $2\ \mu\text{S}$ .
2. Implementar un circuito que permitan la conmutación entre alta tensión que alcance los  $2200\text{ V} \pm 5\%$  y una baja tensión que este dentro del rango de 120 V a 480 V.

3. Construir un sistema que genere las señales de control para sincronizar el circuito que produce los pulsos de alta tensión con el sistema de conmutación.
  
4. Comprobar que el sistema implementado logre activar los GDT que se fabrican actualmente, estos poseen voltajes de ruptura desde los 75 V a 1100 V cumpliendo con las regulaciones ITU-T (CCITT) K.12, IEEE C62.31, RUS PE-80, Telcordia GR 1361.

### Capítulo 3 Descripción del prototipo para el acondicionado de GDT.

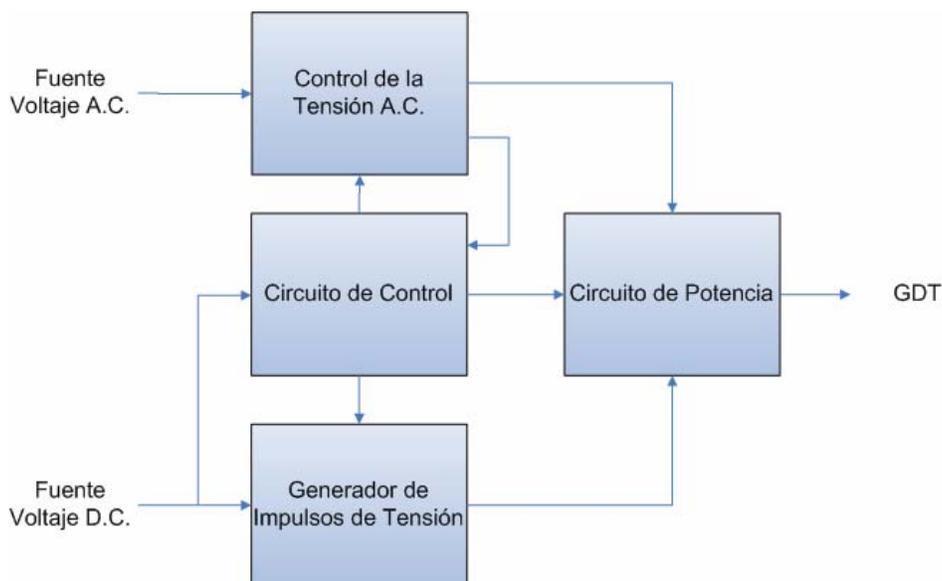
En este capítulo se explica cada una de las partes implementadas en este proyecto y se justificará cada una de las decisiones tomadas en el diseño.

#### 3.1 Análisis de soluciones para el generador de impulsos de tensión.

Por las características de este proyecto, se puede dividir la solución en cuatro módulos, los cuales se pueden apreciar en la figura 3-1.

Se investigó tres maneras diferentes de implementar el módulo que genera los impulsos de tensión. En la investigación realizada se encontraron los siguientes métodos: un circuito multiplicador de voltaje, un circuito que corta la corriente a través de una bobina y el último la utilización de un convertidor CD-CD.

Para elegir cuál de estos métodos era el que mejor se adaptaba a este proyecto, se implementaron los tres sistemas y se realizaron pruebas de laboratorio para analizar su comportamiento.



**Figura 3-1:** Diagrama de bloques de la solución implementada.

### 3.1.1 Método utilizando un multiplicador de tensión.

El circuito multiplicador de tensión consiste en una configuración de diodos y capacitores, los cuales deben ser conectados a una fuente de voltaje A.C, la cual se encargará de cargar los capacitores y mantenerlos en ese estado; el circuito implementado en donde se realizaron las pruebas se muestra en la figura 3-2.

La información de la tabla 3-1(pág. 25) muestra que este circuito está en la capacidad de producir un impulso con una tensión máxima de 3000 V, esta tensión podría elevarse aumentando la cantidad de capacitores y de diodos viéndose afectado el tamaño del circuito.

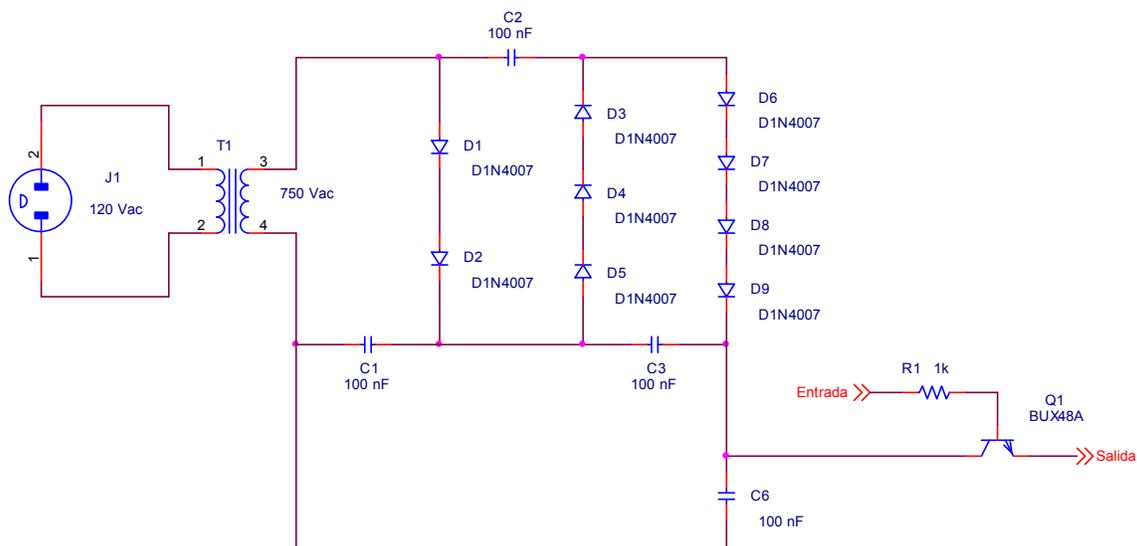


Figura 3-2: Circuito multiplicador de voltaje.

Una característica de este sistema, es su tiempo de subida, este lapso es lo que tarda el voltaje de salida en llegar a su voltaje pico máximo, este valor es de 20  $\mu$ s.

Este método tiene un costo de 140 dólares, esto se debe a la utilización del transformador T1, cuyo valor es de aproximadamente 120 dólares, este tipo de dispositivo debe ser comprado fuera del país, lo que se ve reflejado en su precio.

Este transformador se podría cambiar por otro con una relación de transformación menor, lo que significa que su precio bajaría, sin embargo el problema es que se deberían colocar más capacitores y diodos para llegar al mismo valor de voltaje pico.

Con respecto a la facilidad de conseguir los componentes para armar este circuito, se puede mencionar que los diodos y los capacitores se consiguen dentro del país. Para el caso de los capacitores el voltaje máximo que pueden soportar es de 2000 V y para los diodos el voltaje de reversa alcanza los 1000 V.

En la figura 3-2, se aprecia que los diodos D1 y D2 se encuentran colocados en serie, esto con el fin de aumentar el voltaje máximo de reversa.

Cuando el capacitor C1 se encuentre cargado y la tensión del secundario del transformador se encuentre en el semiciclo negativo, la diferencia de potencial en las terminales de los diodos D1 y D2 será de 2000 V. Si se colocara solamente un diodo 1N4007, este se dañaría debido al voltaje en reversa que debe soportar.

Este sistema no posee manera alguna de variar la tensión máxima del impulso después de implementarse, lo que podría verse como una desventaja. Si se tiene un GDT con un voltaje de ruptura de 600 V y se le aplica un impulso de 3000 V para activarlo, se tendrá un desperdicio de energía innecesario.

Por otro lado, en un caso hipotético si se desea aumentar el voltaje máximo debido a que se fabrique un GDT con un voltaje de ruptura de 6000 V, este sistema debería ocupar mayor espacio agregándole más capacitores y diodos.

**Tabla 3-1:** Tabla comparativa de los métodos de generación de impulsos de tensión.

Método	Voltaje máximo (V)	Tiempo de subida ( $\mu$ s)	Costo (\$)	Disponibilidad	Control del voltaje máximo	Área del sistema ( $\text{cm}^2$ )
Multiplicador de voltaje	3000	20	140	No hay en el país	No	160
Bobina de automóvil	26000	125	50	Hay en el país	Si	80
Convertidor de CD-CD	3000	10000	100	No hay en el país	Si	20

### 3.1.2 Método que corta la corriente a través de una bobina.

Este método tiene como función principal cortar la corriente a través de una bobina, este principio es utilizado en el sistema de encendido de un automóvil y en los electrificadores de cercas para animales, el circuito eléctrico se puede observar en la figura 3-3.

La información de la tabla 3-1 (pág.25) muestra las características de este sistema. Para empezar el voltaje pico máximo puede llegar hasta los 26000 V, este voltaje es difícil de manejar debido a los arcos que se generan.

Este sistema tiene un tiempo de subida de 125  $\mu$ s. Una característica sobresaliente es su costo económico de 50 dólares, esto lo ubica como el sistema más barato de los tres y para la empresa este es uno de los aspectos más importantes, debido a que se busca una reducción de un 20 % en los costos de mantenimiento con respecto al sistema actual.

Los componentes necesarios para implementar este sistema, se pueden encontrar en el país, por lo que se puede obtener cualquiera de estos en aproximadamente 2 días.

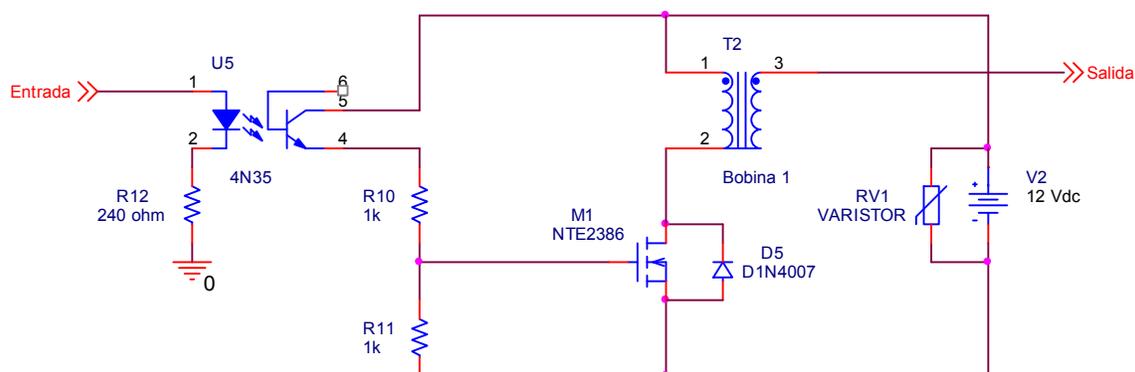


Figura 3-3: Circuito generador de impulsos por medio de una bobina.

Otra ventaja de este sistema es el control del voltaje pico máximo que puede alcanzar, este valor está directamente relacionado con la señal de control.

El funcionamiento del circuito inicia con la activación de la señal de entrada, con esto se genera una tensión de 6 V entre los puntos puerta-drenador del transistor M1, provocando que este entre en conducción, lo que permite cargar la bobina; esta se carga por medio de una corriente de 3 A.

Luego, la señal de entrada se desactiva y el transistor M1 corta el paso de electrones a través de él.

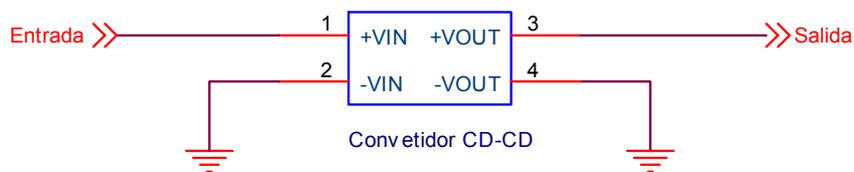
Debido a que la bobina se opone a cambios bruscos en la corriente, esta se convierte en una fuente de voltaje para mantener la corriente constante que fluye a través de ella. Este efecto, provoca un incremento súbito en la tensión de la bobina, produciendo un impulso de tensión en el secundario de la misma que puede llegar a los 26000 V. Esta tensión se alcanzó desactivando la señal de entrada por aproximadamente 1 ms.

Entre mayor tiempo se desactive la señal de entrada, el transistor M1 permitirá que menos corriente pase a través de él, por lo que la bobina deberá aumentar su voltaje para mantener la corriente. Es por esta razón, que se puede decir que el voltaje pico máximo es directamente proporcional al tiempo que se desactiva la señal de entrada.

Otro aspecto a considerar en el diseño de este circuito, es el voltaje entre las terminales drenador-fuente que puede soportar M1, esto se debe a que cuando ocurre el corte de la corriente, la resistencia entre estos dos puntos aumenta y la corriente se mantiene constante debido a la bobina, lo que produce un aumento en el voltaje drenador-fuente, de no tenerse en cuenta este fenómeno se puede dañar el transistor, este voltaje alcanzó los 400 V.

### **3.1.3 Método utilizando un convertidor CD-CD.**

Por último se implementó el generador de impulsos con un convertidor de CD-CD, se puede observar el circuito en la figura 3-4 (pág. 28).



**Figura 3-4:** Circuito de un convertidor CD-CD.

Este sistema cuenta con un voltaje pico máximo de 3000 V, este voltaje se puede aumentar cambiando el tipo convertidor, sin embargo la empresa en el momento de realizar las pruebas disponía solo con este voltaje de salida (Ver anexo 3, pág. 86).

Una gran desventaja de este sistema es el tiempo de subida que tiene, ya que es de 10 ms, convirtiéndolo en un dispositivo lento para la aplicación, debido a que el circuito trabaja a una frecuencia de 120 Hz, por lo que el tiempo de respuesta de este dispositivo debería ser menor a 8.333 ms.

El precio de este convertidor es de 100 dólares y no es posible encontrarlos en el país, por lo que hay que importarlos.

Este sistema tiene un control de voltaje que permite el aumento de la tensión y puede mantenerla con una precisión del  $\pm 1\%$  en el valor deseado, además solo basta para controlarlo cambiar la amplitud de la señal de entrada, esta debe estar en el rango de 0 V a 12 V.

Después de analizados los tres sistemas y valorando cada una de sus características, se elige el método que utiliza la bobina de automóvil para implementar el circuito generador de impulsos de tensión.

Esta decisión se tomó basándose en que este método supera a los otros con relación al voltaje pico máximo que alcanza, posee el menor costo, sus componentes son fáciles de conseguir y tiene control sobre la tensión máxima de impulso, esto significa que es un sistema muy flexible con respecto a cambios en el futuro.

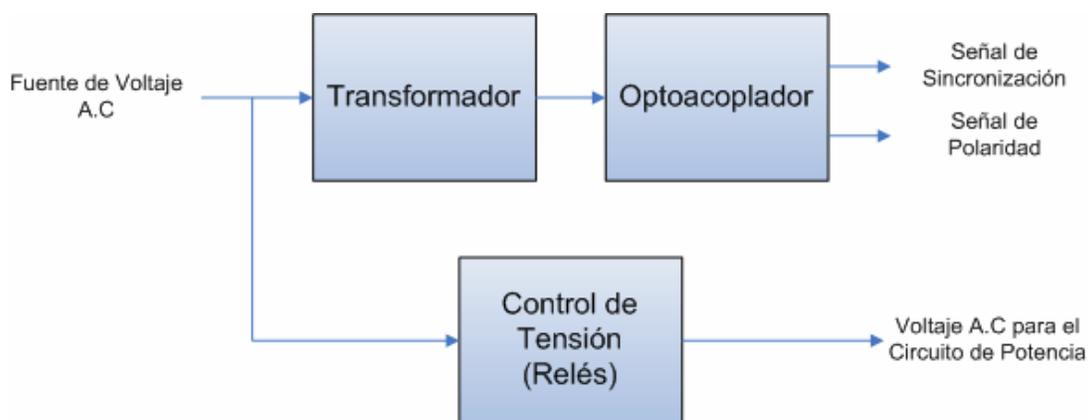
## 3.2 Descripción del hardware

Con respecto a la implementación del hardware del sistema, se realizó de manera modular, apeándose a cada una de las partes que contiene el diagrama de bloques de la solución implementada. Este diagrama se puede observar en la figura 3-1(pág. 23).

Antes de iniciar con el análisis de los circuitos que forman el sistema, se dará una explicación del proceso que realiza cada uno de los módulos que se pueden observar en el diagrama de bloques de la figura 3-1. Para esto se iniciará desde el módulo que posee el funcionamiento más sencillo hasta el más complejo.

### 3.2.1 Módulo de control de tensión A.C.

Este módulo tiene como objetivo informar de manera constante al circuito de control, el estado en que se encuentra el voltaje de la señal de alimentación, además se encarga de conectar y desconectar dicho voltaje cuando inicia y termina el ciclo de acondicionado.



**Figura 3-5:** Diagrama de bloques del circuito de control de tensión A.C.

En la figura 3-5, se observa las funciones que realiza este bloque. Para empezar, se tienen las señales de sincronización que son usadas por el circuito de control y son las siguientes:

- Señal de sincronización: se encarga de avisar cuando la fuente de voltaje A.C. cruza por cero, esta señal es utilizada para ubicar el momento en que se debe dar el disparo y producir el impulso siempre en el mismo ángulo de la señal de alimentación.
- Señal de polaridad: se encarga de informar en cual semiciclo se encuentra el voltaje de alimentación.

La señal de polaridad se utiliza para coordinar la generación del impulso de tensión con el semiciclo en que se encuentra la fuente de voltaje A.C., debido a que si el voltaje de alimentación se encuentra en el semiciclo positivo y el sistema genera un impulso negativo, se puede dar la activación del GDT, sin embargo, resultaría imposible mantenerlo activado.

Como una función secundaria de este módulo se encuentra la conexión y desconexión del voltaje que alimenta el circuito de potencia, esta función se realiza por medio de relés de mercurio (Ver anexo 5, pág. 88).

La desconexión se realiza para evitar que en la base, donde se coloca el GDT, exista un voltaje peligroso y de esta manera se puedan colocar y quitar los tubos de gas sin ningún riesgo.

En la figura 3-6, se puede apreciar el circuito que corresponde a este bloque, debido a sus funciones este módulo utiliza dos opto acopladores 4N35, estos se encargan de generar las señales de sincronización y a la vez mantener aislado el sistema de control.

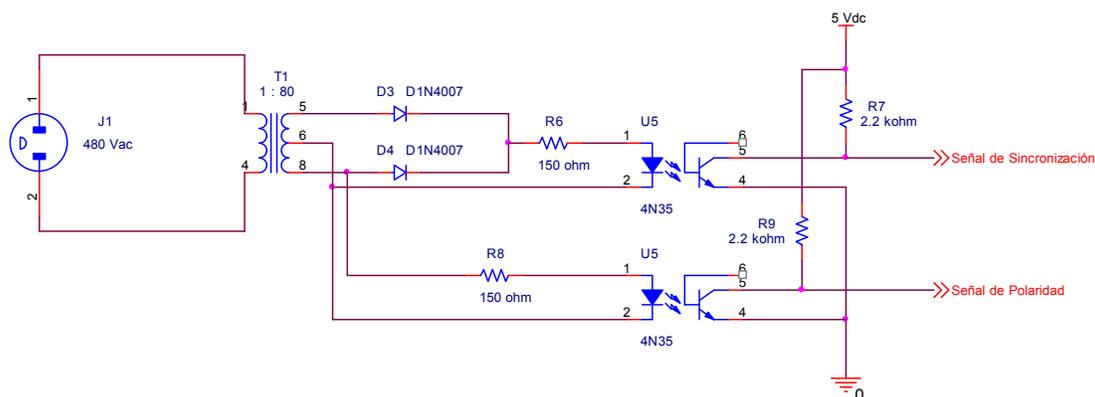


Figura 3-6: Circuito eléctrico del control de tensión A.C.

Para comprender aún más las funciones de este bloque, se puede observar la figura 3-7. En la primera señal (amarillo) se observa la onda rectificada del transformador T1, la cual se utiliza para alimentar el “Led” del opto acoplador, este produce a su salida la señal llamada: “Señal de Sincronización” (celeste), esta sección del circuito es un detector de cruce por cero.

La última onda (violeta) representa la señal llamada: “Señal de Polaridad” esta tiene como objetivo indicar en cual semiciclo se encuentra la señal de alimentación.

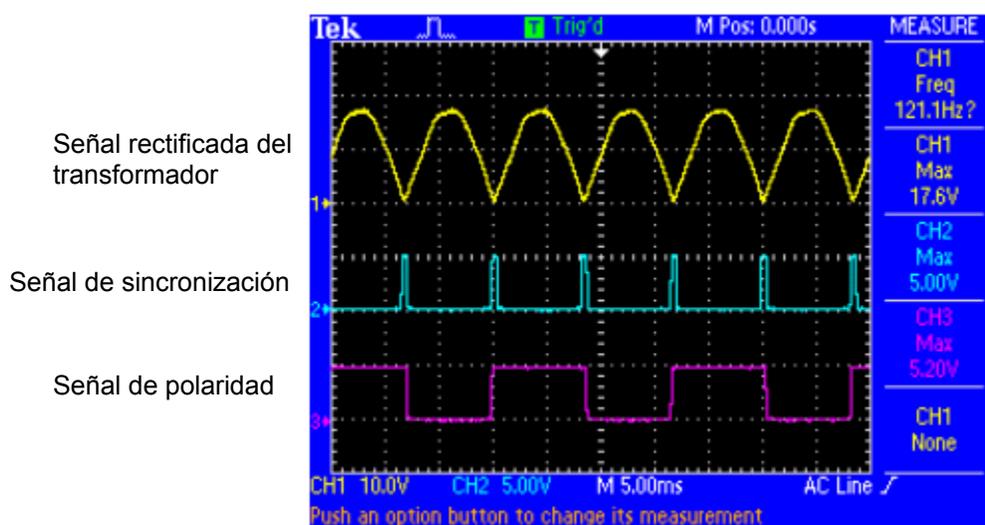


Figura 3-7: Señales generadas por del circuito de control de tensión A.C.

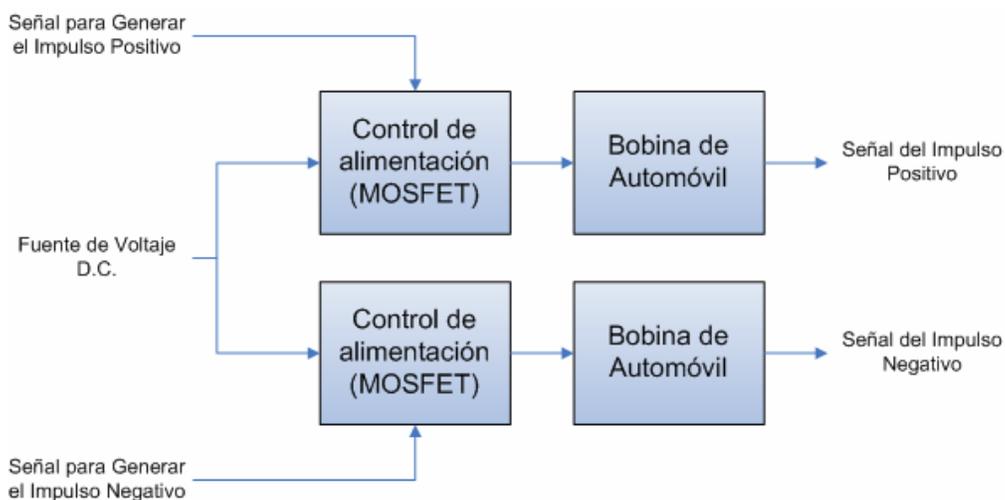
### 3.2.2 Módulo generador de impulsos de tensión.

Este módulo posee una de las funciones que tiene más relevancia dentro del proyecto, debido a que sin este no se lograría ionizar el gas que contiene el GDT.

Para entender las funciones que son ejecutadas por el circuito se puede observar el diagrama de la figura 3-8 (pág. 32).

El funcionamiento de este bloque inicia cuando el circuito de control activa la señal para generar el impulso de tensión, luego este módulo se encarga de transformar esa señal en un impulso que puede alcanzar los 26000 V.

Se debe tener en cuenta que se genera de manera alternada solo un impulso a la vez, ya sea el positivo o el negativo, esto dependerá del semiciclo en que se encuentre el voltaje de alimentación.



**Figura 3-8:** Diagrama de bloques del generador de impulsos de tensión.

El circuito de esta etapa se puede visualizar en la figura 3-9 (pág. 33). En el diseño este circuito se tomaron en cuenta aspectos como son: la corriente que puede fluir a través de la bobina, el voltaje que se puede generar en la terminales drenador-fuente del transistor MOSFET, la velocidad de corte de transistor, la resistencia entre los puntos drenador-fuente cuando el transistor está saturado, el voltaje mínimo entre las terminales puerta-fuente para hacerlo conducir.

El funcionamiento de este circuito se explicó en la sección 3.1.2 (pág.26), sin embargo, no se ha mencionado el efecto que producen las capacitancias parásitas dentro de la bobina.

Debido a la presencia de estas capacitancias, se debe tomar en cuenta que la bobina actuará como un circuito resonante, por lo que se coloca un diodo de protección en paralelo con el transistor, para que en el momento en donde la bobina cambia de polaridad y hace fluir una corriente inversa a la que el transistor puede permitir, este no sufra daño alguno.

Además en el diseño del circuito, se analizó el comportamiento del transistor MOSFET (Ver anexo 6, pág. 89), para dicho análisis se tomaron en cuenta las siguientes características:

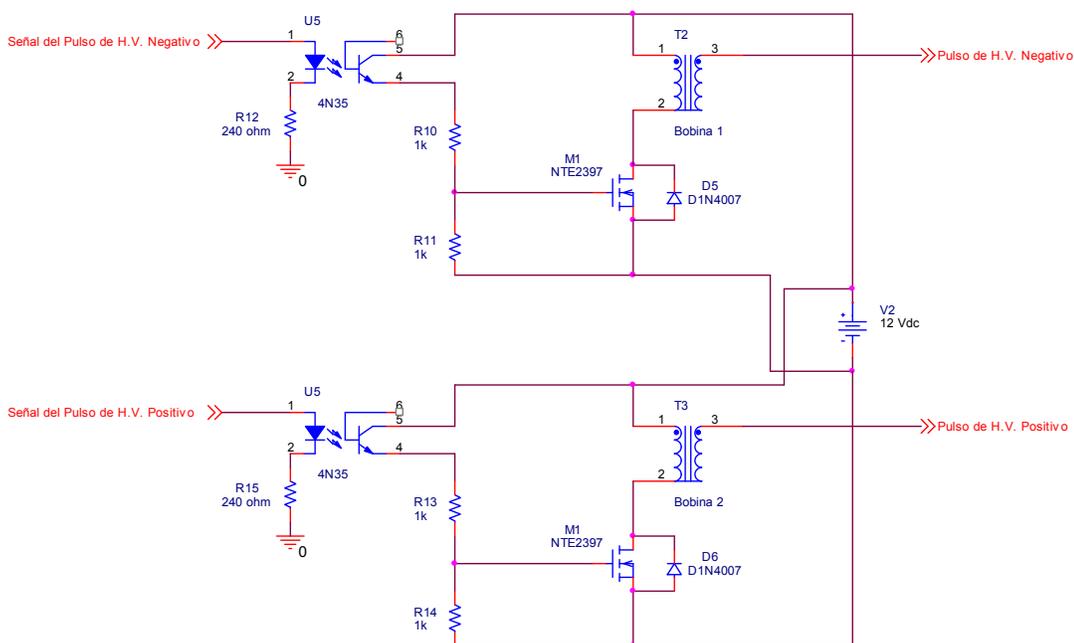


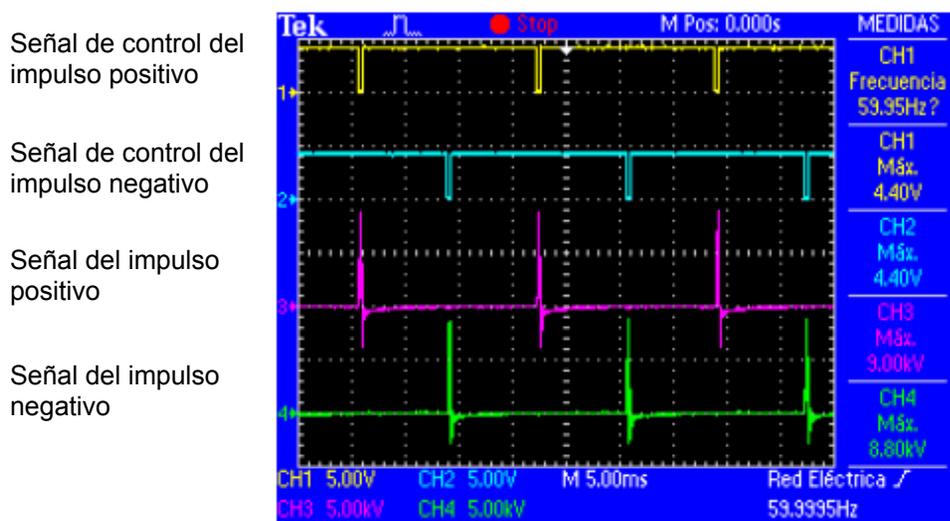
Figura 3-9: Circuito generador de impulsos de voltaje.

- La resistencia entre los puntos drenador-fuente en saturación, para el caso del NTE2397, este valor es de  $0.55 \Omega$ , esto produce que la mayoría del voltaje de la fuente de alimentación se ubique en las terminales de la bobina; esta posee una resistencia interna de  $4 \Omega$ .
- La velocidad del corte, para este transistor es de  $24 \text{ ns}$ , esto produce que el voltaje pico máximo en el secundario de la bobina alcance los  $26000 \text{ V}$ .
- La flexibilidad en el método de activación, este tipo de transistor es controlado por un tensión en el rango de  $-20 \text{ V}$  a  $20 \text{ V}$ .

Con respecto a la elección de la bobina de automóvil, se tomaron las siguientes consideraciones:

- Voltaje máximo que puede alcanzar; esta bobina en particular puede alcanzar los 26000 V en el secundario, ya que posee una relación de transformación de 1:2000 aproximadamente (Ver anexo 2, pág. 85).
- El costo; este dispositivo se puede adquirir en el mercado nacional y su precio ronda los 17 mil colones.
- El consumo de potencia; este dispositivo se alimenta con una tensión de 12 V y a través del primario fluye una corriente de 3 A. Por lo que su potencia es de aproximadamente 40 VA.

Para ilustrar la relación entre el funcionamiento de este bloque y el módulo de control se puede observar la figura 3-10. Las dos primeras señales que se aprecian (amarilla y azul), son las señales generadas por el microcontrolador, éstas se alternan debido a que una de ellas corresponde al semiciclo positivo y la otra al negativo.



**Figura 3-10:** Señales de control con sus respectivos impulsos de tensión.

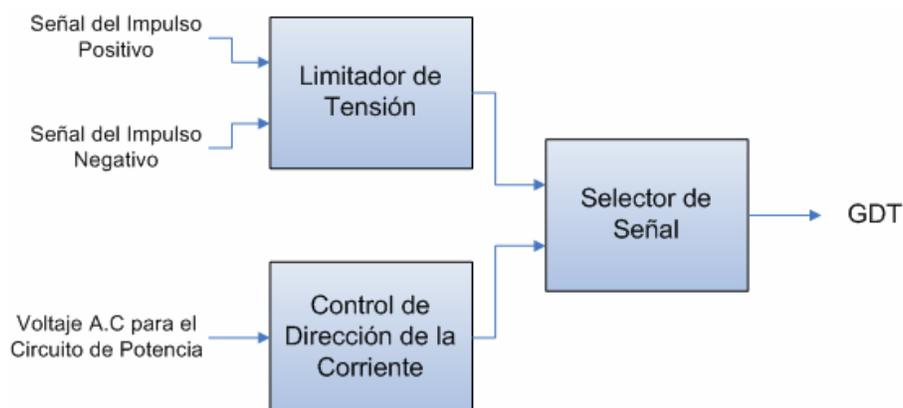
Las dos señales siguientes (violeta y verde) son los impulsos generados por este módulo, en donde su voltaje pico alcanza los 9000 V, para este caso el voltaje pico fue configurado en este valor para facilitar la visualización en la imagen.

### 3.2.3 Módulo de potencia.

El módulo de potencia se encarga de unir los impulsos de voltaje con la alimentación de la red eléctrica, ambas señales serán aplicadas al GDT que se desea acondicionar.

Para entender el funcionamiento básico de este módulo se presenta el diagrama de bloques en la figura 3-11.

El funcionamiento del circuito se puede explicar mediante una secuencia de pasos, estos pasos describen el proceso de acondicionamiento que se requiere dar a cada uno de los tubos de gas.



**Figura 3-11:** Diagrama de bloques del circuito de potencia

Para iniciar con el proceso se debe conectar la línea de voltaje A.C. a los terminales del tubo, después de este paso el GDT no se debe tocar de ninguna manera, debido al peligro de recibir una descarga. El tema de seguridad se abordará en la sección 3.2.5.

Luego de conectar el voltaje de alimentación; el bloque llamado: control de dirección de la corriente inicia su funcionamiento, este se encarga de permitir el paso de la corriente que acondiciona el GDT y a su vez, debe bloquear los impulsos de tensión, para que estos no lleguen a la fuente de voltaje A.C.

Continuando con la secuencia, se activan los impulsos de tensión para activar el tubo de gas, estos tienen la misma polaridad que el semiciclo del voltaje de alimentación.

En el caso que no se colocara un GDT en el sistema y se inicie la secuencia de acondicionado, el bloque limitador de tensión, debe garantizar que los impulsos generados no dañen los componentes del resto del sistema, para esto se utilizan diodos supresores de transientes.

Cuando está presente un GDT, este realiza la función de limitar el impulso. En el caso de este proyecto se configuró el valor límite de protección de este bloque en 2400 V, debido a que los componentes del circuito de potencia puede soportar una tensión máxima de 3000 V.

En cada periodo del voltaje de alimentación se debe generar un impulso positivo y uno negativo, ambos poseen el mismo ángulo de disparo. Este proceso se realizará continuamente hasta concluir el tiempo de acondicionado respectivo, cuando se concluye este lapso se debe desconectar el voltaje A.C. de los terminales del tubo para poder retirarlo.

Para aclarar más los conceptos acerca de este módulo, se presenta el circuito eléctrico en la figura 3-12 (pág. 37). Este circuito es funcional para tubos de dos elementos ó dos electrodos. Se observa que el tubo de gas se coloca en medio del circuito y está separado de ambas fuentes por diodos.

Para explicar el funcionamiento del circuito de la figura 3-12 se hará siguiendo el proceso de acondicionado. Para empezar, el PIC genera la señal de activación del relé, con esto se pone en funcionamiento la mitad del circuito de potencia.

Primero se analizará el semiciclo positivo del voltaje de alimentación, para este caso el transistor IGBT Z3 se mantendrá apagado, por lo que el diodo D13 será el encargado de bloquear el impulso de tensión positivo, evitando que este llegue hasta la fuente.

Además, D13 será el encargado de permitir el paso de la corriente cuando el impulso active al GDT y se permita el paso de electrones, además el transistor IGBT Z4 estará encendido creando un camino para la corriente, la cual fluirá en el sentido horario.

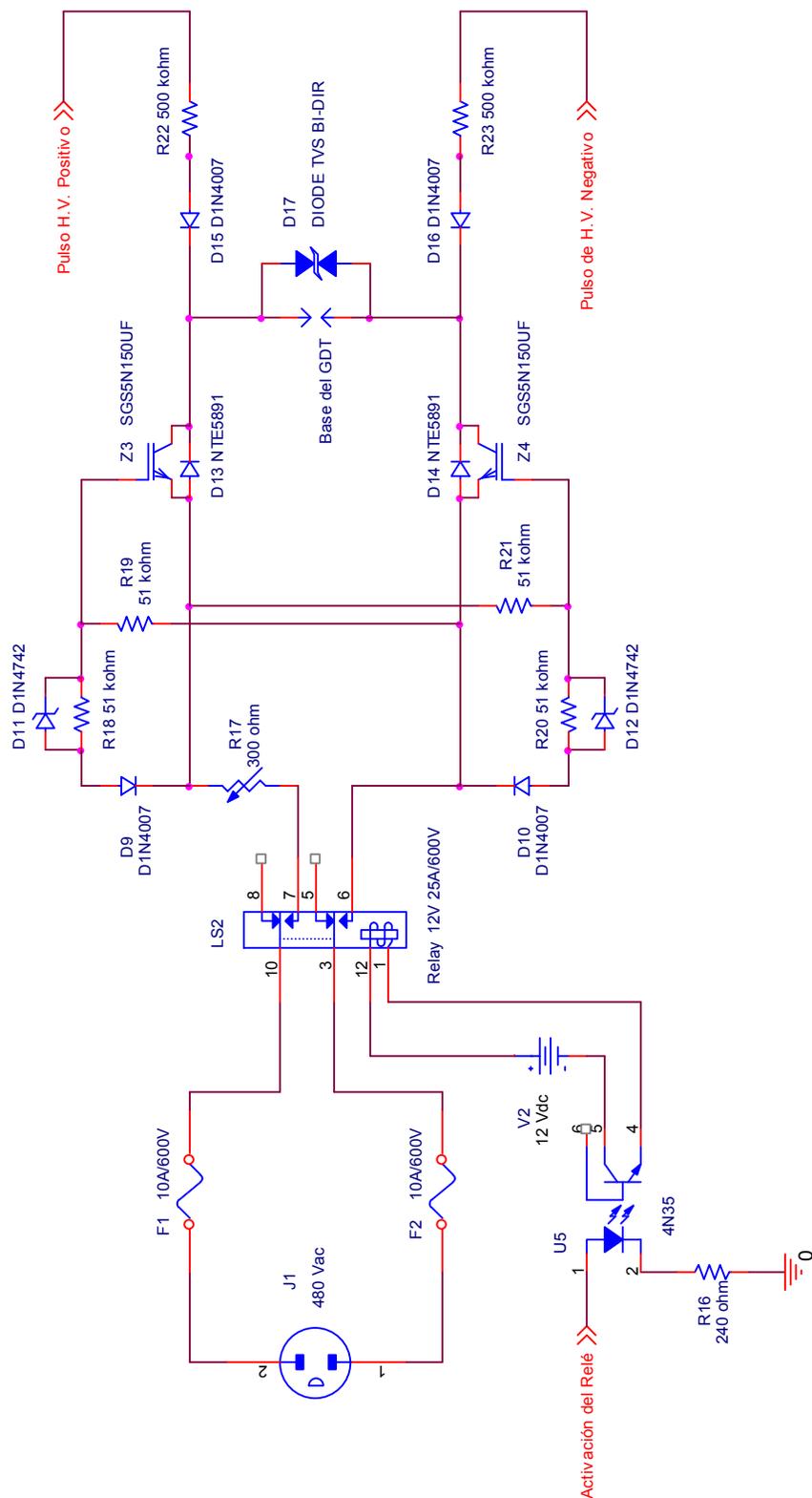


Figura 3-12: Circuito de potencia para un GDT de 2 elementos.

Antes del impulso positivo, el encargado de no dejar que la corriente de la fuente de alimentación se escape por el circuito del impulso será el diodo D15.

En el semiciclo negativo, se tiene que el IGBT Z4 estará desactivado, por lo que Z3 permitirá el paso de la corriente; por otro lado el trabajo del diodo D14 será bloquear el impulso negativo cuando este se dé, y permitir el paso de la corriente en el sentido anti-horario.

Por su parte el diodo D16, se encargará de evitar que circule una corriente de la fuente de alimentación al circuito generador del impulso. La única forma que la corriente pueda circular, será después del impulso negativo.

La señal que se encarga de encender y apagar a Z3 y a Z4 será generada por el mismo voltaje de alimentación, con la ayuda de las resistencias R18, R19, R20 y R21 y los diodos D9, D10, D11 y D12.

El diodo D17 es un dispositivo de protección, este supresor de transientes de voltaje (TVS) se encarga de limitar el impulso de tensión a 2400 V en el circuito de potencia.

La resistencia R17 será la encargada de limitar la corriente de acondicionamiento. Las resistencias R22 y R23 se encargan de disipar el impulso de voltaje cuando el GDT entre en conducción.

Para el caso del GDT de tres elementos se puede apreciar el circuito que aparece en la figura 3-13 (pág. 39), en este caso se tiene que accionar dos cámaras de gas, esto significa que se acondicionan dos dispositivos al mismo tiempo.

Para explicar su funcionamiento se tomará como guía el circuito de dos elementos, ya que el funcionamiento es similar, solo que para este caso, se adiciona el transistor IGBT Z5 y su comportamiento será el mismo que Z3. De la misma forma sucede con los diodos D15 y D17, estos tienen la función de bloquear el impulso positivo, para los diodos D18 y D20 es la misma situación.

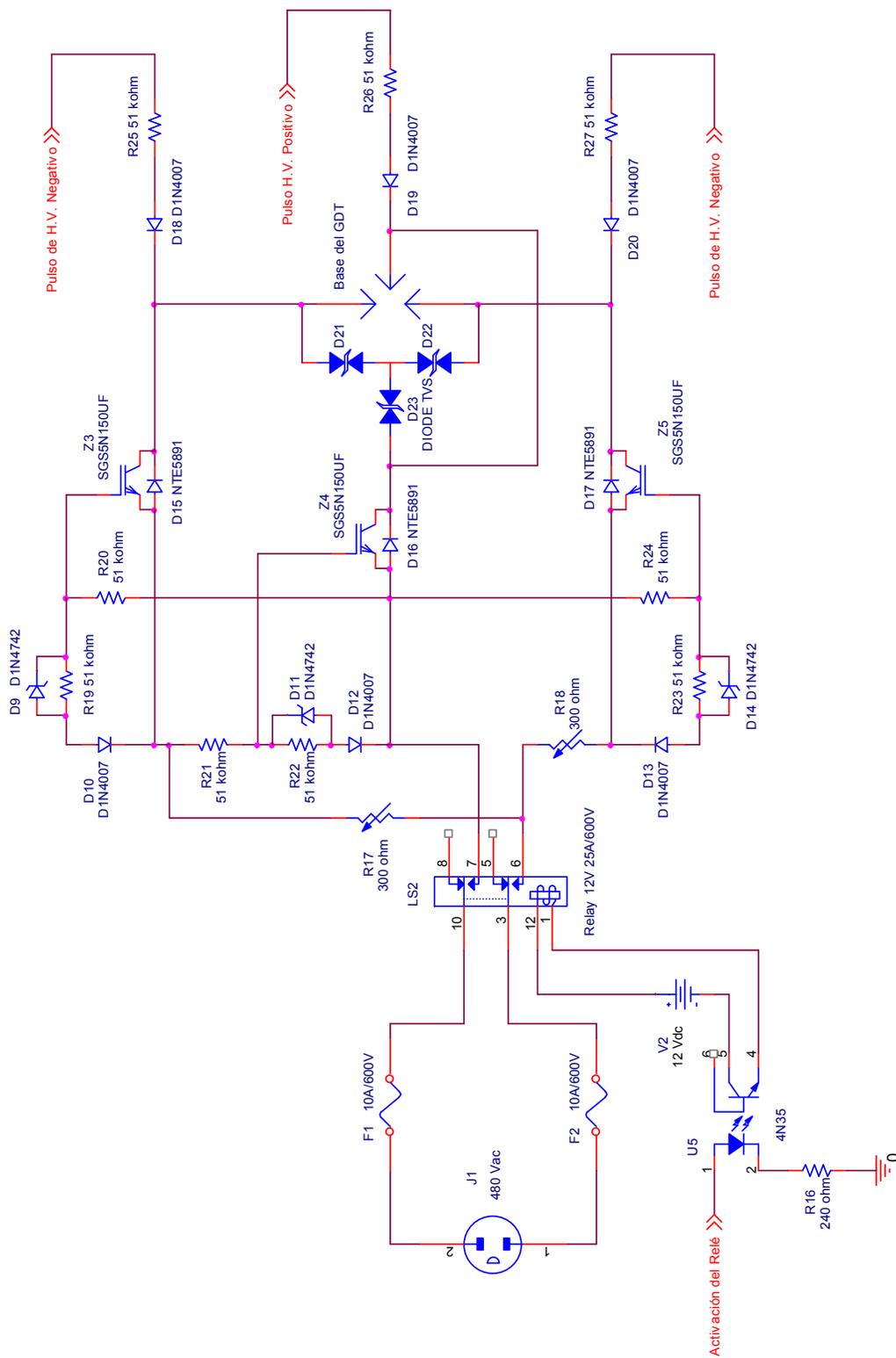


Figura 3-13: Circuito de potencia para un GDT de 3 elementos.

Un detalle de este circuito es que necesita dos resistencias R17 y R18 que son las encargadas de limitar la corriente de acondicionado. Por otro lado, el sistema que genera impulsos de tensión no sufrirá ninguna variación debido a que con solo una señal basta para lograr ionizar ambas cámaras del tubo.

La empresa tiene mayor interés en el circuito de tres elementos, debido a que este tipo de GDT tiene un 60% de las ventas totales de la empresa, además que sus voltajes de ruptura alcanzan los 1100 V.

El circuito de potencia se diseñó para soportar 3000 V y 10 A como máximo. En su diseño se tomó en cuenta los valores del voltaje de ruptura en reversa y de la corriente que pueden soportar tanto los diodos como los transistores IGBT.

Para ilustrar el funcionamiento del circuito de potencia se muestra en la figura 3-14, la señal del voltaje en los terminales de la base del GDT cuando no hay un tubo de gas. En la imagen del osciloscopio se observar la señal del voltaje de alimentación y como se superpone a esta el impulso de tensión.

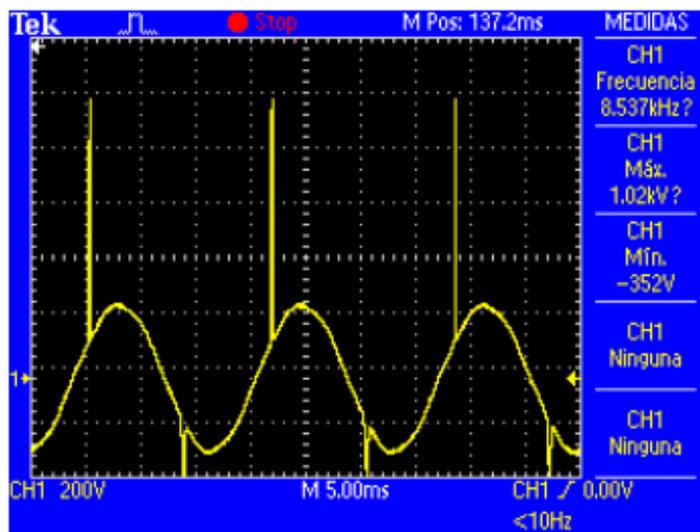


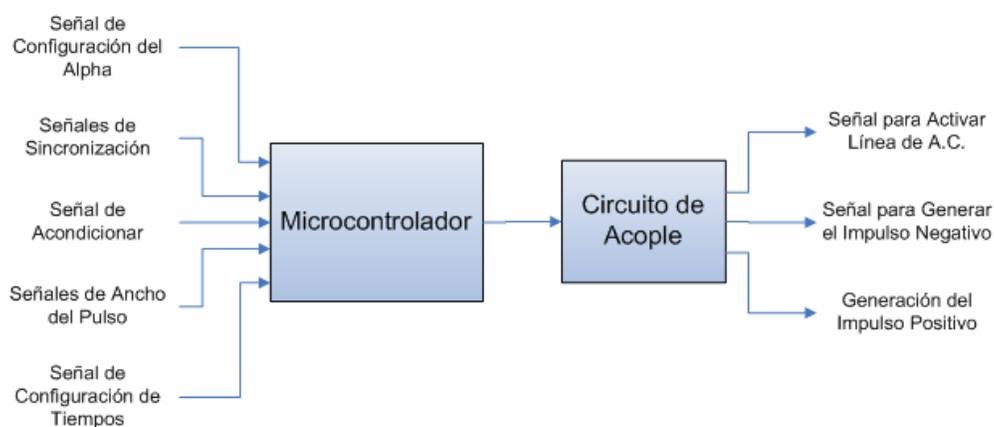
Figura 3-14: Señal de tensión en la base del GDT.

La figura 3-14 corresponde al proceso utilizado para acondicionar un tubo con un voltaje de ruptura de 600 V y una corriente de acondicionamiento de 5 A, el voltaje de la señal que suministra dicha corriente es de 240 V, el pico máximo del impulso se configuró en 1000 V; este voltaje es suficiente para activar este tipo de GDT.

### 3.2.4 Módulo de control.

Este módulo se implementó con la ayuda de un microcontrolador, esto a razón de las facilidades que este presenta, algunas de estas son: captura de datos, manejo de interrupciones, manejo de temporizadores, generación de señales y por otros aspectos fuera de su funcionamiento como: su bajo costo, su disponibilidad y su fácil manejo.

El módulo de control tiene como función sincronizar los impulsos de tensión con la señal de alimentación en el circuito de potencia. Además de llevar a cabo otras tareas, las cuales se observan en la figura 3-15. Para este bloque se explicarán sus funciones según el orden en cómo se ejecuta el proceso de acondicionado.



**Figura 3-15:** Diagrama de bloques del circuito de control.

Para iniciar, el PIC debe capturar tres datos a través del convertidor analógico-digital, cada uno de estos se ingresa por un canal diferente, el primero de estos datos es el ángulo de disparo donde se genera el impulso de tensión para activar al GDT.

Para este proyecto es necesario que este ángulo se mantenga constante debido a que con su modificación se puede variar la corriente media que atraviesa el GDT, si se diera el caso en que el impulso no se dé siempre en el mismo momento, esto provocará una variación en la corriente media, por lo que el voltaje de ruptura en un lote de piezas podría variar drásticamente de un tubo a otro.

Para ilustrar el proceso de selección del ángulo de disparo se pueden ver las figuras 3-16, 3-17 y 3-18 (pág. 43). En estas se muestra la variación que puede realizarse en el ángulo de disparo, en la primera de ellas el ángulo es de 30°, para la segunda es de 60° y para la tercera el ángulo es de 90°, sin embargo, el impulso puede moverse a cualquier valor entre 0° y 180°.

La opción de variar el ángulo de disparo donde se genera el impulso de tensión puede ser un método para ajustar la corriente de acondicionado; en la industria los valores de resistencias comerciales pueden diferir del valor real que se requiere, haciendo difícil alcanzar un valor de corriente determinado.

Los otros datos que se obtienen por medio de los canales analógicos del microcontrolador, son los tiempos que se mantienen activas las señales de control de los impulsos positivo y negativo. La duración de estas dos señales puede variar de 1  $\mu$ s hasta 1023  $\mu$ s, con esto el valor máximo del impulso de tensión puede ir desde 0 V hasta 26000 V.

El control que se tiene sobre el valor pico del impulso permite al sistema acondicionar GDT con un voltaje de ruptura de 75 V hasta nuevos modelos que se puedan implementar con valores hasta los 2200 V.

Estas dos señales se pueden configurar de manera separada, debido a posibles diferencias entre los componentes que forman el circuito generador de impulsos, por ejemplo, encontrar dos transistores MOSFET que se comporten exactamente igual es poco probable, lo mismo pasa con las bobinas, por lo que de esta manera se puede ajustar el valor pico de los dos impulsos a un valor similar.

Señal de la fuente de voltaje A.C. reducida ●

Señal de control del impulso positivo. ●

Señal de control del impulso negativo. ●

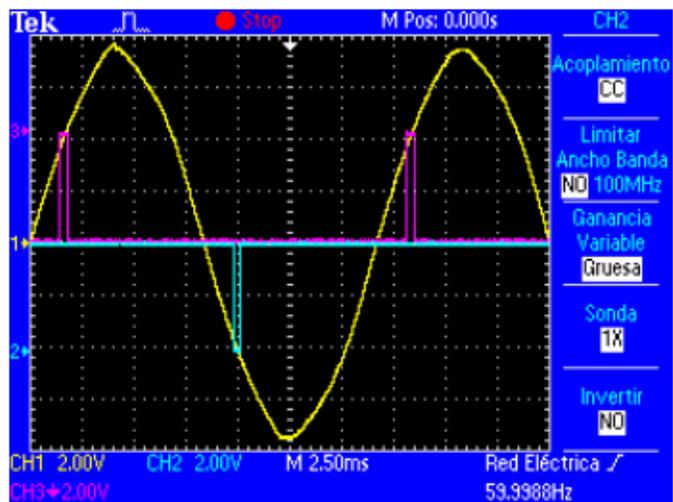


Figura 3-16: Señal de disparo ubicada en un ángulo 30°.

Señal de la fuente de voltaje A.C. reducida ●

Señal de control del impulso positivo. ●

Señal de control del impulso negativo. ●

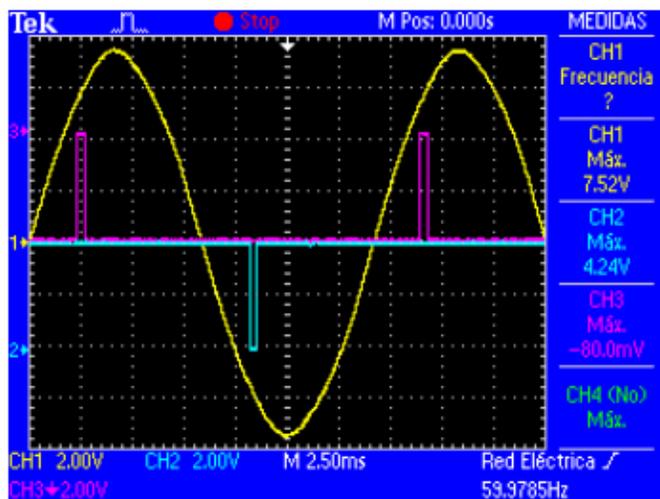


Figura 3-17: Señal de disparo ubicada en un ángulo 60°.

Señal de la fuente de voltaje A.C. reducida ●

Señal de control del impulso positivo. ●

Señal de control del impulso negativo. ●

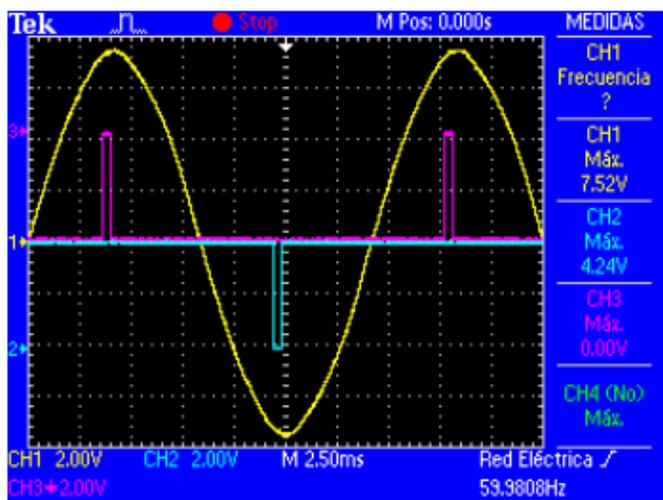
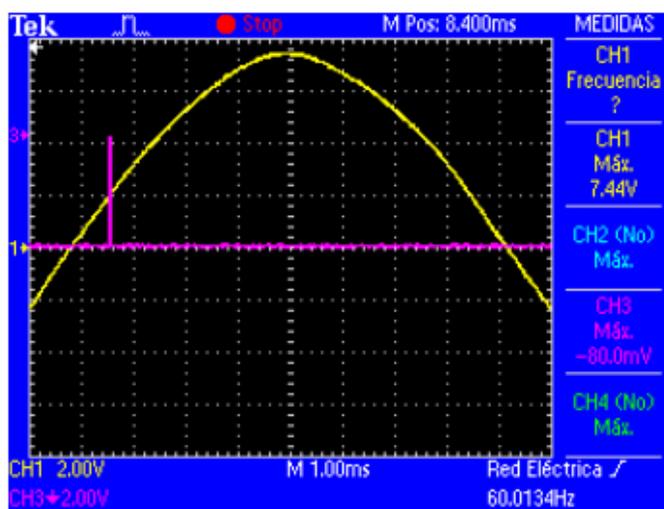


Figura 3-18: Señal de disparo ubicada en un ángulo 90°.

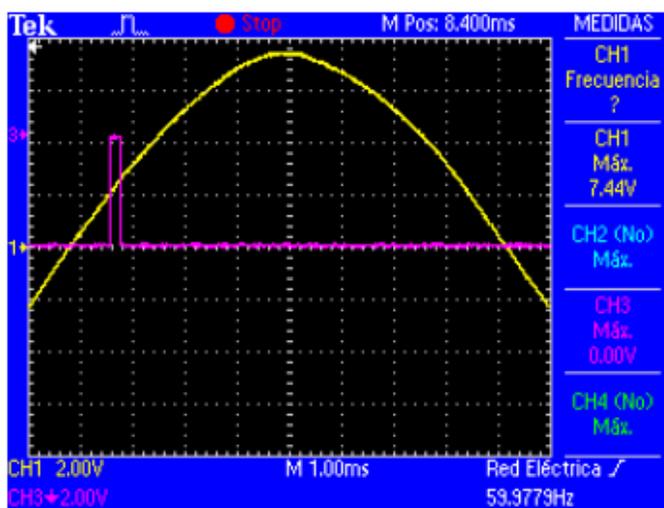
Para comprender la configuración del voltaje pico máximo mediante la variación del ancho del pulso para el semiciclo positivo (Violeta), se pueden observar las figuras 3-19, 3-20 y 3-21 (pág. 45). En la primera figura el pulso tiene un ancho de 80  $\mu$ s, para la segunda es de 250  $\mu$ s y en la tercera el ancho del pulso es de 900  $\mu$ s.

Señal de la fuente de voltaje A.C. reducida ●  
Señal de control del impulso positivo. ●

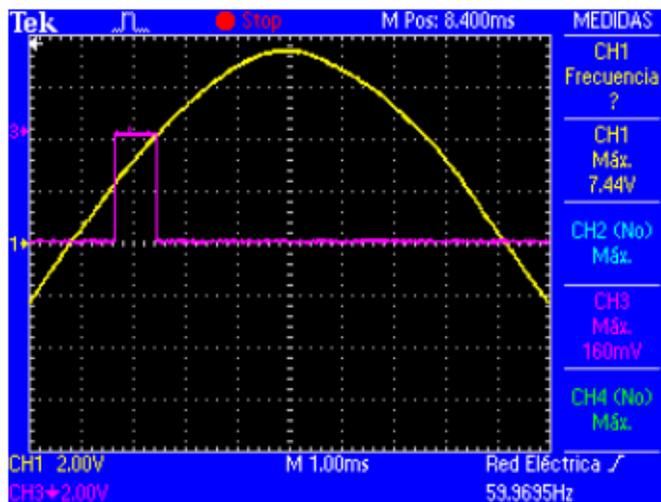


En estas gráficas se observa la señal de la fuente de voltaje A.C., esta señal se toma del secundario de un transformador reductor y se utiliza para generar las señales de sincronización y polaridad.

Señal de la fuente de voltaje A.C. reducida ●  
Señal de control del impulso positivo. ●



Señal de la fuente de voltaje A.C. reducida ●  
Señal de control del impulso positivo. ●



La aplicación de software que se encarga de realizar la captura de estos datos será expuesta en la sección 3.3 (pág. 53).

La configuración de los datos utilizados en la secuencia de acondicionado se hizo de manera digital, con el fin de proporcionar mayor exactitud a estos valores. Estos datos son el tiempo de descarga, el tiempo de reposo y el número de repeticiones.

El tiempo de descarga es el periodo que se expone el GDT a la corriente de acondicionado, el tiempo de reposo es el lapso que se da entre una exposición y otra; y por último el número de repeticiones corresponde a la cantidad de descargas que se le aplicarán al GDT.

Debido a que el tiempo de exposición es tan importante como la corriente que se aplica al GDT. Si este lapso varía de un dispositivo a otro, esto provocaría que la superficie del recubrimiento metálico se desgaste más en unos tubos que en otros, dando como resultado que los valores de ruptura de un lote completo de piezas sean dispersos.

Estos tres datos son ingresados por medio de 8 interruptores en un paquete de doble línea, lo cual ofrece la posibilidad de configurar valores hasta 255, los tiempos se incrementan en pasos de 1 s y el número de repeticiones en pasos de 1.

La configuración se inicia con el tiempo de descarga, colocando la cantidad de segundos en binario en los interruptores, luego se presiona un pulsador para capturar la información, posteriormente se ingresa el tiempo de reposo y el número de repeticiones realizando el mismo procedimiento.

Si se observa la figura 3-22 y 3-23, se puede observar las dos secuencias de acondicionado más comunes para este proceso.

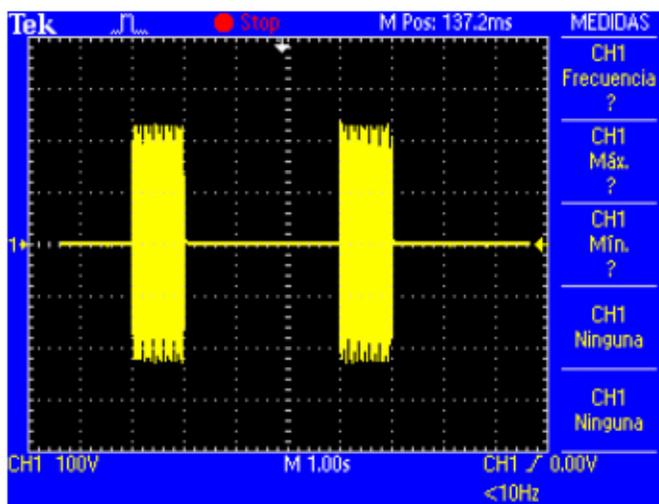


Figura 3-22: Tensión en la resistencia de acondicionado para la secuencia de 1s-3s-1s.

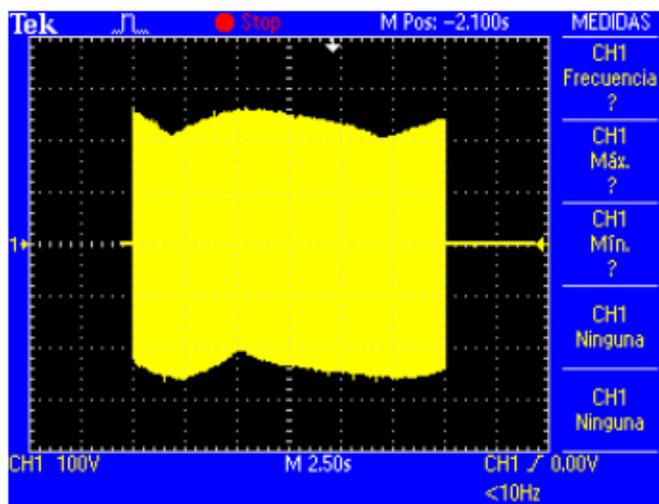


Figura 3-23: Tensión en la resistencia de acondicionado para la secuencia de 15s.

En la figura 3-22 se puede observar el proceso de acondicionado de un GDT de 1100 V con una corriente de 1 A, la escala del tiempo en la figura es de 1 s, esta prueba tiene un voltaje de alimentación de 240 V.

Para terminar con el funcionamiento de este módulo se observa en la figura 3-24, la relación entre las señales de sincronización y las generadas por el microcontrolador para activar los impulsos de tensión.

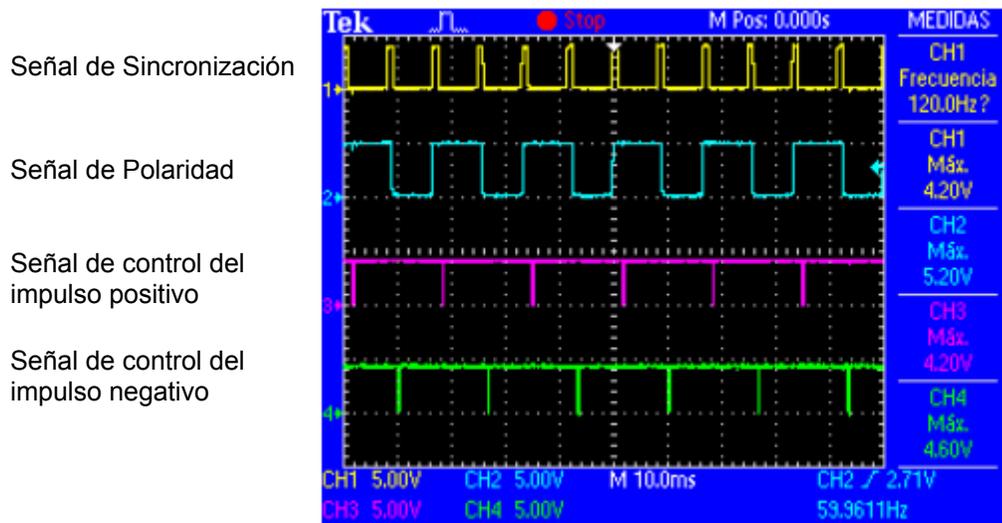


Figura 3-24: Señales generadas por el circuito de control.

En la figura anterior se pueden observar cuatro señales, la primera de ellas es la señal de sincronización (amarilla) y la siguiente es la señal de polaridad (celeste), estas son entradas para el circuito de control, mientras que las dos siguientes son salidas del microcontrolador, la tercera (violeta) es la señal que activa el impulso positivo y la cuarta (verde) es la señal que activa el impulso negativo.

Se debe observar el diagrama del circuito, para analizar los recursos que fueron utilizados del PIC, en la figura 3-25 (pág. 48) se aprecia el diagrama eléctrico de este módulo.

Los valores de las lecturas realizadas por medio del convertidor analógico-digital, a los voltajes que poseen los potenciómetros 1 y 3, corresponden a los tiempos que se aplican las señales de los impulsos positivo y negativo, respectivamente, estas señales se conectan en los canales analógicos 0 y 7.

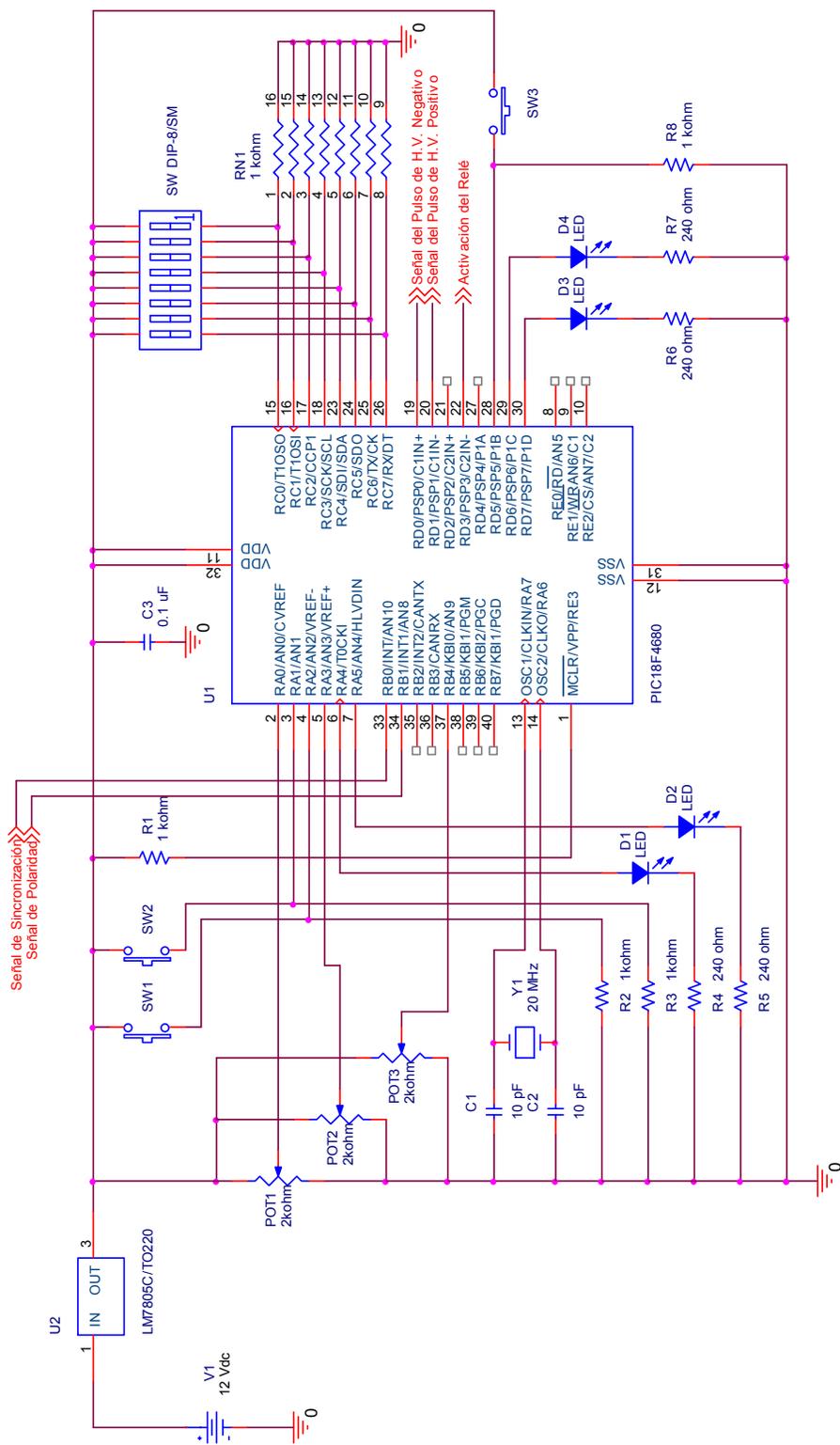


Figura 3-25: Circuito de control del sistema implementado.

El valor de la lectura del voltaje del potenciómetro 2 es el encargado de ubicar el ángulo de disparo, este dato se introduce por medio del canal analógico 3. El orden de los canales utilizados fue a conveniencia según el alambrado del circuito.

Para ingresar a la configuración de los datos analógicos se presiona el pulsador 1, de la misma forma, presionando este botón se saldrá de dicha aplicación, mientras se ejecute esta, un indicador luminoso se lo hará saber al usuario, este indicador será el "Led" 1.

La configuración de los datos digitales se realiza por medio de 8 interruptores en un paquete de doble línea y el pulsador 3. El ingreso a esta aplicación se realiza por medio del pulsador y será anunciada al usuario por la activación del "Led" 4, en este momento se podrá ingresar el valor que corresponde al tiempo de cada descarga, para esto se coloca el valor deseado en binario en los interruptores.

Los valores pueden estar en el rango de 0 a 255, para almacenar este dato se debe presionar de nuevo el pulsador 3, enseguida se pasará a introducir el siguiente valor, este corresponde al tiempo de reposo, el proceso es el mismo al dato anterior con la diferencia de que en este estado el "Led" 4 se apagará y el "Led" 3 se encenderá.

Para el último dato que corresponde al número de repeticiones, todo el proceso es igual y se anunciará al usuario de este estado manteniendo encendidos los "Leds" 3 y 4. Inmediatamente que se presiona el pulsador 3 para guardar el valor de las repeticiones, el sistema abandona la aplicación.

El último procedimiento por explicar es el acondicionamiento, a este se ingresa presionando el pulsador 2, a partir de esta acción se encenderá el "Led" 1 anunciando al usuario que el proceso está pronto a iniciar.

Posteriormente se encenderá el "Led" 2, esta señal indica que no se debe tocar el GDT debido al riesgo de sufrir una descarga eléctrica, para ampliar este tema se puede recurrir la sección 3.2.5.

En el diseño del circuito de control, la utilización del microcontrolador se puede justificar con las siguientes razones:

- La cantidad de patillas, por motivo de la cantidad de señales que fueron explicadas, además, por ser este un prototipo se debe tomar en cuenta la posibilidad de una futura expansión.
- Su espacio de memoria, esta da oportunidad de realizar cualquier cambio en el programa sin tener que limitar nuevas funciones que se quieran agregar al sistema.
- Su velocidad de trabajo, permitiendo una mejor respuesta en el momento de generar y capturar señales.

### **3.2.5 Seguridad en el uso del prototipo.**

Luego de haberse descrito los módulos que conforman el prototipo se debe mencionar las precauciones y cuidados que debe tener la persona que opere este sistema. En esta sección se mencionan las consideraciones tomadas para evitar accidentes durante el desarrollo del proyecto.

Primero se deben identificar los puntos de riesgos en el prototipo, estos son aquellos dispositivos o circuitos que manejan corrientes o tensiones peligrosas para los seres humanos.

Entre los puntos de riesgo se pueden mencionar.

- Circuito generador de impulsos. Este circuito maneja una corriente de 3 A que circula a través de la bobina.
- Circuito de potencia. Maneja tensiones de 120V hasta 480 V y corrientes de 100 mA hasta 5 A, todos estos valores son utilizados en el proceso de acondicionamiento.
- Relés de mercurio. Son los encargados de conectar y desconectar la fuente de alimentación, con una tensión de 120 V hasta 480 V.

- Bobina de automóvil. El devanado primario maneja una corriente de 3 A y en el devanado secundario se puede producir una tensión hasta de 26000 V.
- Resistencias. Deben soportar corrientes hasta de 5 A y tensiones de 120 V a 480V.

Luego de definir los puntos de riesgo en este prototipo, se mencionan las lesiones que puede sufrir una persona de someterse a una descarga en cualquiera de estos puntos.

Dichas lesiones pueden ir desde contracciones musculares, aumento de la presión sanguínea, dificultades de respiración, quemaduras, parada temporal del corazón, asfixia y fibrilación ventricular (Principal causa de muerte por una descarga eléctrica).

El grado de la lesión dependerá de los siguientes aspectos: la tensión, la frecuencia, la duración del paso de la corriente, la temperatura, el grado de humedad de la piel, la superficie de contacto, la presión de contacto, la dureza de la epidermis, entre otros.

Para el caso de este proyecto recibir una descarga en los relés de mercurio a una tensión de 480 V, una frecuencia de 60 Hz y un área de contacto de 50 mm<sup>2</sup>, donde la corriente fluya de una mano a la otra, se tiene un riesgo de sufrir una fibrilación ventricular en un 50%, con una descarga 0.5 s.

Bajo las mismas condiciones del supuesto anterior con una tensión de 120 V, el riesgo de sufrir una fibrilación ventricular es de 5%, sometiéndose a una descarga de 1 s.

De sufrirse un choque eléctrico en el circuito de potencia o en las resistencias con una corriente de 100 mA, donde el flujo de corriente sea de mano a mano y el área de contacto de 50 mm<sup>2</sup>, se corre el riesgo de sufrir una fibrilación ventricular en un 50%, siempre que la exposición sea mayor a 2 s.

Para los casos de 1 A, 3 A y 5 A, en las mismas condiciones que el ejemplo anterior, el riesgo de sufrir una fibrilación ventricular en un 50%, va a depender de una exposición menor a los 50 ms.

Con respecto a la fuente generadora del impulso, se tiene un voltaje de 26000V, sin embargo, la corriente máxima que puede suministrar es de 1.5 mA, esta corriente no representaría ningún riesgo para la salud de una persona, sin embargo, una descarga a esta tensión puede producir un dolor intenso en la zona donde se reciba.

Como medidas de seguridad para evitar descargas peligrosas al personal, se generan dentro del circuito de control, dos señales luminosas encargadas de informar al usuario del estado del proceso de acondicionamiento.

Otras de las acciones que se realizaron para evitar accidentes en la ejecución de este proyecto son:

- Utilización de componentes electrónicos, cuyos valores de potencia fueron sobredimensionados en un 20%. Esto con el fin de evitar el calentamiento o explosión de los mismos.
- Utilización de cable y dispositivos capaces de soportar altas tensiones en los circuitos donde fuera necesario.
- Colocación de aislante termo-reductor en los nodos donde se manejó una tensión superior a los 120 V.
- Colocación de rótulos de prevención en aquellos lugares donde se manejara una corriente o tensión peligrosa.
- Colocación de señales luminosas que advierten al usuario, cuando el sistema está en marcha.

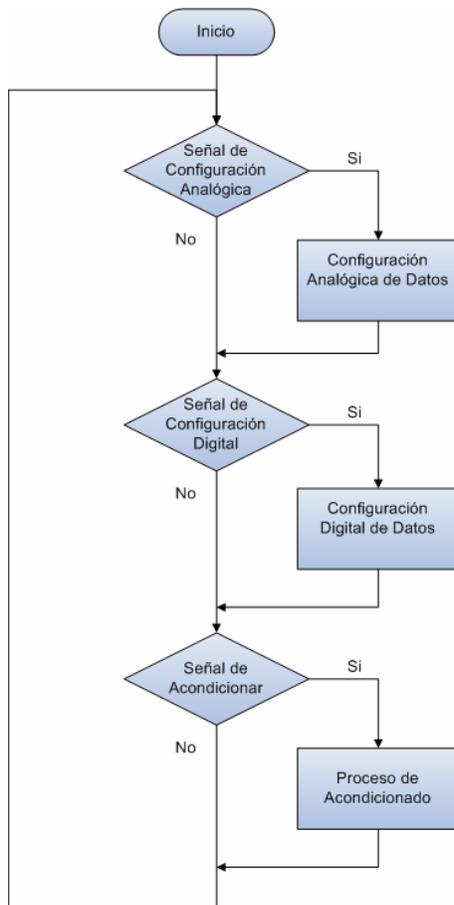
Con respecto a las precauciones en el manejo del prototipo se capacitó en la empresa a las personas encargadas de utilizar el sistema, además de elaborar un manual de usuario.

### 3.3 Descripción del software

En esta sección se explica el funcionamiento del programa que se utiliza para manejar el circuito de control, este fue elaborado utilizando el lenguaje de programación PIC-C.

Para iniciar se explicará el funcionamiento general del programa, este se conforma de un menú principal en donde se encuentran tres rutinas, estas son: ingreso de los datos analógicos, ingreso de los datos digitales y la rutina encargada del proceso de acondicionamiento.

En la figura 3-26, se puede ver el diagrama de flujo del menú principal, esta parte del programa espera que el usuario genere la señal de ingreso a alguna de las rutinas mencionadas, luego de terminar con la rutina elegida, el programa retorna al menú principal.



**Figura 3-26:** Diagrama de flujo del menú general del microcontrolador

Para continuar, se explicará la configuración analógica de datos. Esta parte del programa utiliza el convertidor analógico-digital (ADC) que tiene el PIC, el cual tiene una resolución de 10 bits, lo que permite capturar valores entre 0 y 1023 dentro de una variable. En la figura 3-27 se puede ver el diagrama de flujo de esta rutina.

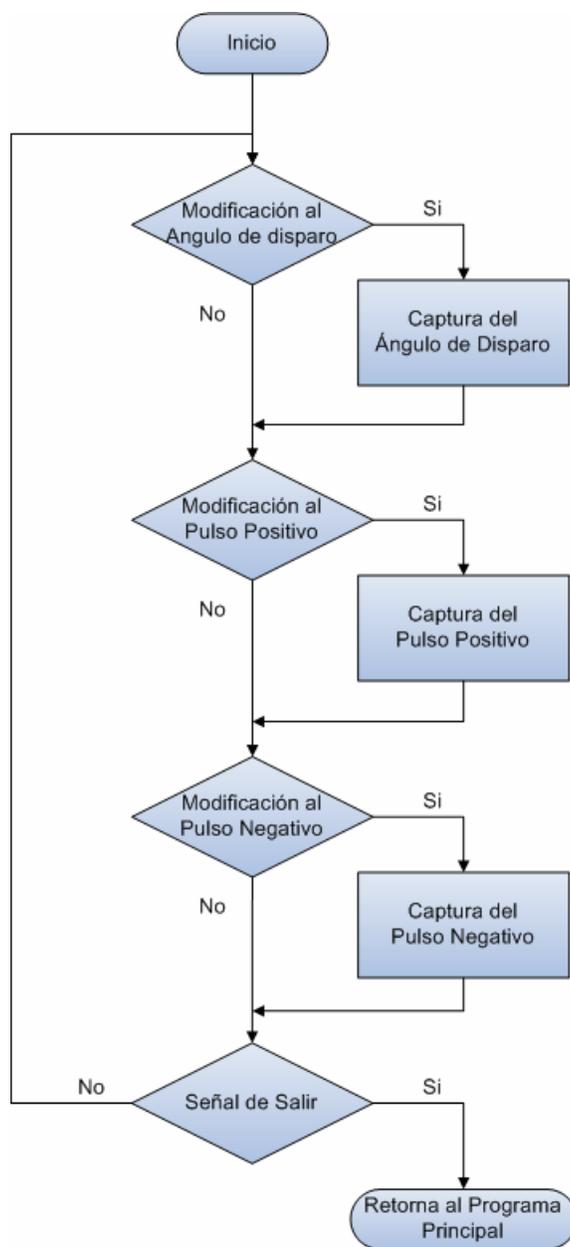


Figura 3-27: Diagrama de flujo de la configuración analógica.

La configuración analógica tiene como primer paso activar uno a uno los canales analógicos que se utilizan del PIC, cuando se activa cada canal se toma una lectura del voltaje que se encuentra en el nodo conectado a cada uno de los potenciómetros, este voltaje se almacena dentro de una variable.

De esta manera, la variable almacenada se utiliza dentro de la rutina de la interrupción externa para generar un retardo, este lapso en que se mantiene activa la señal de control para generar el impulso puede ser de 1  $\mu$ s a 1023  $\mu$ s, con esto se controla el voltaje pico máximo del impulso de tensión.

Para el caso del ángulo de disparo se necesita un retardo que pueda generar los impulsos de tensión en cualquier valor dentro de los 180° grados de cada semiciclo.

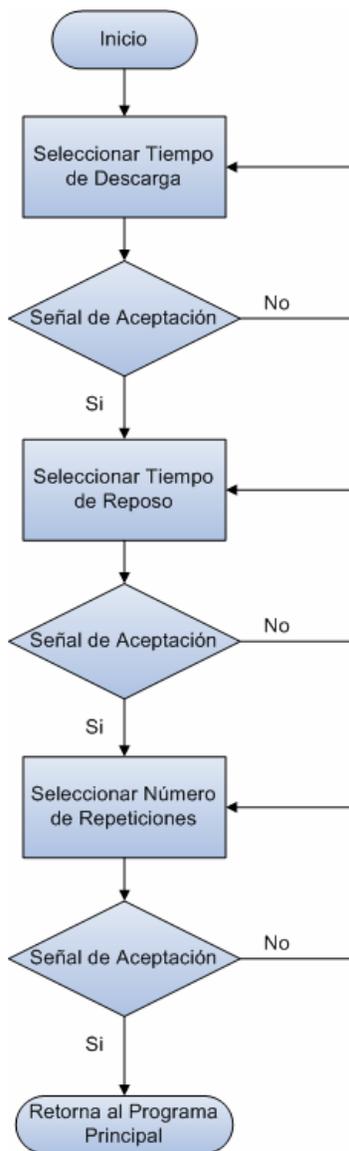
Por esto se multiplica por 10 la variable obtenida del convertidor, con lo que el rango generado es de 10  $\mu$ s a 10.23 ms, este valor supera los 8,333 ms que tiene cada semiciclo del voltaje de alimentación.

Este retardo se aplica dentro de la misma interrupción justamente antes de que se generen las señales de control para los impulsos.

Para continuar se explicará la rutina de configuración digital de datos, esta rutina es la encargada de incorporar los datos que corresponden al tiempo de descarga, el tiempo de reposo y el número de repeticiones. Para ilustrar esta rutina se puede observar la figura 3-28 (pág. 56).

Como se ilustra en la figura 3-28, el programa espera a que se coloque la cantidad deseada como un valor binario de 8 bits en los interruptores en el paquete de doble línea, luego cuando se presiona el pulsador y se captura el dato, este se guarda en una variable. Se realiza el mismo proceso con los tres datos requeridos, cuando se termina la captura del último dato la rutina finaliza regresando al menú principal.

En la captura de la información se utiliza el puerto C del microcontrolador, este permite que el valor máximo para cada dato sea de 255, sin embargo, este valor está sobredimensionado debido a que el tiempo máximo en el proceso de acondicionamiento actual es de 15 segundos, es importante mencionar que los valores ingresados en esta rutina están dados en segundos.



**Figura 3-28:** Diagrama de flujo de la configuración digital

Ahora, se explicará el funcionamiento de la rutina encargada de acondicionar los GDT, esta se ilustra en la figura 3-29 (pág. 57).

El proceso inicia con la activación de las luces indicadoras, estas informan cuando el proceso está a punto de iniciar y cuando es peligroso tocar el GDT.

Luego se deben activar las interrupciones del temporizador y la externa, que son utilizadas en esta rutina.

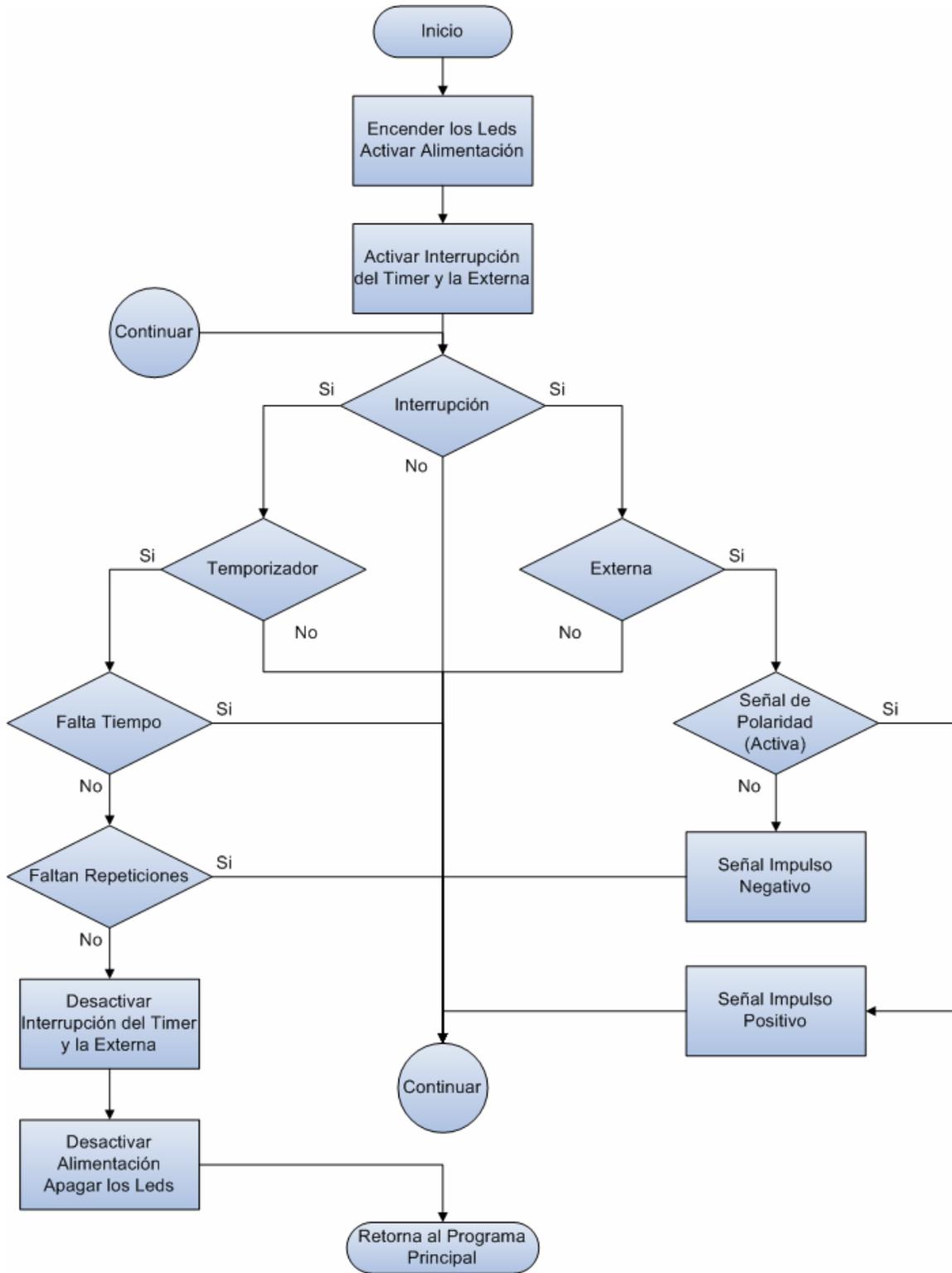


Figura 3-29: Diagrama de flujo del proceso de acondicionado.

A partir de este momento el microcontrolador espera a que se active la bandera de la interrupción externa, cuando sucede esto, se recupera la información de las variables, en donde se guardaron los retardos tanto del ángulo de disparo como del ancho de las señales de control del impulso, además se debe evaluar en que semiciclo se encuentra la señal de la fuente de voltaje A.C.

Con toda esta información el PIC evalúa cuál impulso debe generar ya sea el positivo o el negativo, además de la duración de este y el momento exacto donde lo debe realizar.

Por terminada la rutina de la interrupción externa, el programa regresa a esperar una nueva interrupción, esta situación cambia cuando la bandera de la interrupción del temporizador se genera.

La rutina del temporizador tiene como función generar una bandera de interrupción cada 1 s, con la aparición de esta señal, el PIC debe recuperar los datos almacenados en las variables del tiempo de descarga, tiempo de reposo y repeticiones, con esta información se toman las siguientes decisiones:

- La descarga debe continuar.
- La descarga debe finalizar.
- El reposo debe continuar.
- El reposo debe terminar.
- Realizar otra exposición

Cuando el programa se asegura de haber terminado el acondicionamiento este debe desactivar las interrupciones del temporizador y la externa, para luego desactivar las señales de prevención que son representadas por los "Leds".

Para concluir con el proceso de acondicionamiento el programa retorna al menú principal.

## **Capítulo 4 Análisis de resultados**

En este apartado se presenta, la información más relevante obtenida de las pruebas, en donde se compara el rendimiento del sistema actual con el del sistema implementado.

Esta información en su mayoría, se presenta por medio de gráficas realizadas por el departamento de manufactura, en donde se observa el comportamiento de las pruebas.

Se comentará en detalle los resultados obtenidos y los logros que se alcanzaron con el nuevo sistema de acondicionado, además, se analizarán aspectos que influyeron en las mejoras del sistema.

### **4.1 Resultados**

En las pruebas realizadas se variaron algunas características del sistema como son: el voltaje de alimentación, el tiempo de exposición y el tiempo de reposo, estas variaciones se enfocaron en mejorar los resultados.

Para realizar las pruebas se eligieron muestras de 30 tubos de gas, los cuales todos eran del mismo lote de fabricación, lo que garantiza que estos fueron ensamblados el mismo día, y se colocaron en el mismo proceso de horneado, esto garantiza que los dispositivos poseen la misma mezcla de gases.

Estos tubos tienen un voltaje de ruptura de 600 V, sus dimensiones son: 8 mm de diámetro y 6 mm de altura, su límite de corriente es de 20 kA, y es denominado 2027.

Para iniciar con las pruebas y tener un punto de referencia claro, se eligió una muestra y se sometió al sistema actual, en donde se aplicó la secuencia de acondicionado que describe la tabla 1-2 (pág. 14) para este tipo de GDT.

En la tabla 4-1 se puede apreciar los valores obtenidos para este grupo de piezas.

**Tabla 4-1:** Tabla de datos de las pruebas de lote sobre la muestra de control

P/N:	IR	Voltaje de Ruptura (DCBD)					
		+	+	+	-	-	-
1	4G	591	589	591	590	576	578
2	4G	603	614	611	597	603	603
3	4G	562	560	561	550	562	562
4	4G	552	552	552	540	542	542
5	4G	528	529	528	529	543	541
6	4G	583	580	578	581	579	579
7	4G	579	575	575	575	565	564
8	4G	562	562	564	579	591	591
9	3G	574	571	569	583	575	576
10	4G	604	604	603	595	593	598
11	4G	583	583	580	576	568	571
12	4G	581	576	576	604	595	593
13	4G	564	563	563	570	563	560
14	4G	578	575	574	583	580	578
15	3G	546	544	544	550	549	559
16	3G	562	559	557	565	551	549
17	4G	574	571	568	582	578	578
18	3G	556	556	555	548	545	550
19	3G	598	591	588	598	589	586
20	2G	575	573	572	582	578	591
21	5G	581	576	579	576	571	571
22	4G	547	545	546	561	562	560
23	3G	546	542	542	559	554	556
24	4G	562	558	554	556	558	562
25	3G	570	570	573	576	580	580
26	4G	622	620	620	605	606	610
27	3G	580	578	577	572	569	566
28	4G	590	587	587	594	586	582
29	4G	549	548	549	566	562	561
30	4G	564	562	561	591	583	585

Los valores que se aprecian en la tabla 4-1, son valores que se obtienen del proceso de pruebas de lote, este proceso realiza siete mediciones diferentes a cada uno de los GDT, la primera medición es la resistencia de aislamiento (IR ó Insulation Resistance).

Luego del valor de IR, se realizan seis mediciones, en donde se obtienen tres valores máximos y tres valores mínimos que se presentan durante este proceso, si una pieza está dentro de los límites del voltaje de ruptura en cuatro de las mediciones realizadas, esta pieza puede ser vendida.

El equipo utilizado para realizar este tipo de mediciones es un sistema verificador, el cual fue diseñado dentro de la empresa para poder garantizar que los GDT que se fabriquen cumplan con los datos que se proporcionan en las hojas de datos.

El funcionamiento básico del sistema verificador es generar una rampa de voltaje, la cual tiene como característica una pendiente de  $100 \text{ V}/\mu\text{s}$  ó  $1000 \text{ V}/\mu\text{s}$ , cuando el tubo de gas que se somete a prueba llega a conducir, se guarda este dato como la tensión de ruptura. Como elemento fundamental del verificador se tiene un convertidor CD-CD, el cual es el encargado de generar la rampa de voltaje.

Todo el proceso de verificación se puede observar en el monitor de una computadora en donde se ejecuta el programa que controla el sistema, esta aplicación fue generada en el lenguaje de programación “LabView”, lo que permite visualizar los resultados en tiempo real mientras estos son obtenidos y enviados por este sistema.

El departamento de manufactura se encarga de realizar un reporte en donde se observa el comportamiento de las piezas que fueron verificadas, en la figura 4-1 (pág. 62), se muestra una gráfica realizada en el programa “MiniTab”, este programa se utiliza para realizar análisis estadísticos.

Estas gráficas son una predicción del comportamiento de un sistema, si con este se elaboraran 1 millón de GDT, sin embargo, la muestra que se utiliza para realizar estas predicciones es de 30 dispositivos.

Antes de mostrar los resultados de las pruebas con el sistema implementado, se debe mencionar que la forma en que se analizará la información es comparando el comportamiento del sistema actual con el implementado.

A partir de esto si el sistema implementado supera en rendimiento al vigente, la empresa en un futuro podrá realizar el cambio de sistemas sin alterar la calidad del producto.

Los valores ideales esperados trabajando con este dispositivo son los siguientes: la media simple de la muestra debe alcanzar los 600 V y no deben existir piezas fuera del rango de tolerancia que garantiza la empresa. Para este tipo de modelo la tolerancia del producto es de  $\pm 15\%$ .

Este margen tiene el límite inferior en 510 V y el superior en 690 V, por lo que cualquiera de los tubos con un valor de ruptura fuera de ese rango se debe extraer del lote.

En la gráfica 4-1, se observa como el valor de la media simple para la muestra de 30 piezas es 571.92 V, este valor se aleja en un 4.68 % del valor deseado de 600 V.

Campana de Gauss para la muestra ●

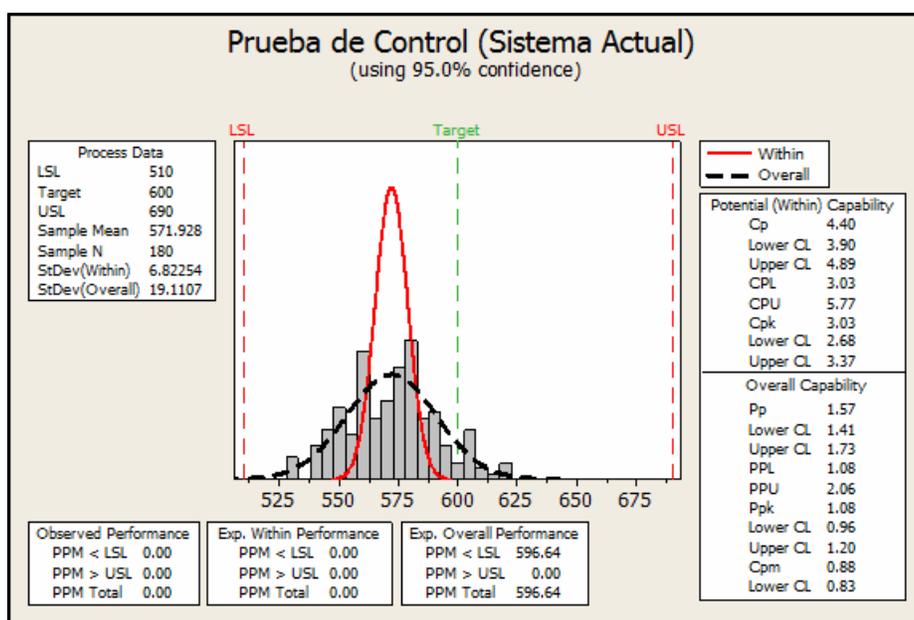


Figura 4-1: Análisis estadístico de la prueba de control.

Además, se puede observar la cantidad de piezas que saldrán defectuosas, de utilizarse este sistema para elaborar un millón de las mismas, para este caso, el dato que se obtuvo es de 596.64 piezas, esta cantidad corresponde a aquellas que tendrán un valor menor a los 510 V, esto corresponde a un 0.05% de la producción total.

No se debe olvidar que esta es una estadística basada en 30 piezas de un lote de 1000, por lo que esta, solo puede ser tomada como una guía. Para el caso de las piezas que saldrán por arriba de los 690 V la gráfica no estima ninguna.

Para el sistema implementado, la primera prueba realizada fue utilizando un voltaje de alimentación de 120 V, en la figura 4-2 se aprecia los resultados de una muestra de 30 piezas. A este grupo de piezas se le aplicó una corriente de 5 A, con una secuencia de acondicionado realizada de la siguiente manera: 1 s de exposición, 1 s de reposo y 1 s de exposición.

En la gráfica se puede observar que la media simple bajó en relación con la muestra de control, este valor fue de 541.9 V, alejándose del valor deseado para el producto en un 9.68 %, por otro lado, el análisis reflejó que después de fabricar un millón de piezas, 81912.01 de estas estarían por abajo del los 510 V, esto corresponde a un 8.19 % de la producción.

Campana de Gauss para la muestra ●

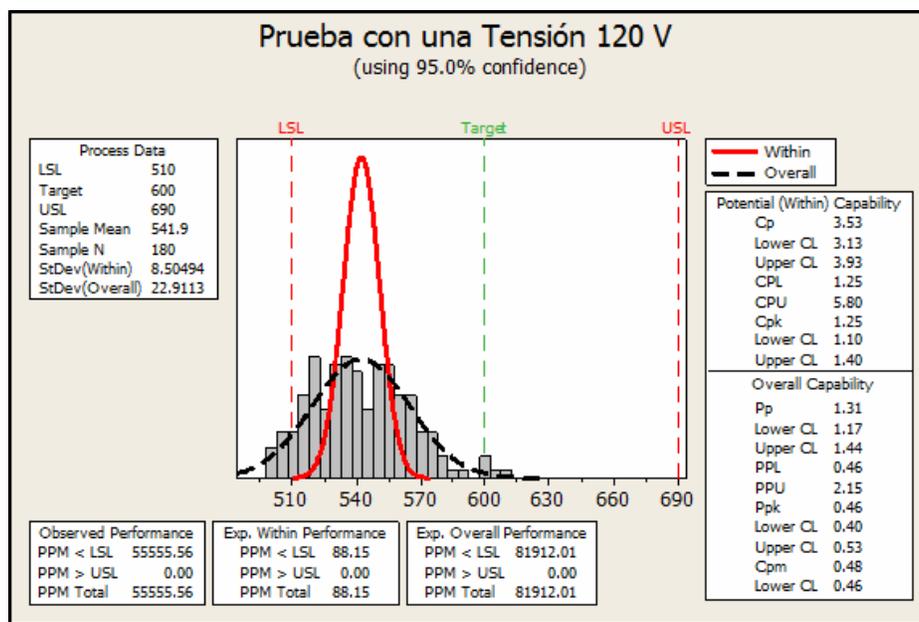


Figura 4-2: Análisis estadístico de la prueba con 120 V (1s, 1s, 1s).

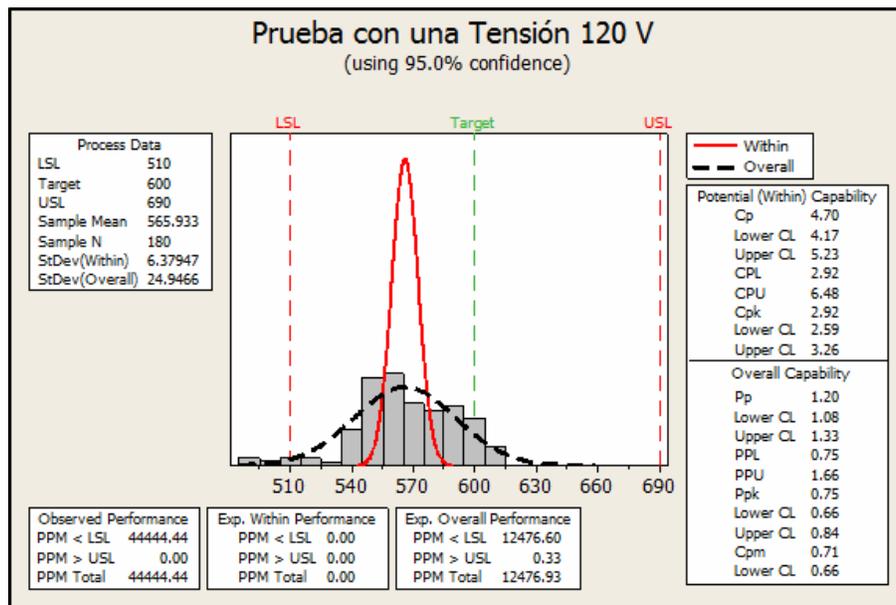
Tratando de mejorar los resultados obtenidos anteriormente se realiza una modificación en el tiempo de reposo y se aumenta este a 3 s, las demás condiciones se mantienen.

Es importante mencionar que el ángulo de disparo fue de 36°, para el proceso en que se utilizó un voltaje de alimentación de 120 V, este ángulo garantiza que el voltaje en la fuente es mayor de 100 V, esta fue una recomendación del departamento de fabricación, según este activar el tubo de gas después de ese voltaje aporta beneficios al acondicionado.

El la figura 4-3, se aprecian los resultados de los cambios en el sistema. Como se observa en esta figura, las modificaciones realizadas incrementaron el valor de la media simple de esta muestra, el dato registrado fue de 565.93 V, superando la prueba realizada con un tiempo de reposo de 1 s.

La media simple se alejó un 5.76 % de los 600 V, sin embargo, existe una diferencia de 0.99% en relación a la muestra de control, otro aspecto fue la disminución considerable de la cantidad de piezas malas, estas corresponden a un 1.24 % de una producción de un millón.

Campana de Gauss para la muestra ●



**Figura 4-3:** Análisis estadístico de la prueba con 120 V (1s, 3s, 1s).

Debido a los resultados obtenidos, el departamento de fabricación sugirió aumentar el voltaje de alimentación a 240 V, este cambio se justifica debido al tiempo que le toma a la señal alcanzar los 100 V recomendados para activar el tubo, en el caso de la fuente de alimentación de 120 V se puede disparar el GDT después de los 36°.

Por otro lado, para una tensión de 240 V, se pueden activar los tubos de gas de los 17° en adelante, esto representa un incremento en el tiempo de exposición de 879  $\mu$ s, por cada semiciclo de la señal, o su equivalente a 211.1 ms en la secuencia de 5 A y 1.58 s en la secuencia de 100 mA.

La primera prueba realizada con el voltaje de alimentación de 240 V fue con una secuencia de 1s de exposición, 1 s de reposo y 1 s de exposición nuevamente, en la figura 4-4 se muestran los resultados obtenidos. Estas pruebas se realizaron con un ángulo de disparo de 20°.

Como se aprecia en la gráfica el valor de la media simple es de 557.53 V, esto corresponde a un 7.07 % desviado de los 600 V y un 2.39 % de la media simple de la muestra de control. También se puede ver que la cantidad de piezas fuera del rango de  $\pm$  15 % ascendió a las 32474.68, esto corresponde a un 3.24% de la producción mensual que se fabrica actualmente.

Campana de Gauss para la muestra ●

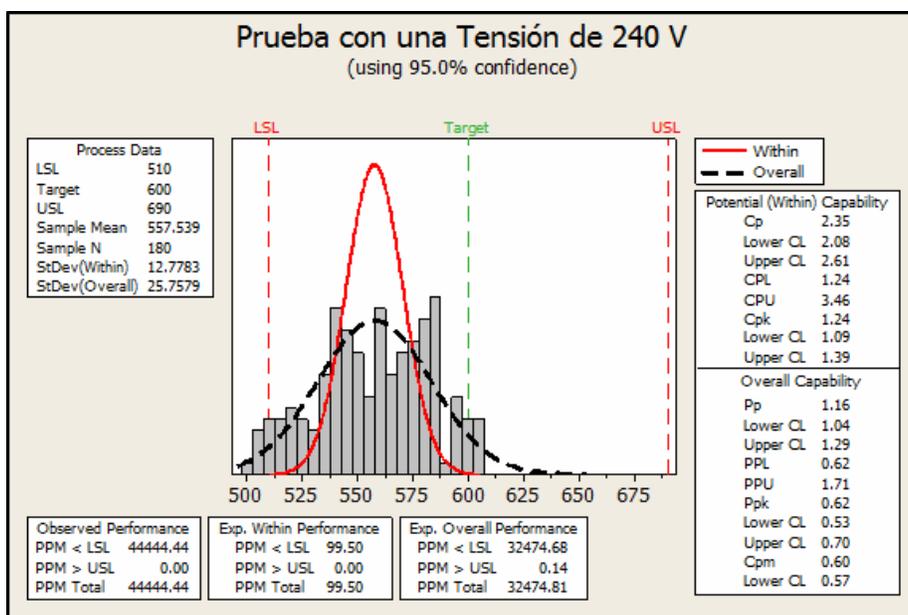


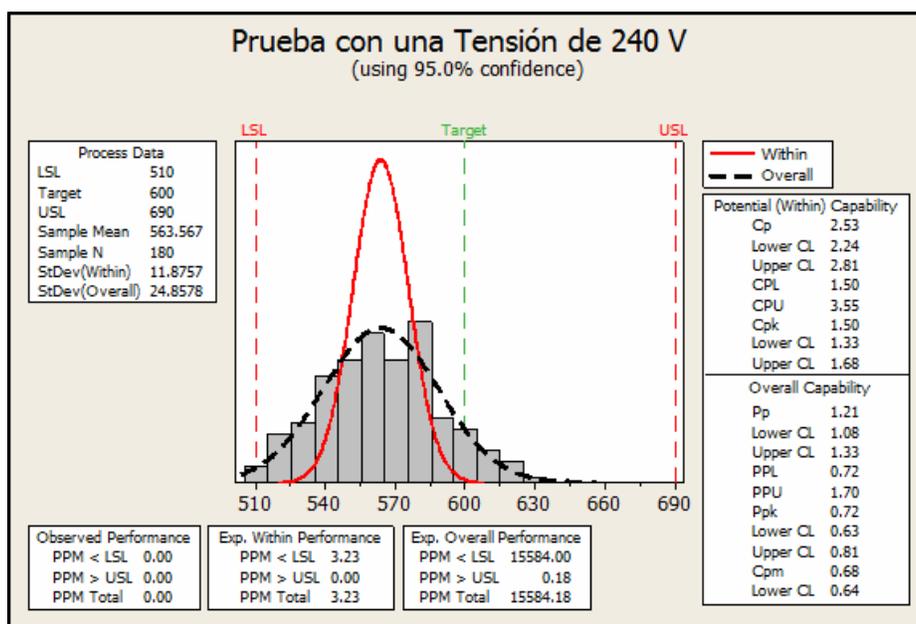
Figura 4-4. Análisis estadístico de la prueba con 240 V (1s, 1s, 1s).

Luego se realizó otra prueba con el voltaje de 240 V, aumentando el periodo de reposo a 3 s, con esto se quería mejorar el rendimiento del sistema.

En la figura 4-5, se observa un incremento del valor de la media simple en un 1 % en relación con la prueba anterior, llegando a los 563.56 V, además, una disminución en la cantidad de piezas bajas, llegando a un 1.55 % lo que equivale a 15584 en un millón de GDT.

Para este caso, se incrementó el valor de la media simple, sin embargo, se tiene una diferencia de 1.39 % con respecto a los valores obtenidos en la muestra de control.

Campana de Gauss para la muestra ●



**Figura 4-5:** Análisis estadístico de la prueba con 240 V (1s, 3s, 1s).

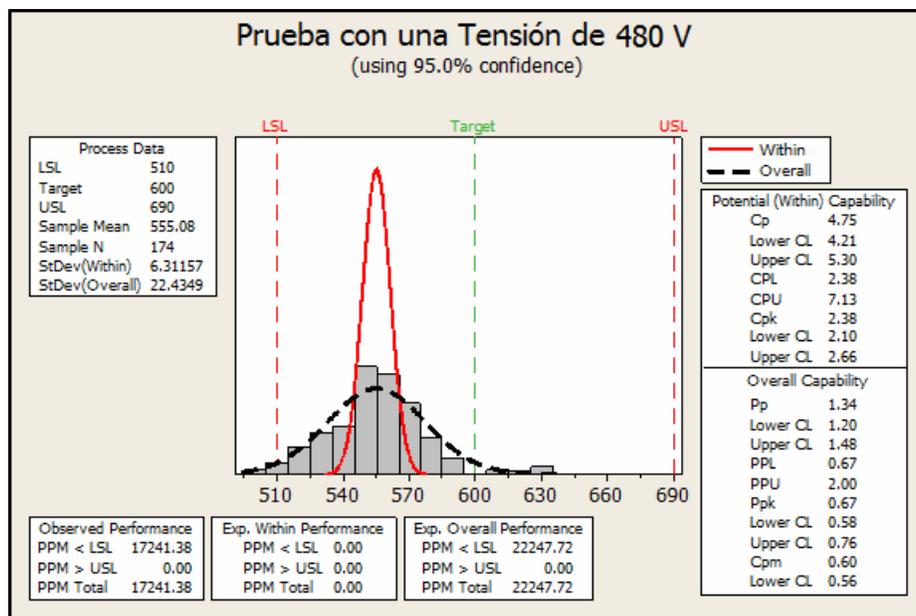
Como siguiente paso, se procede a aumentar el voltaje de alimentación a 480 V, nuevamente por recomendación del departamento de fabricación, la justificación para este cambio es igual que la última vez, en donde ahora se puede disparar el GDT a partir de los 8.5° en adelante, aumentando el tiempo de acondicionado para la secuencia de 5 A en 94 ms y en 705.6 ms para la secuencia de 100 mA.

En la primera de las pruebas con esta tensión, se utilizó una secuencia de 1 s de exposición, con 1 s de reposo y de nuevo 1 s de exposición, estas pruebas se realizaron con un ángulo de disparo de 20°, este valor se mantuvo constante para observar el efecto del aumento de tensión de la fuente, y los resultados se pueden ver en la figura 4-6.

Como se observa en la figura, las modificaciones generaron un valor de media simple de 555.08 V, este valor se aleja del valor ideal en un 7.48 %, de esta manera no se alcanza el resultado de la prueba de control.

Con respecto a la perdida de piezas debido al voltaje de ruptura por debajo de los 510 V se calcularon 22247.22, esto corresponde a un 2.22 % de la producción de un mes en la empresa.

Campana de Gauss para la muestra ●



**Figura 4-6:** Análisis estadístico de la prueba con 480 V (1s, 1s, 1s).

Con los resultados anteriores, se trabajó una muestra sometiénola a una secuencia de acondicionado en la cual nuevamente se aumentó el lapso de reposo, este valor se colocó en 3 s, puesto a que en los casos anteriores el proceso disminuyó la cantidad de piezas bajas cuando se realizó esta variante, por lo que en la figura 4-7 (pág. 68), se muestran los resultado de dicha prueba.

En la gráfica 4-7, se observan los resultados de esta prueba, en donde se obtuvo un valor de media simple de 579.59 V, este valor se desvía de los 600 V deseados en un 3.4 %, superando el valor de la muestra de control.

También es importante observar que el porcentaje de piezas bajo el límite de los 510 V fue tan solo de un 0,1 %, luego de producir un millón de piezas, este porcentaje es aceptado por el departamento de manufactura.

Campana de Gauss para la muestra ●

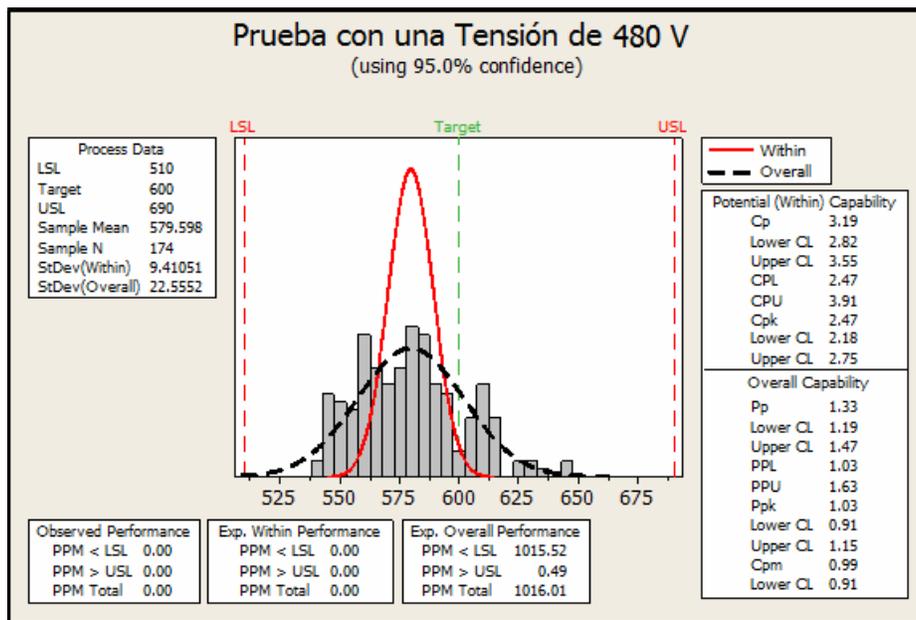


Figura 4-7: Análisis estadístico de la prueba con 480 V (1s, 3s, 1s).

Como última prueba, se realizó una variación más al sistema, en la cual se modificó el tiempo de descarga para la secuencia de 5 A, este lapso se aumento a 2 s, dejando el tiempo de reposo en 3 s, los resultados obtenidos se pueden ver en la figura 4-8 (pág. 69).

Los resultados de esta prueba, mostraron que la media simple fue de 525.88 V, esto se desvía de los 600 V en un 12.35 % y además las cantidad de piezas resultantes con un voltaje de ruptura por debajo de los 510 V sufrió un aumento desmedido, llegando la proyección a dar 304135.29 piezas, este cantidad correspondería a un 30.4 % de la producción mensual de la empresa.

Campana de Gauss para la muestra ●

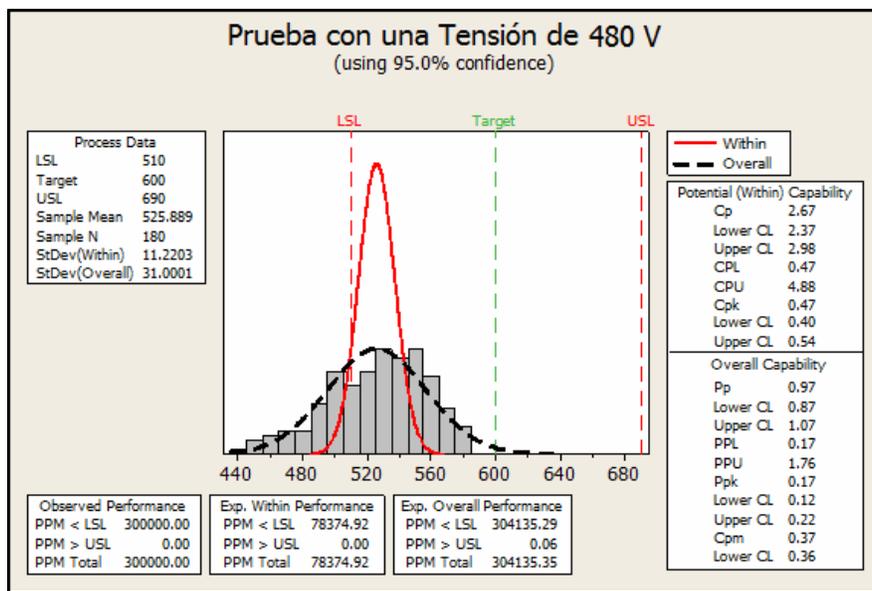


Figura 4-8: Análisis estadístico de la prueba con 480 V (2s, 3s, 2s).

Debido a que la empresa facilitó el modelo de GDT 2027 para la realización de las pruebas, no se realizaron pruebas con el modelo denominado 2038, este es un GDT de 5 mm de diámetro con 7.2 mm de altura, este tubo posee un voltaje de ruptura de 1100V, su secuencia de acondicionado se puede observar en la tabla 1-2 (pág. 14).

A modo de demostración se realizó el acondicionamiento a cinco piezas de este modelo para garantizar que el sistema puede activar GDT con voltajes de ruptura aún mayores, en la figura 4-9 y 4-10 (pág. 70).

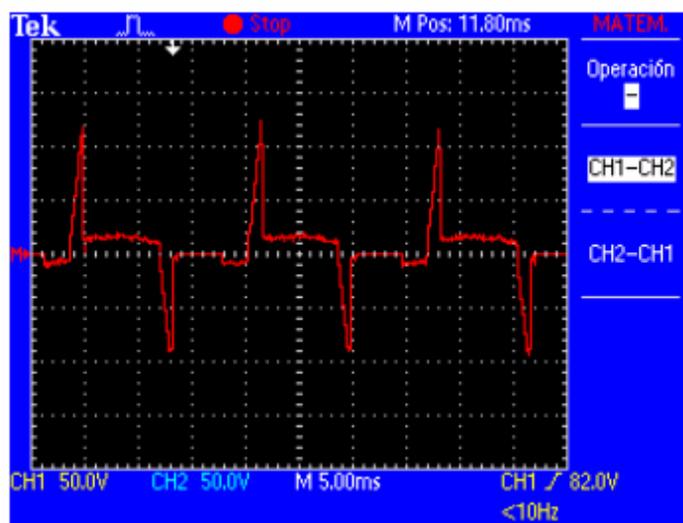
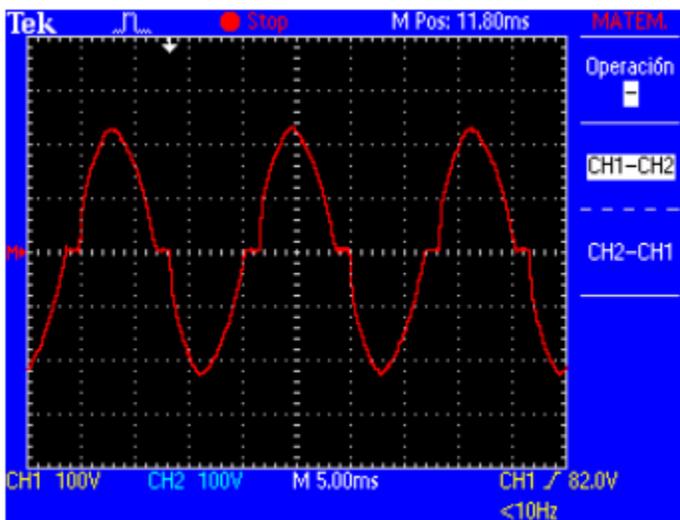


Figura 4-9: Señal de voltaje de un GDT 2038 acondicionando a 1 A.



**Figura 4-10:** Señal de voltaje en la resistencia acondicionando a 1 A.

En la tabla 4-2, se muestra los valores de las mediciones hechas al circuito de potencia para corroborar la capacidad del sistema de activar futuros dispositivos con mayor voltaje de ruptura.

**Tabla 4-2:** Tabla de voltajes medidos en diferentes puntos del circuito de potencia.

Voltaje de Alimentación (V)	Voltaje Pico de Alimentación (V)	Voltaje Pico del Impulso sin Carga (V)	Voltaje Pico en la Base del GDT (V)	Voltaje Pico Regulado en la Base del GDT (V)
120	170	9000	2400	2250
240	340	14000	2400	2180
480	680	20000	2400	2130

En la columna 2 de esta tabla, se colocaron los voltajes pico de las fuentes de alimentación que se utilizaron en este proyecto, en la siguiente columna se registra los voltajes pico del impulso que fueron necesarios para activar el GDT, estas mediciones se realizaron sin estar conectado el circuito generador de impulsos al de potencia.

Con el incremento del voltaje de alimentación fue necesario aumentar el voltaje del impulso, esto se debe a que la energía del impulso debe superar la de la fuente para lograr que el impulso alcance los extremos del GDT, además de esto debe superar el voltaje de ruptura del dispositivo.

En la columna 3 se aprecia el trabajo realizado por el circuito limitador de tensión, este fue diseñado para limitar el voltaje pico máximo del circuito de potencia a 2400 V.

En la columna 4, se observan los voltajes que puede alcanzar el sistema, garantizando que se activará cualquier GDT con un voltaje de disparo que se encuentre por debajo de ese valor, es importante resaltar que todos estos valores están dentro del rango de  $2200 \pm 5 \%$ .

## 4.2 Análisis

En esta sección se analizarán en detalle los resultados y logros que se alcanzaron con el nuevo sistema de acondicionamiento, además de aspectos que influyeron en las mejoras del sistema.

Para el análisis de los resultados, se utilizó como punto de comparación el rendimiento del sistema actual, para evaluar el nuevo sistema de acondicionado. Si se obtiene el mismo desempeño por parte de ambos sistemas, en un futuro se podría reemplazar el sistema vigente.

En el proceso de acondicionado actual, el GDT 2027 con un voltaje de ruptura de 600 V, se acondiciona de acuerdo a la información que se presenta en la tabla 1-2 (pág. 14). A lo largo de este proyecto se respetó el protocolo usado para acondicionar este tipo de GDT, sin embargo, se realizaron modificaciones a la secuencia de acondicionado que aplica una corriente de 5 A, con el fin de mejorar la efectividad del sistema.

**Tabla 4-3:** Tabla comparativa de resultados de las pruebas.

Voltaje de Alimentación (V)	Secuencia	Parámetro				
		Media Simple (V)	$\Delta$ Control (%)	$\Delta$ Ideal (%)	Piezas Malas	Costo (\$)
<b>Control</b>	1s-3s-1s	571.92	---	4.68	596.64	150
<b>120</b>	1s-1s-1s	541.9	5	9.68	81912.01	20478
	1s-3s-1s	565.93	1.08	5.76	12476.6	3119
<b>240</b>	1s-1s-1s	557.53	2.39	7.07	32474	8118
	1s-3s-1s	563.56	1.46	6.07	15584	3896
<b>480</b>	1s-1s-1s	555.08	2.8	7.48	22247.22	5560
	1s-3s-1s	579.59	1.28	3.4	1016.1	245
	2s-3s-2s	525.88	8.05	12.35	304135.29	76033

Con respecto al sistema alimentado con una tensión de 120 V, se pueden comparar las dos pruebas realizadas en ese voltaje. Es importante ver las condiciones que se variaron de una prueba a otra y analizar su influencia en los resultados.

Utilizando la secuencia que tiene 1 s de reposo, la media simple de la muestra fue de 541.9 V, este valor se alejó de la muestra de control en un 5 % y del valor deseado de 600 V en un 9.68 %.

Para la prueba con un lapso de reposo de 3 s, se observa un incremento en el valor de la media de 3.92 % con respecto a la prueba anterior, este valor fue de 565.93 V y sufrió una desviación con respecto a la muestra de control en 1.08 %, esto equivale a una diferencia de un 5.76 % con respecto al valor ideal del producto.

Ahora se examinarán los resultados tomando en cuenta la cantidad de piezas que terminan con un voltaje de ruptura fuera de la tolerancia del producto. Para el caso de la muestra de control se obtuvieron 596.64 piezas bajo el límite de los 510 V, por lo que su porcentaje es 0,05 %.

Para la prueba con 1 s de reposo la cantidad de piezas bajo el límite fue de 81912.01, esto corresponde a un 8.19 % de la producción mensual, para el caso de la prueba con un periodo de reposo de 3 s se obtuvieron 12476.60 esto corresponde a 1.24 %.

Comparando estos sistemas desde el punto de vista económico, el sistema actual puede llegar a producir 596.64 piezas defectuosas, esto significa una pérdida de 150 dólares por mes para la empresa. (La producción mensual de la compañía por mes es aproximadamente un millón de piezas).

Para el caso de la muestra con tiempo de reposo de 1 s, esta cantidad ascendió hasta los 20478 dólares. Para la muestra con un lapso de 3 s, las pérdidas mensuales serían de 3119 dólares de utilizarse esta configuración.

Con lo observado en las pruebas anteriores, se debe señalar que aumentar el lapso de espera entre una exposición y otra, disminuyó la cantidad de piezas con un voltaje de ruptura bajo, además se aumento el valor de la media simple de la muestra, sin embargo, el rendimiento de este sistema no superó los resultados obtenidos en la muestra de control.

Para el caso en que se utilizó un voltaje de alimentación de 240 V; en la primera prueba realizada, se acondicionó con un lapso de 1 s de reposo, en donde, se obtuvo que la media simple fue de 557.53 V, este valor se alejó de los 600 V en un 7.07 % y de la muestra de control en un 2.39 %.

La cantidad de piezas por debajo de los 510 V fue de 32474.68, esto representa un 3.24 % de la producción mensual.

Comparando esta prueba con la realizada en las mismas condiciones utilizando 120 V como alimentación, se puede ver que el aumento del voltaje, permite tener una media simple más cerca del valor deseado.

El desvío entre las medias de ambos sistemas fue de 2.61 % a favor del sistema utilizando 240 V, por otro lado, el sistema a 120 V produjo una cantidad mayor de piezas fuera del rango permitido que el sistema a 240 V, esta diferencia fue de 49437.33 piezas o un 4.94 %.

En la prueba en donde se configuró un tiempo de reposo de 3 s, la media simple de la muestra fue de 563.56 V, esto representa una diferencia de 6.07 %, con respecto a los 600 V. También el análisis estadístico proporcionó que la cantidad de piezas con un bajo voltaje de ruptura, puede ser de 15584.

Comparando estos resultados con la prueba anterior, se observa un acercamiento al voltaje de ruptura deseado de 1 % con respecto a la secuencia que tiene 1 s de reposo, para el caso de las piezas que deberían desecharse se obtuvo una disminución de 1.69 % o 16890.68 piezas. Por lo que se redujo en un 52 % la cantidad de producto defectuoso.

Ahora se comparará, esta muestra con la que se realizó en las mismas condiciones en el sistema a 120 V, con respecto al valor de la media simple se puede decir que existe una diferencia de 0.31 %; para la cantidad de piezas por debajo de los 510 V, se aprecia una diferencia de 0.31 %.

Ambas diferencias a favor del sistema con alimentación de 120 V. Acerca de estos resultados no se puede asegurar que una prueba supere a la otra debido a que estos porcentajes no son representativos.

Desde el punto de vista económico la primera configuración produciría pérdidas por 8118 dólares, para la segunda configuración las pérdidas serían de 3896 dólares mensuales. Ambos valores superan los 150 dólares que pueden gastarse con el sistema actual.

Posteriormente se realizó el aumento del voltaje de alimentación a 480 V, de igual manera se probó primero con la secuencia que tiene un tiempo de reposo de 1 s.

En esta prueba, la media simple de la muestra fue 555.08 V, este dato posee una diferencia de 7.48 % con respecto al valor ideal, además se alcanzó una cifra de 22247.22 piezas defectuosas. Si se compara con la muestra de control se obtiene una desviación de 2.8 % en la media simple y una diferencia en la cantidad de piezas por debajo del límite permitido de 2.17 %, esto equivale a 21650.58 piezas.

Si se compara con el sistema alimentado a 240 V y en las mismas condiciones, se obtiene una desigualdad en la media simple de 0.41 % a favor del sistema de 240 V. Por otro lado, si se comparan la cantidad de piezas bajo el límite se puede ver una diferencia de 1.02 % a favor del sistema con alimentación a 480 V, esto corresponde a 10227.46 piezas.

Para el caso en donde se dan 3 s de reposo el valor de la media simple que se obtuvo fue 579.59 V, este valor difiere del valor ideal del tubo en 3.4 %, además, se obtuvieron solamente 1016.1 piezas por debajo de los 510 V, esto corresponde a 0.1 % de la producción mensual.

Si se comparan estos datos con los valores obtenidos en la muestra de control, se puede ver un desvío de 1.28 % entre la media simple a favor de esta prueba, además se presenta una diferencia de 0,05 % en las piezas por debajo del nivel de ruptura aceptado a favor de la muestra de control, este valor corresponde a 419.46 piezas.

Comparando esta configuración con su similar utilizando un voltaje de alimentación de 240 V, se puede decir que, el aumento del voltaje generó una diferencia del 2.67 % en el valor de la media simple a favor del sistema a 480 V, además, en la cantidad de piezas con voltaje de ruptura bajo difiere en 1.45 % a favor de esta última configuración.

La última prueba realizada fue con una modificación en la secuencia de acondicionado con 2 s de exposición, 3 s de reposo y 2 s de exposición. En esta prueba la media simple fue 525.88 V, alejándose 12.35% de los 600 V.

Además la cantidad de piezas por debajo del límite se incrementó hasta los 304135.29, lo que sería un 30.4 % de la producción. Se puede observar que una mayor exposición a la corriente de 5 A, produce un decremento en el voltaje de ruptura.

Desde el aspecto económico la configuración con 1 s de reposo dejaría una pérdida de 5560 dólares por mes para la compañía, para la configuración con 3 s de reposo las pérdidas por mes serían de 254 dólares y para la última configuración realizada son de 76033 dólares.

El sistema por el que la empresa podría optar para reemplazar al actual, debe ser configurado con un voltaje de alimentación de 480 V, y una secuencia de acondicionado de 1 s de exposición, 3 s de reposo y 1 s de exposición.

Luego de toda la información analizada se puede ver que el sistema implementado podrá sustituir al actual, sin que se vea afectado el rendimiento de la producción de los GDT, configurándolo de manera adecuada.

## **Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones**

En esta sección del documento se presentan las conclusiones y las recomendaciones elaboradas a partir del análisis de los resultados.

### **5.1 Conclusiones**

- El sistema implementado activa el GDT con un impulso de tensión de  $2200\text{ V} \pm 5\%$ , cumpliendo con las regulaciones y los estándares que debe seguir la compañía.
- La técnica elegida para generar el impulso de tensión de  $2200\text{ V} \pm 5\%$  fue el corte de la corriente a través de una bobina de automóvil.
- El circuito de potencia realiza la conmutación entre un impulso de tensión de  $2200\text{ V} \pm 5\%$  y los  $480\text{ V}$  de la fuente de alimentación.
- El circuito de control sincroniza los módulos del sistema permitiendo acondicionar al GDT.
- El sistema implementado está en la capacidad de activar cualquier GDT que tenga voltaje de ruptura desde los  $75\text{ V}$  a los  $1100\text{ V}$ , cumpliendo con las regulaciones y los estándares que debe seguir la compañía.
- Aumentando el voltaje de alimentación del sistema implementado se puede obtener un decremento en el número de dispositivos defectuosos.
- El proceso acondicionado donde se utiliza una corriente de  $5\text{ A}$ , tiende a disminuir el voltaje de ruptura de los GDT.
- Un aumento en el tiempo de reposo en el proceso de acondicionado produce voltajes de ruptura más altos y menor número de dispositivos defectuosos.

## **5.2 Recomendaciones**

- Aislar todo lo que sea posible, el módulo de control de los efectos producidos por el ruido electromagnético, para garantizar un buen desempeño del microcontrolador.
- Tener presente la generación de arcos eléctricos en el módulo de potencia, a la hora de generar el circuito impreso se deben aislar y separar las pistas que estarán expuestas a las altas tensiones.
- Colocar dispositivos supresores de transientes, con el fin de evitar que el impulso de alta tensión llegue a la fuente de alimentación.
- Introducir todos los datos de forma digital, de esta manera se podrán introducir valores con mayor precisión.
- Realizar el proceso de acondicionamiento utilizando el conteo de los ciclos como herramienta para medir el lapso de exposición.
- Automatizar los bancos de resistencias para que el sistema sea capaz de manejar cualquier corriente de acondicionamiento.
- Utilización de componentes que permitan el manejo de voltajes hasta los 10000 V.

## Bibliografía

- [1] Rashid, Muhammad H. Electrónica de Potencia. 3 ed. México: Pearson Educación, 2004.
- [2] Vallés Abarca, José Antonio. Descargas eléctricas en gases y plasmas: aplicaciones. Tesis. Universidad de Alicante, 1998.
- [3] Ardley B., Tim. First Principles of a Gas Discharge Tube (GDT) Primary Protector. [En línea]. Principios y funcionamiento del tubo de gas para descarga. [Riverside], 2008. [http://www.bourns.com/pdfs/bourns\\_gdt\\_white\\_paper.pdf](http://www.bourns.com/pdfs/bourns_gdt_white_paper.pdf). [Consulta: 20 ago. 2008].
- [4] Induni, Mauricio. Teoría y especificaciones del Gas Discharge Tube. Documentación de la Empresa. [Heredia]. 2007. [Consulta: 20 ago. 2008].
- [5] Bourns. Material Declaration Sheet. [En línea]. Hojas de declaración de material. [Riverside], oct. 2006. [http://www.bourns.com/pdfs/2027\\_xx\\_xlxf\\_mds.pdf](http://www.bourns.com/pdfs/2027_xx_xlxf_mds.pdf). [Consulta: 20 ago. 2008].
- [6] Bourns. 2027 Series - 2-Pole Gas Discharge Tube. [En línea]. Hojas de Datos para el 2027. [Riverside], oct. 2006. <http://www.bourns.com/PDFs/2027.pdf>. [Consulta: 28 oct. 2008].
- [7] Bourns. 2038 Series Miniature Symmetrical 3-Electrode Surface Mount Gas Discharge Tube. [En línea]. Hojas de Datos para el 2038. [Riverside], mar. 2008. <http://www.bourns.com/pdfs/2038-110-SM.pdf>. [Consulta: 28 oct. 2008].

- [8] Telcordia Technologies Generic Requirements, GR-1089-CORE, June 2006, "Electromagnetic Compatibility and Electrical Safety - Generic Criteria for Network Telecommunications Equipment"
- [9] IEEE C62.31; IEEE Standard Rev. Dec. 2006, "Test Methods for low voltage gas tube surge protective device components".
- [10] ITU-T K.12, February 2006, "Characteristics of gas discharge tubes for the protection of telecommunications installations".
- [11] Wikipedia. Luminaria fluorescente. [En línea]. Lámparas Fluorescentes. [http://es.wikipedia.org/wiki/Luminaria\\_fluorescente](http://es.wikipedia.org/wiki/Luminaria_fluorescente). [Consulta: 20 ago. 2008].
- [12] Vallejo, Horacio Daniel. Electricificador. [En Línea]. Montaje de un Electricificador para cercas. <http://www.webelectronica.com.ar/news09/nota01/electrificar.htm>. [Consulta: 20 ago. 2008].
- [13] Saber Electrónica. Dimmer para fluorescentes. [En línea]. Productos. <http://www.sabereletronica.com.br/secoes/leitura/339>. [Consulta: 22 ene. 2009].
- [14] Wikipedia. Fibrilación ventricular. [En línea]. Definición. [http://es.wikipedia.org/wiki/Fibrilaci%C3%B3n\\_ventricular](http://es.wikipedia.org/wiki/Fibrilaci%C3%B3n_ventricular) [Consulta: 2 feb. 2009].

## **Apéndices**

### **A.1 Glosario, abreviaturas y simbología**

#### ***Glosario:***

Arc Mode: Estado en donde el GDT se encuentra en conducción, se permite el paso de altas corrientes; entre los electrodos cae una tensión de 10 V.

Breaker: Es un interruptor eléctrico automático que se coloca en serie a la carga, este dispositivo tiene la capacidad de detectar una alta corriente, cuando esto sucede, el breaker abre el circuito, para volver a cerrar el circuito se necesita volver a accionarlo.

Coating: Sustancia líquida elaborado de metales y químicos, se utiliza para recubrir los electrodos y se encarga de estabilizar el voltaje de ruptura del GDT.

Cusil: Dispositivo metálico en forma de dona, utilizado para unir la cerámica con el electrodo, este se funde a altas temperaturas dentro de los hornos.

Dip switch: Red de interruptores en paralelo que poseen un tamaño muy compacto, pueden manejar muy bajas potencias.

Epoxi: Resina aislante utilizada en la elaboración de componentes eléctricos, tiene un tiempo de curado de aproximadamente 5 horas.

Fail Safe: Dispositivo de seguridad mecánico, que se coloca sobre el GDT, este es activado por temperatura y es el último recurso que presenta el tubo para detener un impulso de tensión.

Fibrilación ventricular: Trastorno del ritmo cardiaco que presenta un ritmo ventricular rápido, irregular, de morfología caótica y que lleva irremediamente a la pérdida total de la contracción cardíaca, con una falta total del bombeo sanguíneo y por tanto a la muerte de la persona.

Glow Mode: Estado en donde el GDT se encuentra parcialmente en conducción, se permite el paso de corrientes por debajo de 0.5 A; entre los electrodos cae una tensión de 70 V.

**Holdover voltage:** Es el máximo valor de voltaje entre las terminales de un GDT que permitirá que desaparezca la ionización del gas y este retorne a su estado de alta impedancia luego de una descarga de voltaje.

**Minitab:** Programa de software que se utiliza para realizar estudios y análisis estadísticos.

**Surge Protector:** Protección que se coloca en serie con la carga, cuando ocurre un incremento en la corriente, este abre el circuito evitando que se dañe lo que está conectado a la línea, cuando la corriente vuelve a su nivel normal, el dispositivo vuelve a conducir.

**Transiente:** Es un incremento del voltaje de muy alta magnitud y muy corta duración, que puede llegar a exceder en miles de voltios y su duración puede encontrarse en el rango de los microsegundos.

### **Abreviaturas:**

I/O: Inputs/Outputs

CMOS: Complementary Metal-Oxide-Semiconductor

GDT: Gas Discharge Tube.

DCBD: Direct Current Breakdown

CCITT: Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique /  
International Telegraph and Telephone Consultative Committee

ITU-T: International Telecommunication Union

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

PIC: Peripheral Interface Controller

MOSFET: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

IGBT: Insulated Gate Bipolar Transistor

BJT: Bipolar Junction Transistor

DIP: Dual In-line Package

## Anexos

### Anexo 1: Hoja de datos del microcontrolador.



## 28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers with ECAN™ Technology, 10-Bit A/D and nanoWatt Technology

#### Power Managed Modes:

- Run: CPU on, peripherals on
- Idle: CPU off, peripherals on
- Sleep: CPU off, peripherals off
- Idle mode currents down to 5.8  $\mu$ A typical
- Sleep mode currents down to 0.1  $\mu$ A typical
- Timer1 Oscillator: 1.1  $\mu$ A, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 2.1  $\mu$ A
- Two-Speed Oscillator Start-up

#### Flexible Oscillator Structure:

- Four Crystal modes, up to 40 MHz
- 4x Phase Lock Loop (PLL) – available for crystal and internal oscillators
- Two External RC modes, up to 4 MHz
- Two External Clock modes, up to 40 MHz
- Internal oscillator block:
  - 8 user selectable frequencies, from 31 kHz to 8 MHz
  - Provides a complete range of clock speeds, from 31 kHz to 32 MHz when used with PLL
  - User tunable to compensate for frequency drift
- Secondary oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Fail-Safe Clock Monitor
  - Allows for safe shutdown if peripheral clock stops

#### Special Microcontroller Features:

- C compiler optimized architecture with optional extended instruction set
- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory typical
- Flash/Data EEPROM Retention: > 40 years
- Self-programmable under software control
- Priority levels for interrupts
- 8 x 8 Single Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
  - Programmable period from 41 ms to 131s
- Single-Supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V

#### Peripheral Highlights:

- High current sink/source 25 mA/25 mA
- Three external interrupts
- One Capture/Compare/PWM (CCP1) module
- Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP1) module (40/44-pin devices only):
  - One, two or four PWM outputs
  - Selectable polarity
  - Programmable dead time
  - Auto-Shutdown and Auto-Restart
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module supporting 3-wire SPI (all 4 modes) and I<sup>2</sup>C™ Master and Slave modes
- Enhanced Addressable USART module:
  - Supports RS-485, RS-232 and LIN 1.3
  - RS-232 operation using internal oscillator block (no external crystal required)
  - Auto-Wake-up on Start bit
  - Auto-Baud Detect
- 10-bit, up to 11-channel Analog-to-Digital Converter module (A/D), up to 100 Ksps
  - Auto-acquisition capability
  - Conversion available during Sleep
- Dual analog comparators with input multiplexing

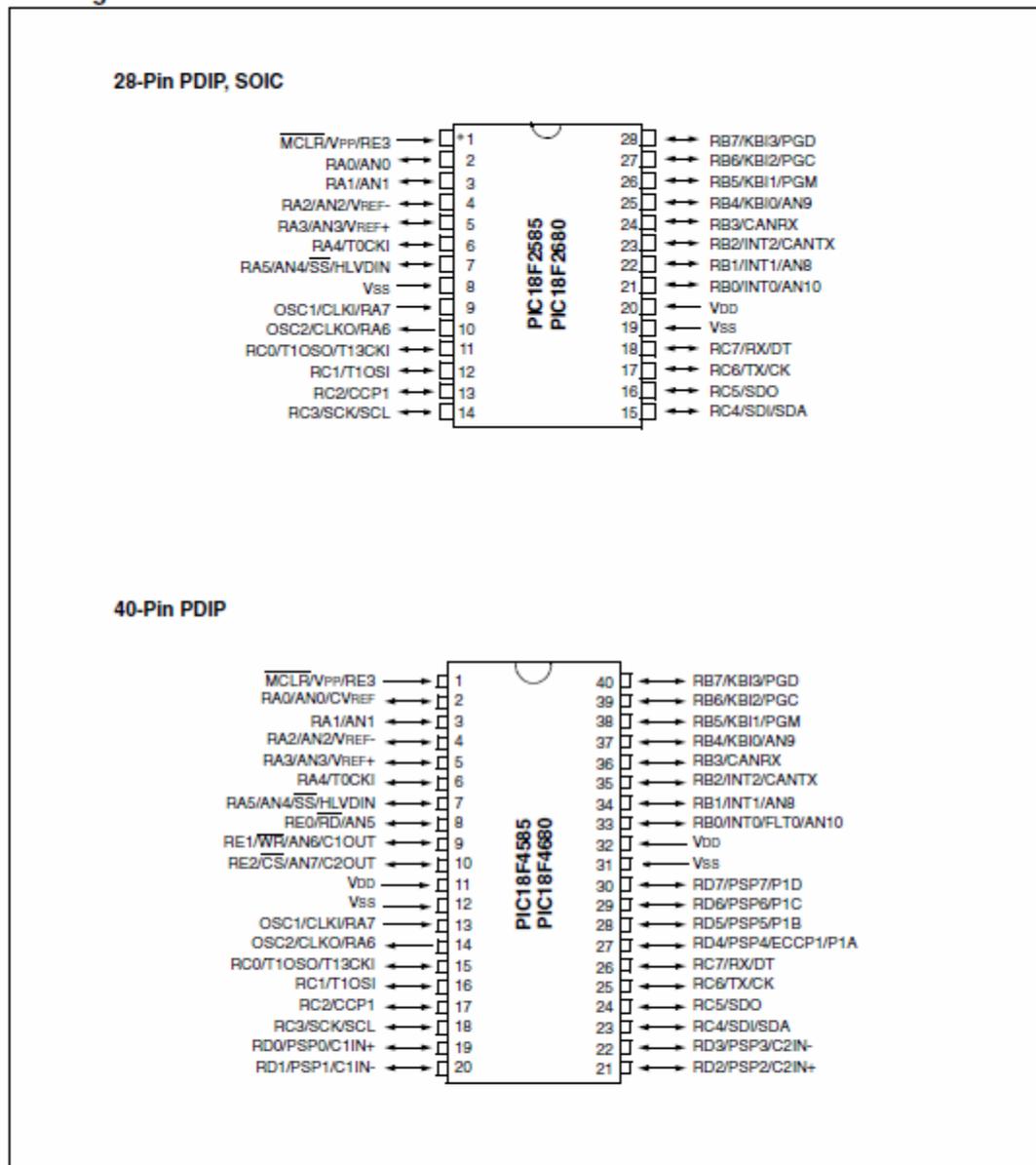
#### ECAN Module Features:

- Message bit rates up to 1 Mbps
- Conforms to CAN 2.0B ACTIVE Specification
- Fully backward compatible with PIC18XXX8 CAN modules
- Three modes of operation:
  - Legacy, Enhanced Legacy, FIFO
- Three dedicated transmit buffers with prioritization
- Two dedicated receive buffers
- Six programmable receive/transmit buffers
- Three full 29-bit acceptance masks
- 16 full 29-bit acceptance filters w/ dynamic association
- DeviceNet™ data byte filter support
- Automatic remote frame handling
- Advanced error management features

Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-Bit A/D (ch)	CCP1/ ECCP1 (PWM)	MSSP		EUSART	Comp.	Timers 8/16-bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)				SPI	Master I <sup>2</sup> C™			
PIC18F2585	48K	24576	3328	1024	28	8	1/0	Y	Y	1	0	1/3
PIC18F2680	64K	32768	3328	1024	28	8	1/0	Y	Y	1	0	1/3
PIC18F4585	48K	24576	3328	1024	44	11	1/1	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4680	64K	32768	3328	1024	40/44	11	1/1	Y	Y	1	2	1/3

# PIC18F2585/2680/4585/4680

## Pin Diagrams



## Anexo 2: Hoja de datos de la bobina.



9 220 081 054		
Tipo	K-12 V	
Alimentación	12 V	
Carcaza	Aluminio	
Aislamiento	Asfáltico	
Conectores	Encaje normal	
Potencia	26.0 00 Voltios	
Chispas	16.000/minuto	
Resistencias de los enrollamientos	Primario	2,9...3,8 $\Omega$
	Secundario	6,5...10,8 K $\Omega$
Aplicación	Motores de 4 y 6 cilindros con platino	

**Anexo 3: Hoja de datos del convertidor CD-CD.**



**SC Series**  
**High Voltage Power Supply**

SC Series

**General Description**

The SC Series high voltage power supplies are the workhorse of the high voltage industry. They provide isolated outputs of up 9kV and 10 Watts in power (depending on model). The output voltage of the SC power supply is directly proportional to the input voltage. The output ripple is typically less than 1% at full power. The two output leads are floating and fully isolated from the input power leads by over 1T Ohm (@ 25 deg C) with less than 50 pF of coupling capacitance. This permits either positive or negative polarity operation. All SC's are reverse input voltage and short circuit protected.

**Features**

- Output proportional to Input
- Encapsulated
- 50 VDC to 9,000 VDC available
- 1.5, 3, 5 and 10 Watt power
- Various input voltages available



---

**Connection Diagram**

INPUT

○ -

- ○

○ +

+ ○

OUTPUT

Bottom View

**Available Models: (other input voltages available):**

1.5 Watt Models:			
Name	Maximum Output Voltage	Maximum Output Current	1 <sup>st</sup> Year
SC-0.5 1.5W	50 (Vin = 12 VDC)	30 mA	2001
SC-1 1.5W	100 (Vin = 12 VDC)	15 mA	2003
SC-2 1.5W	200 (Vin = 12 VDC)	7.5 mA	1993
SC-3 1.5W	300 (Vin = 12 VDC)	5 mA	1994
SC-4 1.5W	400 (Vin = 12 VDC)	3.75 mA	2001
SC-5 1.5W	500 (Vin = 12 VDC)	3 mA	1983
SC-10 1.5W	1,000 (Vin = 12 VDC)	1.5 mA	1987
SC-20 1.5W	2,000 (Vin = 12 VDC)	0.75 mA	1995
SC-30 1.5W	3,000 (Vin = 12 VDC)	0.5 mA	1981
SC-40 1.5W	4,000 (Vin = 12 VDC)	0.38 mA	1985

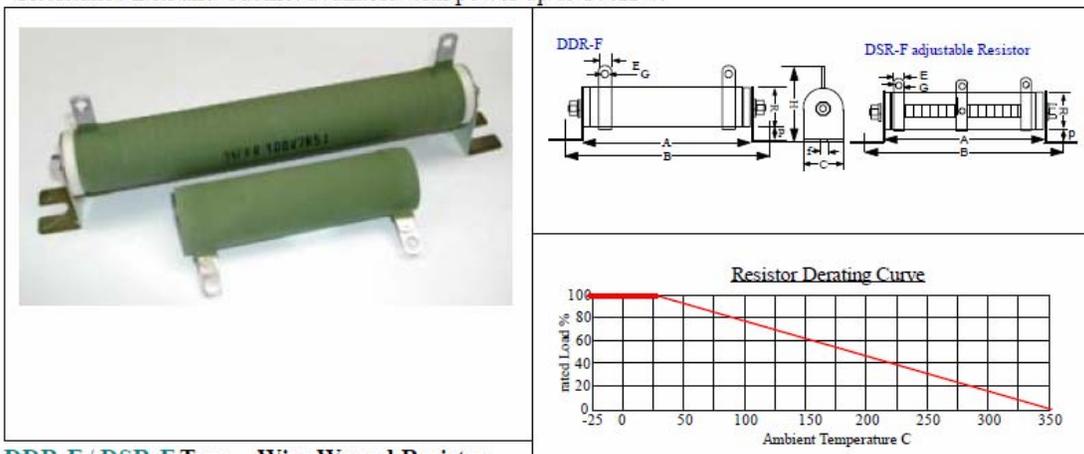
(continued on next page)

© 2007 American High Voltage
www.ahv.com

### Anexo 4: Hoja de datos de las resistencias.

#### Silicon Coated Wire-Wound Power Resistor with mounting fixture

- These resistors are suitable as loading resistors, braking resistor, capacitor discharge, Resistive Load simulation, Machinery, Machinery and Equipment higher power application.
- mounting fixture is available
- Adjustable resistance type is available : DSR-F series
- Resistance Box and Cabinet available with power up to 100KW.



#### DDR-F / DSR-F Type – Wire Wound Resistor

Dimension in mm :	R	A	B	C	H	p	E	G	f
Tolerance : +/- mm	1	5	5	1	3	3	1	1	1
15W	15	45	65	15	40	13	6	3.5	4.5
20W	20	50	70	15	40	13	6	3.5	4.5
25W	20	50	80	20	50	15	6	3.5	5
30W	20	70	100	20	50	15	6	3.5	5
40W	20	87	115	20	50	15	6	3.5	5
50W	28	90	115	27	68	20	9	4.5	6
80W	28	90	115	27	68	20	9	4.5	6
100W	28	170	195	27	68	20	9	4.5	6
150W	28	215	240	27	68	20	9	4.5	6
200W	28	267	292	27	68	20	9	4.5	6
250W	28	267	292	27	68	20	9	4.5	6
300W	40	267	300	39	90	25	10	4.5	6
400W	40	330	365	39	90	25	10	4.5	6
500W	50	330	365	49	98	20	10	6	8
600W	50	330	365	49	98	20	10	6	8
700W	50	400	435	49	95	20	10	6	8
800W	70	300	320	69	138	30	15	8	8
1000W	70	300	320	69	138	30	15	8	8
1500W	70	415	435	69	138	30	15	8	8
2000W	70	510	530	69	138	30	15	8	8
2500W	70	600	620	69	138	30	15	8	8
3000W	70	600	620	69	138	30	15	8	8
4000W	100	430	450	99	185	50	15	8	8
5000W	100	500	620	99	185	50	15	8	8
6000W	100	600	720	99	185	50	15	8	8
10,000W	150	600	625	150	350	100	30	8	10
12,000W	150	660	685	150	350	100	30	8	10
15,000W	150	660	685	150	350	100	30	8	10
20,000W	150	1000	1030	150	350	350	30	8	10

**Anexo 5: Relés de mercurio.**

**Mercury Displacement Relays — MDR**



**Contact Ratings (Amps Resistive)**

Voltage	M35	M60
120 VAC	35	60
240 VAC	35	60
480 VAC	35	60
600 VAC	35	50
125 VDC	16	40
250 VDC	20	20



Fig. A



Fig. B



Fig. C

- ▶ AC or DC Coils
- ▶ 1 to 3 Poles
- ▶ Up to 60 Amps
- ▶ Normally Open or Normally Closed

- ▶ Panel or DIN Rail Mounting
- ▶ Exceptional Surge Capability
- ▶ Optional DIN Rail Adapters — 1-Pole = 16-MDRDIN-1, 2- or 3-Pole = 16-MDRDIN-2/3

**AC Operated, SPST-NO Contacts**

Stock No.	Mfr.'s Type	Fig.	Amps	Coil		EACH			
				Volts	Ohms	1-5	6-14	15-24	25-49
929-0039	WM35A-120A	A	35	120 VAC	700.0	51.53	47.23	44.98	42.94
929-0057	WM60A-120A	A	60	120 VAC	700.0	49.41	46.32	44.24	42.34
929-0040	WM35A-240A	A	35	240 VAC	2800.0	61.82	59.13	56.67	54.39

**DC Operated, SPST-NO Contacts**

929-0058	WM60A-24D	A	60	24 VDC	186.0	50.29	47.15	45.03	43.10
929-0083	M35A-24VDC	A	35	24 VDC	186.0	70.18	65.65	62.62	59.86

**AC Operated, SPST-NC Contacts**

929-0044	WM35B-120A	A	35	120 VAC	460.0	47.23	43.29	41.23	39.36
929-0050	WM60B-120A	A	60	120 VAC	460.0	53.43	50.09	47.86	45.81

**AC Operated, DPST-NO Contacts**

929-0041	WM35AA-120A	B	35	120 VAC	218.0	91.05	83.43	79.47	75.86
929-0051	WM60AA-120A	B	60	120 VAC	218.0	86.46	81.06	77.42	74.10
929-0042	WM35AA-240A	B	35	240 VAC	1200.0	94.37	86.50	82.39	78.64

**AC Operated, 3PST-NO Contacts**

929-0043	WM35AAA-120A	C	35	120 VAC	111.0	116.14	106.45	101.38	96.78
929-0052	WM60AAA-120A	C	60	120 VAC	111.0	120.87	113.31	108.24	103.60

## Anexo 6: Hoja de datos del transistor MOSFET.



### NTE2397 MOSFET N-Ch, Enhancement Mode High Speed Switch

#### Features:

- Dynamic dv/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements

#### Absolute Maximum Ratings:

Continuous Drain Current ( $V_{GS} = 10V$ ), $I_D$	
$T_C = +25^\circ C$ .....	10A
$T_C = +100^\circ C$ .....	6.3A
Pulsed Drain Current (Note 1), $I_{DM}$ .....	40A
Power Dissipation ( $T_C = +25^\circ C$ ), $P_D$ .....	125W
Derate Linearly Above $25^\circ C$ .....	1.0W/ $^\circ C$
Gate-to-Source Voltage, $V_{GS}$ .....	$\pm 20V$
Single Pulse Avalanche Energy (Note 2), $E_{AS}$ .....	520mJ
Avalanche Current (Note 1), $I_{AR}$ .....	10A
Repetitive Avalanche Energy (Note 1), $E_{AR}$ .....	13mJ
Peak Diode Recovery dv/dt (Note 3), dv/dt .....	4V/ns
Operating Junction Temperature Range, $T_J$ .....	$-55^\circ$ to $+150^\circ C$
Storage Temperature Range, $T_{stg}$ .....	$-55^\circ$ to $+150^\circ C$
Lead Temperature (During Soldering, 1.6mm from case for 10sec), $T_L$ .....	$+300^\circ C$
Mounting Torque (6-32 or M3 Screw) .....	10 lbf•in (1.1N•m)
Thermal Resistance, Junction-to-Case, $R_{thJC}$ .....	1.0 $^\circ C/W$
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient, $R_{thJA}$ .....	62 $^\circ C/W$
Typical Thermal Resistance, Case-to-Sink (Flat, Greased Surface), $R_{thCS}$ .....	0.5 $^\circ C/W$

Note 1. Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature.

Note 2.  $V_{DD} = 50V$ , starting  $T_J = +25^\circ C$ ,  $L = 9.1\mu H$ ,  $R_G = 25\Omega$ ,  $I_{AS} = 10A$

Note 3.  $I_{SD} \leq 10A$ ,  $di/dt \leq 120A/\mu s$ ,  $V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}$ ,  $T_J \leq +150^\circ C$

**Electrical Characteristics:** ( $T_J = +25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Drain-to-Source Breakdown Voltage	$V_{(BR)DSS}$	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$	400	–	–	V
Breakdown Voltage Temp. Coefficient	$\frac{\Delta V_{(BR)DSS}}{\Delta T_J}$	Reference to $+25^\circ\text{C}$ , $I_D = 1\text{mA}$	–	0.49	–	$V/^\circ\text{C}$
Static Drain-to-Source On-Resistance	$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = 10V, I_D = 6A$ , Note 4	–	–	0.55	$\Omega$
Gate Threshold Voltage	$V_{GS(th)}$	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$	2.0	–	4.0	V
Forward Transconductance	$g_{fs}$	$V_{DS} = 50V, I_D = 6A$ , Note 4	5.8	–	–	mhos
Drain-to-Source Leakage Current	$I_{DSS}$	$V_{DS} = 400V, V_{GS} = 0V$	–	–	25	$\mu A$
		$V_{DS} = 320V, V_{GS} = 0V, T_J = +125^\circ\text{C}$	–	–	250	$\mu A$
Gate-to-Source Forward Leakage	$I_{GSS}$	$V_{GS} = 20V$	–	–	100	nA
Gate-to-Source Reverse Leakage	$I_{GSS}$	$V_{GS} = -20V$	–	–	-100	nA
Total Gate Charge	$Q_g$	$I_D = 10A, V_{DS} = 320V, V_{GS} = 10V$ , Note 4	–	–	63	nC
Gate-to-Source Charge	$Q_{gs}$		–	–	9.0	nC
Gate-to-Drain (“Miller”) Charge	$Q_{gd}$		–	–	32	nC
Turn-On Delay Time	$t_{d(on)}$	$V_{DD} = 200V, I_D = 10A, R_G = 9.1\Omega$ , $R_D = 20\Omega$ , Note 4	–	14	–	ns
Rise Time	$t_r$		–	27	–	ns
Turn-Off Delay Time	$t_{d(off)}$		–	50	–	ns
Fall Time	$t_f$		–	24	–	ns
Internal Drain Inductance	$L_D$	Between lead, .250in. (6.0) mm from package and center of die contact	–	4.5	–	nH
Internal Source Inductance	$L_S$		–	7.5	–	nH
Input Capacitance	$C_{iss}$	$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 25V, f = 1\text{MHz}$	–	1400	–	pF
Output Capacitance	$C_{oss}$		–	330	–	pF
Reverse Transfer Capacitance	$C_{rss}$		–	120	–	pF

**Source-Drain Ratings and Characteristics:**

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Continuous Source Current (Body Diode)	$I_S$		–	–	10	A
Pulsed Source Current (Body Diode)	$I_{SM}$	Note 1	–	–	40	A
Diode Forward Voltage	$V_{SD}$	$T_J = +25^\circ\text{C}, I_S = 10A, V_{GS} = 0V$ , Note 4	–	–	2.0	V
Reverse Recovery Time	$t_{rr}$	$T_J = +25^\circ\text{C}, I_F = 10A$ , $di/dt = 100A/\mu s$ , Note 4	–	370	790	ns
Reverse Recovery Charge	$Q_{rr}$		–	3.8	8.2	$\mu C$
Forward Turn-On Time	$t_{on}$	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S+L_D$ )				

Note 1. Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature.

Note 4. Pulse width  $\leq 300\mu s$ ; duty cycle  $\leq 2\%$ .