

DISEÑO DE UN PROTOCOLO DE MEDICION DE EFECTO CORONA EN  
SISTEMAS ELECTRICOS DE MEDIA Y ALTA TENSION UTILIZANDO CAMARA  
CORONOGRAFICA PARA LA EMPRESA LYANSA ELECTRICA LTDA

ANGIE YULIEHT SANCHEZ TORRES  
GINA MARCELA ROCHA MILLAN

UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS  
FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS E INGENIERIA, PROGRAMA DE  
INGENIERIA ELECTRONICA  
VILLAVICENCIO  
2016

DISEÑO DE UN PROTOCOLO DE MEDICION DE EFECTO CORONA EN  
SISTEMAS ELECTRICOS DE MEDIA Y ALTA TENSION UTILIZANDO CAMARA  
CORONOGRAFICA PARA LA EMPRESA LYANSA ELECTRICA LTDA

ANGIE YULIEHT SANCHEZ TORRES  
GINA MARCELA ROCHA MILLAN

Trabajo de grado en modalidad pasantía para optar al título de Ingenieras  
Electrónicas

Director: Javier Andrés Vargas Guativa, especialista en Mecatrónica Industrial,  
Esp. En Pedagogía y docencia Universitaria, Msc Administración Educativa

UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS  
FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS E INGENIERIA, PROGRAMA DE  
INGENIERIA ELECTRONICA  
VILLAVICENCIO  
2016

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Ing. Alexander Cucaita Gómez

Jurado

---

Ciudad y fecha

*Le dedico este logro a mis papás porque sin su esfuerzo, dedicación y apoyo hubiera sido difícil, igual a mi hermanita porque sé que aun sin saber nada de lo que yo estuviera haciendo, me brindo su atención incondicional, a mis abuelitos, tíos y primos porque estuvieron pendientes de colaborarme en lo que pudieran, a mis amigas Angie, Ángela y Marla porque fueron mis compañeras de batalla para lograr juntas una victoria por lo que luchamos durante cinco años, a mi familia en Cristo porque con sus oraciones y compañía fue mucho más fácil el camino, y al más importante de todos, a Dios porque Él fue, es y será mi sustento, mi apoyo incondicional, mi fiel amigo y compañero y sin Él esto no hubiera sido posible. A todos y cada uno de ustedes gracias porque forman parte fundamental en este proceso, los amos. Josué 1:7.*

*Gina R.*

*Le dedico este logro a mis padres por ser ese apoyo incondicional, porque gracias a su esfuerzo y dedicación hoy puedo cumplir esta meta. A mi familia, en especial a mi hermana Deisy y a Jeison por la ayuda que me brindaron cuando lo necesite; a mis amigos y compañeros con quienes compartí en todo este proceso, especialmente a Gina, Ángela y Marla; a esa persona que me brindó su apoyo y compañía gran parte de este proceso Andrés J. A todos mil gracias por estar siempre ahí.*

*Angie S.*

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestro director de proyecto Javier Vargas por el acompañamiento y la ayuda durante todo este proceso, a todas las personas que de una u otra formas nos colaboraron por hacer esto posible, compañeros de carrera, amigos y familia, a los ingenieros Alexander Cucaita, Altbrett Álvarez, Nathaly Moreno, Jairo Cuero y Carlos Rojas, quienes aportaron sus conocimientos y nos colaboraron durante la realización del proyecto. A todos ellos gracias porque sin su apoyo y compañía hubiera sido difícil poder alcanzar esta meta.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE TABLAS	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE ANEXOS	13
GLOSARIO	
14	
RESUMEN	
15	
INTRODUCCIÓN	
16	
1. DESCRIPCIÓN	DEL PROBLEMA
17	
2. JUSTIFICACIÓN	
18	
3. OBJETIVOS	
19	
3.1. OBJETIVOS	GENERALES
19	
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
4. MARCO REFERENCIAL	20
4.1. MARCO CONTEXTUAL	20
4.2. ANTECEDENTES	
20	
4.3. MARCO	TEORICO
22	

4.3.1. Efecto corona	22
4.3.1.1 Visualización efecto corona	24
4.3.2. Arco eléctrico	24
4.3.3. Descargas parciales	24
4.3.4. Cámara coronografica	25
4.3.5. Transformador elevador de voltaje o autotransformador	27
4.3.5.1 Autoinducción	29
4.3.6 Transistor de potencia	30
4.3.6.1 Transistor de efecto de campo metal-óxido semiconductor	31
4.3.7 Medición de alto voltaje	32
4.3.7.1 Sonda de alto voltaje	32
4.3.7.2 Divisores de voltaje	33
4.3.8. Aislamiento eléctrico	33
4.3.8.1 Aislamiento óptico	34
4.3.9. Microcontrolador MBED	35
5. DISEÑO METODOLÓGICO	37

5.1.	DISEÑO	DEL	GENERADOR	DE	ALTA	TENSIÓN	
							37
5.1.1.	Etapa	1:	Variación	de		voltaje	
							37
5.1.2.	Etapa	2:	Circuito	de		potencia	
							38
5.1.3.	Etapa	3:	Sonda	de	alta	tensión	
							39
5.1.4.	Etapa 4: Visualización						40
5.2.	PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO Y CALIBRACIÓN DEL GENERADOR DE ALTA TENSIÓN						41
5.3.	PRUEBAS CON EL GENERADOR DE ALTA TENSIÓN Y CÁMARA CORONOGRÁFICA						46
5.3.1.	Prueba uno						46
5.3.2.	Prueba dos						48
5.4.	COMPROBACIÓN DE DATOS						55
5.5.	CREACIÓN DE PROTOCOLO PARA LA EMPRESA LYANSA ELECTRICA						
							58
6.	RECURSOS UTILIZADOS						59
7.	RESULTADOS						
							60
8.	CONCLUSIONES						
							61
	BIBLIOGRAFÍA						
							62
	ANEXOS						
							63

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características de LPC1768	36
Tabla 2. Frecuencias utilizadas en la prueba dos	48
Tabla 3. Clasificación de nivel de daño	55
Tabla 4. Materiales utilizados	59

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Pérdidas de voltaje por efecto corona	
<b>23;Error! Marcador no definido.</b>	
Figura 2. Tipos de descargas parciales	25
Figura 3. CoroCam 6D	26
Figura 4. Esquema del autotransformador	28
Figura 5. Transformador elevador convencional tipo botella y estructura interna	29
Figura 6. Solenoide recorrido por una corriente de intensidad i	30
Figura 7. MOSFET tipo agotamiento de canal n y canal p	32
Figura 8. MOSFET tipo enriquecimiento de canal n y canal p	32
Figura 9. Sonda de alto voltaje	33
Figura 10. Divisor de Voltaje	33
Figura 11. Esquema Eléctrico Optoacoplador	34
Figura 12. Mbed NXP LPC1768	35
Figura 13. Etapa 1: Variación de frecuencia	38
Figura 14, Etapa de Potencia	39
Figura 15. Etapa 3: Sonda de alta tensión	40
Figura 16. Etapa 4: visualización	41
Figura 17. Prueba con transformador tipo botella	42
Figura 18. Prueba con transformador en seco	43
Figura 19. Circuito de variación de frecuencia y ciclo de trabajo	44
Figura 20. Prueba de noche con transformador en seco	44
Figura 21. Modificación del circuito de la sonda de alta tensión	45
Figura 22. Modificación del circuito de visualización	46
Figura 23. Mínima distancia salida del transformador y el objeto de referencia a tierra	47
Figura 24. Distancia media salida del transformador y el objeto de referencia a tierra	47

Figura 25. Máxima distancia salida del transformador y el objeto de referencia a tierra	48
Figura 26. Aislador café contaminado con agua y tierra y con frecuencia en el transformador de 165 Hz	49
Figura 27. Aislador café contaminado con agua y tierra y con frecuencia en el transformador de 300 Hz	50
Figura 28. Aislador café contaminado con agua y tierra y con frecuencia en el transformador de 500 Hz	50
Figura 29. Aislador café contaminado con agua y tierra y con frecuencia en el transformador de 788 Hz	51
Figura 30. Aislador blanco contaminado con agua y con frecuencia en el transformador de 165 Hz	51
Figura 31. Aislador blanco contaminado con agua y con frecuencia en el transformador de 300 Hz.	52
Figura 32. Aislador blanco contaminado con agua y con frecuencia en el transformador de 500 Hz.	52
Figura 33. Aislador café contaminado con agua y con frecuencia en el transformador de 165 Hz	53
Figura 34. Aislador café contaminado con agua y con frecuencia en el transformador de 300 Hz	53
Figura 35. Aislador café contaminado con agua y con frecuencia en el transformador de 500 Hz	54
Figura 36. Aislador café contaminado con agua y con frecuencia en el transformador de 788 Hz	54
Figura 37. Aislador café contaminado con agua y con frecuencia en el transformador de 1 kHz	55
Figura 38. Clasificación tipo A	56
Figura 39. Clasificación tipo B.	57
Figura 40. Clasificación tipo C	57
Figura 41. Clasificación tipo D muestra uno	58



## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Vista 3D del circuito de variación de frecuencia y potencia	64
Anexo B. Vista general de la prueba dos	64
Anexo C. Descripción de pines de LCP1768	65
Anexo D. Circuitos del generador de alta tensión	73
Anexo E. Caja del generador de alta tensión	73
Anexo F. Caja del generador de alta tensión vista lateral	74
Anexo G. Maqueta del generador de alta tensión	74

## GLOSARIO

**ARCO ELÉCTRICO.** Descarga eléctrica que se forma entre dos electrodos sometidos a una diferencia de potencial y colocados en el seno de una atmósfera gaseosa enrarecida, normalmente a baja presión, o al aire libre.

**CONTAMINANTE.** Suciedad en un elemento que provoca fallas en él.

**DESCARGA PARCIAL.** Ruptura dieléctrica localizada en una pequeña región de un sistema sólido o líquido de aislamiento eléctrico sometido a condiciones de estrés de alta tensión que no puentea el espacio entre dos conductores.

**EFECTO CORONA.** Fenómeno eléctrico que se produce en los conductores de las líneas de alta tensión y se manifiesta en forma de halo luminoso a su alrededor.

**INCIDENCIA UV.** Es la radiación ultravioleta presente en un elemento, la cual es emitida por el arco eléctrico después de haberse generado una descarga parcial.

**PUNTOS CALIENTES.** Puntos de un elemento donde se observa un grado de temperatura mayor de lo normal.

**PUNTOS CRÍTICOS.** Punto en donde un elemento se encuentra bastante degradado a causa de la sobre exposición de voltaje o algún tipo de contaminante.  
**Puntos no críticos.** Puntos en donde un elemento se encuentra en buen estado.

## RESUMEN

Los sistemas de suministro eléctrico son aquellos que tienen como fin proveer la energía eléctrica generada en las centrales eléctricas a todos los puntos de consumo. En estos sistemas existen etapas para el transporte de esta energía como lo son la estación elevadora, las líneas de transmisión, la subestación de transformación, entre otros.

Con el paso del tiempo todos los elementos que transportan o aíslan la energía eléctrica que están dentro de dichas etapas se desgastan a causa del mal clima, suciedad en el ambiente o exceso de uso. Por tal motivo es necesario realizar inspecciones a cada uno de estos elementos para saber el estado en el que se encuentran, con el fin de realizar mantenimiento o remplazo de estos. Para estas inspecciones la empresa LYANSA ELECTRICA utiliza una cámara coronográfica, la cual detecta los eventos ultravioleta (UV) en el objeto que se desee analizar, pero no tiene un protocolo que dirija al trabajador a manipular la cámara de manera adecuada, interpretar las funciones que presenta esta y dar un diagnóstico correcto después de realizar una prueba.

En este trabajo se presentará el diseño y desarrollo de un Generador de Alta Tensión para la creación de arco eléctrico por medio de un transformador elevador de voltaje, para realizar comparaciones entre los datos obtenidos en el desarrollo del proyecto y los datos presentados en inspecciones ya realizadas por la empresa, con el fin de crear el protocolo que LYANSA necesita para los trabajadores de esta área.

El diseño del generador consta de cuatro etapas, donde se establecen de la siguiente manera: etapa uno: variación de voltaje, en la cual un oscilador produce una señal de onda cuadrada que va conectada a la compuerta de un transistor tipo MOSFET; etapa dos: circuito de potencia, donde el transistor está configurado en corte y saturación, para así energizar el transformador y obtener el arco eléctrico; etapa tres: sonda de alta tensión, esta etapa tiene la capacidad de disminuir el voltaje que sale del transformador, rectificarlo y filtrarlo para luego ser recibido por un microprocesador; y por último, etapa cuatro: visualización, aquí se mostrará en una LCD el valor de voltaje que está generando el transformador.

Seguidamente se procede a describir las pruebas que se le realizaron al generador diseñado, con el fin de revisar si había fallas en este, para luego hacer las pruebas con la cámara coronográfica y por último realizar el protocolo para la empresa, el cual presenta un objetivo, un alcance, definiciones y descripción del equipo, procedimiento, valores o criterios de aceptación, cámara, funciones de activación, indicadores de estado, informes o registros, normas de seguridad, control ambiental y control de cambio.

## INTRODUCCIÓN

La coronografía ultravioleta permite exponer la radiación ultravioleta de manera clara y visible al ojo humano con el fin de mostrar las fallas existentes en los componentes conductores de los sistemas eléctricos que tienen algún tipo de cobertura dieléctrica. Estas fallas se pueden presentar a causa de la sobre carga de la línea o contaminación a la que este expuesta y se genera efecto corona, arco eléctrico y/o descarga parcial.

La cámara coronográfica visualiza el daño presente en el elemento e informa cuanta es la radiación emitida por este dando opción de configurar el grado de sensibilidad en que se requiere diagnosticar el nivel del daño por medio de las funciones integradas que esta tiene. Pero debido a la falta de reglamentación que rijan el diagnóstico de una prueba, no es posible dar un dictamen exacto.

En el presente trabajo de grado se presenta la realización de un generador de alta tensión para poder hacer pruebas con la cámara coronográfica y realizar análisis y comparaciones entre los datos obtenidos y datos ya existentes, con el fin de presentar un protocolo que guíe a un trabajador a dar un diagnóstico exacto de la medición en un trabajo de campo.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En todo sistema eléctrico sus componentes deben tener algún tipo de cobertura dieléctrica para aislar los cables conductores de las líneas de alta tensión. Al exponerse las líneas a los altos niveles de tensión, se presenta el efecto corona, arcos y descargas parciales, los cuales ocasionan daños al sistema en la ruptura del aislamiento de estas. Por esta razón existe la coronografía ultravioleta (UV) que es la técnica que permite la detección de tales fenómenos en sistemas de aislamiento.

Estas fallas conducen a aspectos importantes que involucran pérdidas económicas considerables para la industria, ya que ocasionan interrupciones en los procesos durante el lapso de tiempo de una reparación costosa o en el peor de los casos hasta que la línea sea sustituida, lo cual agrava la situación cuando no se cuenta con un reemplazo inmediato de esta, o disminución de costos por contar con la herramienta apropiada para llevar a cabo pruebas de mantenimiento preventivo y predictivo con el fin de evitar reparaciones.

La empresa Lyansa Eléctrica LTDA tiene déficit de normativas y protocolos de medición de efecto corona utilizando cámara coronográfica; estos efectos se evidencian con mayor impacto en redes de media y alta tensión. Siendo una empresa prestadora de servicio de interventorías requiere el diseño y desarrollo de un protocolo que permita reglamentar el proceso de medición ya mencionado, permitiendo incorporarlo a los proceso de gestión de calidad y seguridad funcional.

## 2. JUSTIFICACIÓN

La empresa Lyansa Eléctrica es una empresa prestadora de servicios de mantenimiento por lo cual requiere un protocolo de mediciones coronográficas que permita reglamentar estas acciones, y así, estandarizar los índices de fallas presentes en objeto medido.

La empresa cuenta con la instrumentación para la verificación y análisis de la problemática (efecto corona, arcos y descargas parciales) en las líneas de alta tensión, se cree necesario diseñar e implementar un generador de alta tensión para la realización del protocolo de manejo de la cámara coronográfica, con el cual, los ingenieros que estén en campo puedan hacer correctamente la utilización de esta, ya que es de suma importancia cumplir los procedimientos necesarios para evitar pérdidas en la línea y generar costos adicionales a la empresa.

Debido a que la falta de información, en la normatividad existente, no indique el nivel de gravedad del objeto medido, le imposibilita a la empresa guiarse de un documento que de la viabilidad de dar un diagnóstico de la falla con certeza o seguridad, dando paso a la inexactitud de las mediciones (llegado el caso éstas sean elaboradas por diferentes personales de la empresa), y así, prestar un mal servicio a la empresa adquisidora de este.

Con el diseño del generador y la elaboración de dicho protocolo, como pasantes de la empresa podemos aportar los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrea de ingeniería electrónica en el área de instrumentación y maquinas eléctricas, además, adquirimos conocimiento en el área de coronografía, descargas parciales y arcos eléctricos, por qué ocurre, cuales son las consecuencias generadas, etc., y así mismo se elaborará el instructivo que los trabajos deben de seguir para la correcta manipulación del instrumento en cuestión.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. OBJETIVO GENERAL

Elaborar un protocolo para la empresa Lyansa Eléctrica que permita reglamentar las mediciones de efecto corona en sistemas de potencia eléctrica utilizando cámara coronográfica.

#### 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar y analizar la literatura especializada en fenómenos presentados en la coronografía (efecto corona, descargas parciales y arcos eléctricos).
- Diseñar e Implementar un generador eléctrico de alta tensión para producir el efecto corona.
- Realizar pruebas y mediciones utilizando la cámara coronográfica con el generador eléctrico implementado.
- Realizar el protocolo de mediciones coronográficas para la empresa Lyansa Eléctrica.

## 4. MARCO REFERENCIAL

### 4.1 MARCO CONTEXTUAL

La tecnología implementada en la detección de efecto corona, arcos eléctricos y descargas parciales ha venido mejorando en los últimos años. Empresas como AMPERIS y ADLER, están a la vanguardia en el desarrollo de dichas tecnologías, superando cada vez más los hallazgos e invenciones anteriores en cámaras con efecto corona. Esto le permite a la industria eléctrica tener la posibilidad de hacer una elección fiable en la instrumentación que se manejará en los usos que la empresa adquirente del producto le dé.

Además de esto, se cuenta con una gama amplia de generadores fabricados por empresas como ABB y SIEMENS, los cuales se prestan para diferentes enfoques y servicios como: Generadores para motores diesel y gas, generadores para turbinas de vapor y gas, generadores de tracción, entre otros.

Debido a que el generador será diseñado, es necesario mencionar algunos fabricantes del elemento a trabajar que proporcionará el voltaje de alta. Para este proyecto se trabajará con el transformador elevador de voltaje que es un autotransformador (o bobina de encendido de un automóvil); PRESTO PLUS, DENSO o BERU FEDERAL MOGUL entre otras son fabricantes este tipo de transformador, el cual brinda la tensión necesaria para generar la chispa que encenderá el vehículo.

### 4.2 ANTECEDENTES

Se presentará algunos artículos, tesis y publicaciones de empresas que definieron, analizaron y desarrollaron pruebas en los fenómenos de efecto corona, descargas parciales, arcos eléctricos y transformadores elevadores.

En la Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca, Ecuador, el ingeniero eléctrico Pedro Francisco Rodas Rivera publicó un artículo titulado "Ruptura Dieléctrica y Efecto Corona", donde profundiza en el tema de los dieléctricos para entender la causa de la ruptura del mismo ocasionada por la acumulación de grandes cargas provenientes de campos magnéticos externos al de la línea y como resultado de esto la generación de efecto corona, dando paso a la exposición de soluciones para reducirlo.

Basados en este artículo, será más fácil entender la causa del fallo en la línea y diagnosticarlo de manera pertinente por medio de los análisis entregados por el ingeniero Pedro Rodas, los cuales dan como conclusiones la importancia de tener

el cuidado pertinente en el mantenimiento de la línea y el conocimiento adquirido de cómo está formado este fenómeno.

La tesis de grado del estudiante Luis Ángel Güere Rupay llamada “Diagnostico en Línea Mediante Descargas Parciales como Técnica de Mantenimiento Predictivo del Devanado Estatórico de los Alternadores de Electroperu S.A”, presentada en el 2012 en Lima, Peru, con la cual aspiró al título de Ingeniero Mecánico Electricista, trata de las pruebas de diagnóstico de descargas parciales aplicadas al devanado del estator para indicar la condición del aislamiento en las máquinas generadoras.

El autor presenta en su trabajo cómo el equipo implementado otorga beneficios en el aprendizaje de descargas parciales, ya que a medida que transcurre el tiempo y se monitorea constantemente, podrá haber mejorías en la interpretación de los resultados y una disminución en los costos del mantenimiento predictivo de la maquinaria.

En el artículo tesis de grado de la Escuela Superior Politécnica del Litoral en Guayaquil, Ecuador, K. Cevallos, M. Herdoíza, J. Gallo presentan análisis en evaluaciones de riesgos para saber las medidas preventivas a tomar en diferentes tipos de instalaciones eléctricas basados en la experimentación; este artículo titula “Seguridad Eléctrica y Peligro de la Descarga de Arco”.

Ya que evidentemente es necesario utilizar los elementos de protección cuando se vaya a manipular cualquier aparato o dispositivo que maneje media o alta tensión, siempre estará presente algún tipo de riesgo en la ejecución del trabajo. Por eso es necesario analizar cuáles son estos riesgos para tratar de mitigarlos lo más que se pueda.

En el trabajo de grado “Diseño e Implementación de un Prototipo para el Diagnóstico y Respaldo de los Sistemas de Encendido de Vehículos a Gasolina y a Gas Natural” presentado por el Ingeniero Jairo David Cuero Ortega en el 2012, Villavicencio, Colombia, para aspirar al título de Ingeniero Electrónico, presenta el diseño de un equipo portátil fiable, robusto y aislado eléctricamente, que permita diagnosticar algún tipo de falla en el encendido del automóvil sin que altere o interfiera con las partes eléctricas del vehículo.

Debido a que el encendido del vehículo está dado, entre otros elementos, por una bobina o autotransformador, en la tesis el ingeniero muestra los componentes, explica el funcionamiento para el encendido y el comportamiento de la señal de salida de esta, brindando una mayor perspectiva del proyecto que se desarrollará en el presente trabajo.

### 4.3 MARCO TEÓRICO

4.3.1 *Efecto Corona*. Fenómeno eléctrico que se produce en los conductores de alta tensión, el cual se manifiesta por luminiscencia alrededor de la línea de alta. Debido a la ionización del aire que circula por el conductor a causa de los altos niveles de voltaje se produce el efecto, estos iones son repelidos y atraídos por el conductor a velocidades muy grandes, produciendo nuevos iones por colisión; estas moléculas de aire tienen la capacidad de conducir la corriente eléctrica y algunos de los electrones que circulaban por la línea pasan a circular por el aire, donde la temperatura del gas aumenta y se torna de color rojizo para casos leves o azulado para casos severos, además va acompañada de olor de ozono y un sonido silbante.

El ingeniero norteamericano F.W. Peek observó que la aparición del efecto era función del campo superficial, del radio del conductor y de la densidad del aire, desarrollando así, dos modelos matemáticos: cálculo de la tensión crítica disruptiva, que es la ecuación (1), para la iniciación del efecto corona en la superficie del conductor, y cálculo para la tensión crítica visual (la energía de los iones es tal, que empieza producirse fotones visibles), que es la ecuación (2), el cual se muestra a continuación.

*Tensión crítica disruptiva*

$$V_d = m_d \cdot \delta \cdot \epsilon_{ra} \cdot r \cdot \ln \frac{D}{r} \quad (1)$$

*Tensión crítica visual*

$$V_v = m_v \cdot \delta \cdot \epsilon_{ra} \cdot r \cdot \left( I + \frac{k}{\sqrt{r \cdot \delta}} \right) \ln \frac{D}{r} \quad (2)$$

Dónde:

$V_d$  : Tensión crítica disruptiva (kv / cm).

$V_v$  : Tensión crítica visual (kv / cm).

$m_d$  : 1 para cilindro; 0,98/0,93 hilos comerciales; 0,87/0,83 cables.

$m_v$  : 1/0,93 para hilos; 0,72 para corona parcial cables; 0,82 para corona total.

$\epsilon_{ra}$  : Rigidez dieléctrica del aire=21,1 kv/cm.

$r$  : Radio del conductor (cm).

$D$  : Distancia equivalente entre conductores (cm).

$k = 0,308$  para geometría coaxial; 0,301 para conductores paralelos.

$\delta$  : Factor de corrección de la densidad del aire y, la obtenemos de:

$$\delta = \frac{3.921 \cdot H}{273 + t} \quad (3)$$

Siendo:

$t$  : Temperatura del aire ( $^{\circ}\text{C}$ )

$H$  : Presión atmosférica ( $\text{cm} \cdot \text{Hg}$ )

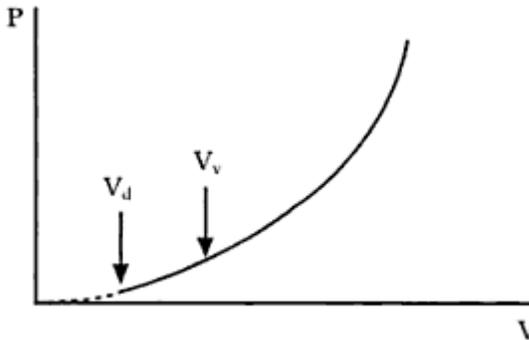
En caso de mal tiempo:

$$V'_d = 0,8 V_d \text{ (tormenta)} \quad (4)$$

$$V'_v = 6,4 \cdot r \left( 1 + \frac{0,815}{\sqrt{r}} \right) \ln \frac{D}{r} \text{ (conductor totalmente mojado)} \quad (5)$$

Las pérdidas se inician con  $V_d$  aumentando rápidamente con la tensión; como se indica en la figura 1.

Figura 1. Pérdidas de Voltaje por efecto corona



Fuente: Pérdidas de Voltaje por efecto corona. Transporte de energía eléctrica.

La ecuación de pérdidas por efecto corona que da Peek es la ecuación (6):

$$p = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D}} (V_x - V_d)^2 \cdot \frac{10^{-5} \text{ kW}}{\text{km}} \quad (6)$$

(con mal tiempo, sustituir  $V_d$  por  $0,8V_d$ ).

$f$  = frecuencia.

$V_x$  = tensión simple considerada.

Esta ecuación de pérdidas no es válida para valores de  $V_x$  próximos a  $V_d$ , ya que se obtendría resultados en general demasiado elevados para pequeños conductores y bajos para grandes diámetros<sup>1</sup>.

4.3.1.1 *Visualización del efecto corona.* Observar el efecto corona es bastante difícil ya que la radiación que emite es muy débil dentro del espectro Ultra Violeta. La emisión de corona en el aire está en la longitud de onda alrededor de 300 a 400 nm, pero la energía irradiada por el sol en este campo espectral es mucho mayor que la corona, haciendo que sea invisible para el ser humano. Hay una parte del espectro donde la emisión de corona es más débil pero la radiación solar es nula, esta región está entre 240 y 280 nm, la cual se denomina zona de apantallamiento solar o zona ciega a la luz solar; en esta zona se presentan fotocátodos sensibles a longitudes de onda superiores, los cuales permiten con mayor facilidad hacer detección del efecto.

4.3.2 *Arco Eléctrico.* También conocido como “arco voltaico” es la descarga eléctrica que se forma debido a un cortocircuito sostenido transportado por el aire. Este es causado por una rápida liberación de energía debido a una deficiencia en el aislamiento eléctrico entre una parte energizada y otra a otro potencial.

El arco eléctrico usualmente se produce frente a falla o mala operación en los equipos eléctricos, al ponerse en contacto conductores vivos entre sí o con la tierra, lo que ocasiona un flashover de corriente eléctrica que se extiende a través del aire. El riesgo de este fenómeno se debe a que ocasiona un calor excesivo, una gran explosión, un gran efecto lumínico y una elevada onda expansiva.

Cuando se presenta un arco eléctrico, se pueden alcanzar temperaturas hasta de 20.000°C. Dicha descarga de energía tiene la capacidad de destruir barras de cobre o aluminio hasta su fase de vaporización, las cuales son usadas generalmente para la distribución de energía. El resultado es un aumento brusco del volumen de los materiales contenidos en el aire (explosión), la explosión de arco, estimada en una expansión de 40.000 a 1. Una explosión de arco puede devastar todo a su paso, produce los niveles de sonido superiores a 120 dB, y puede crear una metralla mortal durante su ocurrencia.

4.3.3 *Descargas Parciales.* Es un fenómeno de rotura eléctrica que está localizado en la región de un medio aislante, entre dos conductores que se encuentran a diferente potencial. La ubicación de la descarga puede ser debido a

---

<sup>1</sup> TORA GALVAN, Jose Luis, Dc Ing Electromecánico. Transporte de Energía Eléctrica, Líneas Aéreas a M.A.T y C.A. UPCO, Madrid, 1997. p. 119-120.

un aumento del campo eléctrico en un determinado espacio, relativamente pequeño, comparado con las dimensiones del medio aislante. El campo puede aumentar debido a cambios bruscos en la naturaleza del aislante, que generalmente son provocados por vacuolas en un medio sólido o por espacios de gas entre las superficies de un aislante con un conductor u otro aislante.

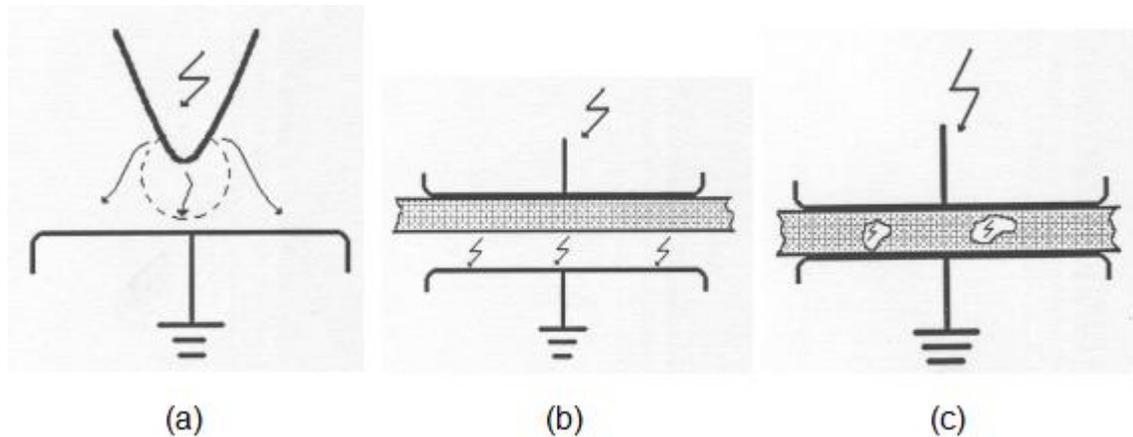
Las descargas parciales se pueden caracterizar en tres tipos dependiendo de las propiedades del medio existente entre los electrodos:

Descargas parciales externas: se presentan en los gases cerca de las puntas agudas donde la concentración del campo eléctrico es lo suficientemente alta para causar ruptura parcial del gas circundante. Ver figura 1(a).

Descargas parciales superficiales: se presentan cuando existe un componente del campo paralelo a una superficie dieléctrica, como en las terminaciones de cables. Ver figura 1(b).

Descargas parciales internas: ocurren en oclusiones de baja rigidez dieléctrica, usualmente en cavidades llenas de gas. Ver figura 1(c).

Figura 2. Tipos de descargas parciales



Fuente: Descargas parciales pdf.

4.3.4 *Cámara Coronográfica*. Las cámaras UV para detección de efecto corona, descargas parciales y arcos eléctricos, son la herramienta ideal para mantenimiento predictivo y preventivo en las líneas de media y alta tensión utilizadas en inspecciones eléctricas en líneas de transmisión, distribución y subestaciones.

Existen variedades de cámaras coronográficas ofrecidas por diferentes empresas que tienen como especialidad la fabricación de este instrumento de detección de fallas. Para el desarrollo del presente trabajo se mencionará la CoroCam 6D de la empresa UViRCO.

Figura 3. CoroCam 6D



Fuente: UViRCO.

El 6D CoroCAM es un re-desarrollo del Sistema CoroCAM para inspección con luz solar, con énfasis en la reducción de costes a través de un diseño innovador. Sus principales aplicaciones son:

- Inspección de Líneas de Transmisión y Distribución.
- Inspección de Subestaciones.
- Inspección de componentes eléctricos de alta tensión.
- Inspección de Generadores y Motores.

Sus características son:

- Un detector de alta sensibilidad, que puede detectar las emisiones de UVC a  $2,05 \times 10^{-18} \text{ W / cm}^2$ , esto permite la detección de las descargas de corona más pequeños

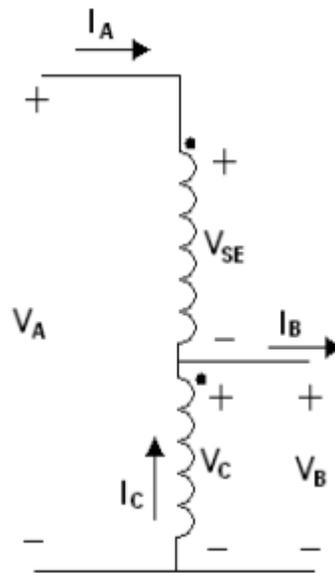
- Ganancia UV, umbral o integración se puede ajustar para optimizar la imagen resultante
- Fábrica equipado módulo de posición filtro opcional motorizado solar ciego puede quitar el filtro ciego solar de la trayectoria de la luz para mejorar la sensibilidad
- Señales Corona por encima del nivel de umbral se muestran en tiempo real
- El cuadro muestra el recuento UV tiene 3 tamaños
- El recuento de UV se ajusta para compensar los ajustes de la cámara
- Una cámara de video a color de alta sensibilidad con una resolución de 768 x 576 píxeles, que pueden funcionar a niveles de luz hasta 0,0004 lux, haciéndolo capaz de ver serpentina corona en condiciones de oscuridad cerca.
- UV y zoom Sincronizado Visible de 1x sistema de zoom (definidos como 8x ° 6 ° / 10 ° Diagonal) a 2x zoom sistema (óptica para el canal visible y digital para el canal UV)
- Control de enfoque de la cámara visible automática o manual. UV enfoque de la cámara se puede ajustar de forma manual o esclavizado a la posición de enfoque de la cámara visible
- La imagen visible puede ser mejorada para la compensación de contraluz o ajustado en modo de luz baja
- Un ángulo grande, montado robusta, variable, de color LED pantalla LCD retroiluminada con una resolución de 640 x 480 píxeles optimizado para su uso en plena luz del día hace que para la inspección fácil. Brillo de la pantalla se puede ajustar manualmente o automáticamente
- La visualización en pantalla (OSD) muestra toda la información relevante
- UV se superpone a lo visible en una de 4 preestablecido o 100 colores seleccionados por el usuario
- La translucidez de superposición UV se puede ajustar para mostrar la fuente de descarga
- GPS integrado con antena interna y de refuerzo
- A bordo de grabación de imágenes fijas y vídeo en formatos de alta calidad
- Fácilmente baterías Li-ion ligeros reemplazables, disponible en la mayoría de tiendas de cámaras, ofrecen hasta 3 horas de tiempo de funcionamiento
- Fast Set up & arranque evita la necesidad de los modos de ahorro de energía
- Fácil operación de la cámara con una mano a través de un teclado multifunción, con teclas de acceso rápido a funciones específicas

4.3.5 *Transformador Elevador de Voltaje o Autotransformador.* El Autotransformador es un transformador especial que cuenta con un devanado común al lado primario y secundario. Dicho devanado tiene dos bornes accesibles, un tercero que conecta a una toma intermedia del bobinado y un cuarto borne común a alguno de los dos primeros.

Una de las grandes ventajas del transformador elevador es que al contar solo con un devanado es más barato y genera menos pérdidas por lo tanto tiene un mejor rendimiento. También cuenta con la desventaja que no cuenta con un aislamiento entre los circuitos primario y secundario de cada fase.

Se pueden encontrar transformador elevador donde el terminal del secundario no es fijo sino que se mueve por la manipulación de una perilla, esto permite variar la relación de transformación y obtener un voltaje variable. Este tipo de autotransformador recibe el nombre de VARIAC, el cual suele tener un circuito magnético en forma de toro y alrededor de este se enrolla el primario y el secundario a la vez.

Figura 4. Esquema del autotransformador



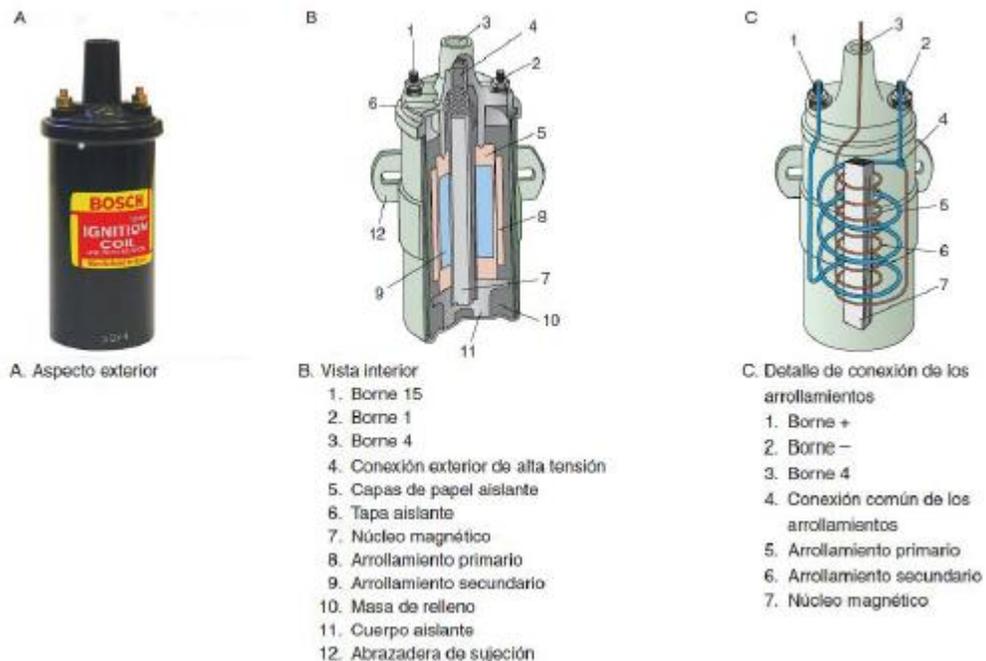
Fuente: [https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/66928/mod\\_resource/content/1/Transformadores/Autotransformadores.pdf](https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/66928/mod_resource/content/1/Transformadores/Autotransformadores.pdf).

El primario va conectado al circuito de baja tensión (tensión de batería) y está formado por un hilo grueso de cobre (0,5mm a 0.8mm de diámetro) y unas pocas espiras (entre 200 y 300 aproximadamente). El secundario va conectado por uno de sus extremos al primario y por el otro al circuito de alta tensión que se cierra a través de las bujías. Este arrollamiento es de hilo de cobre muy fino (0,06 a 0,08mm de diámetro) y presenta muchas espiras (de 20000 a 30000). Ambos

arrollamientos están aislados entre sí por papel y bañados en resina epoxi o en asfalto, para dar rigidez al conjunto frente a las vibraciones<sup>2</sup>.

El principio de funcionamiento del transformador elevador se da por el efecto de un campo magnético producido al alimentar el primario de este, produciendo así una corriente inducida<sup>3</sup>, lo que indica que al variar el campo magnético del enrollado del primario, genera una corriente en el secundario que se opone a esa variación.

Figura 5. Transformador elevador convencional tipo botella y estructura interna



Fuente: Sistemas auxiliares del motor, J. Pardiñas, Editex, pág. 13.

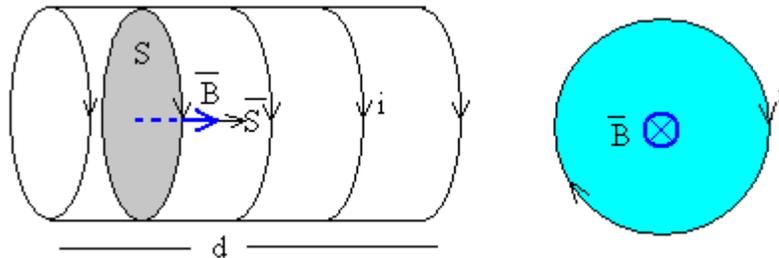
4.3.5.1 *Autoinducción*. Al variar la corriente en un circuito se varía el campo magnético de este, lo cual, produce una f.e.m inducida la cual se denomina fuerza electromotriz autoinducida.

Suponiendo que se tiene un solenoide de  $N$  espiras, de longitud  $l$  y de sección  $S$  recorrido por una corriente de intensidad  $i$  como se muestra en la figura 6.

<sup>2</sup> Tesis de Grado, Diseño e Implementación de un Prototipo para el Diagnóstico y Respaldo de los Sistemas de Encendido de Vehículos a Gasolina y a Gas Natural, pág. 32

<sup>3</sup> Estas variaciones del campo magnético son explicados por la ley de Lenz. Esta es una consecuencia más del principio de conservación de la energía aplicado a la energía del campo electromagnético

Figura 6. Solenoide recorrido por una corriente de intensidad  $i$



Fuente: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/induccin/autoinduccin/autinduccin.htm>.

Suponiendo que la corriente aplicada al solenoide es uniforme y paralela a su eje, cuyo valor se obtuvo aplicando la ley de Ampère  $B$ , la cual se describe en la ecuación (7)

$$B = \frac{\mu_0 N i}{l} \quad (7)$$

Donde  $\mu_0$  es la permeabilidad del vacío.

Este campo atraviesa todas las espiras del solenoide, donde el flujo de dicho campo se denomina flujo propio  $\Phi$ , que es la ecuación (8).

$$\Phi = N \mathbf{B} \cdot \mathbf{S} = N B S \cos 0 = \frac{\mu_0 N^2 S}{l} i \quad (8)$$

La ecuación (9) se denomina coeficiente de autoinducción  $L$  al cociente entre el flujo propio y la intensidad  $i$

$$L = \frac{\Phi}{i} = \frac{\mu_0 N^2 S}{l} \quad (9)$$

Cuando la intensidad de la corriente  $i$  cambia con el tiempo, se induce una f.e.m. en el propio circuito que se opone a los cambios de flujo, es decir de intensidad.

Si se deriva con respecto al tiempo, la expresión del flujo propio es la ecuación (10)

$$V_l = -\frac{d\Phi}{dt} = -L \frac{di}{dt} \quad (10)$$

4.3.6 *Transistor de Potencia.* Los transistores de potencia son elementos con características especiales para soportar las altas tensiones, intensidades, y por lo tanto, las altas potencias a disipar. Su funcionamiento y utilización es idéntico a los transistores de baja potencia, con características de control en corte y saturación o como elementos de conmutación. Estos transistores se pueden clasificar de manera general en cuatro categorías:

- Transistores bipolares de juntura (BJT)
- Transistores semiconductores de metal de óxido de efecto de campo (MOSFET)
- Transistores de inducción estática (SIT)
- Transistores bipolares de compuerta aislada (IGBT)

Este tipo de transistores se pueden tratar como interruptores ideales, los cuales son mucho más simples que un tiristor interruptor de conmutación forzada. Las características y especificaciones difieren de cada uno y de acuerdo a la aplicación que se requiera, deberá de elegirse el transistor más apropiado para la correcta utilización de este.

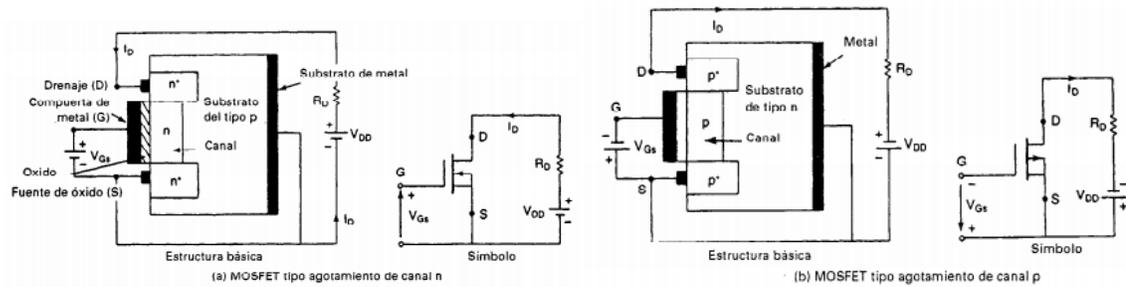
4.3.6.1 *Transistor de efecto de campo de metal-óxido semiconductor.* Un transistor MOSFET de potencia es un dispositivo controlado por voltaje, donde solo necesita de una pequeña corriente de entrada; tienen una velocidad de conmutación bastante alta gracias a que los tiempos de conmutación están en el orden de los nanosegundos. Este tipo de transistor tiene cuatro terminales llamados fuente (S), drenador (D), compuerta (G) y sustrato (B) (aunque generalmente el sustrato está conectado internamente al terminal fuente), y también tiene problema de descargas electrostáticas y es relativamente difícil protegerlos bajo condiciones de falla por corto circuito<sup>4</sup>.

Existen dos tipos de MOSFET: los MOSFET tipo agotamiento, tal y como se muestra en la figura 7, y los MOSFET tipo enriquecimiento, como se observa en la figura 8.

---

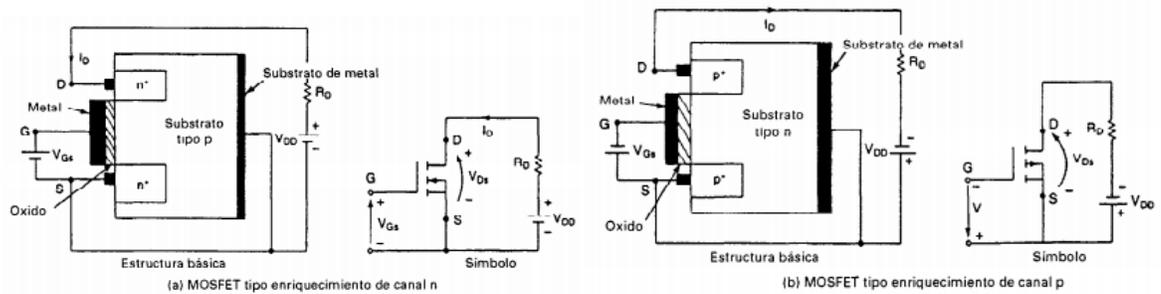
<sup>4</sup> Electrónica de Potencia. Circuitos, dispositivos y aplicaciones.

Figura 7. MOSFET tipo agotamiento de canal n y canal p



Fuente: Electrónica de Potencia. Circuitos, dispositivos y aplicaciones.

Figura 8. MOSFET tipo enriquecimiento de canal n y canal p

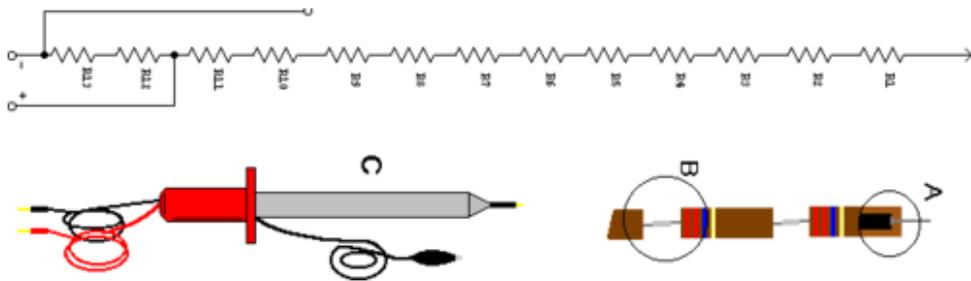


Fuente: Electrónica de Potencia. Circuitos, dispositivos y aplicaciones.

4.3.7 *Medición de Alto Voltaje.* Por lo general la mayoría de los multímetros o tester solo pueden medir tensiones del orden de los 1000 o 1200 V como máximo. Por eso para poder medir altos voltajes se tiene que utilizar voltímetros electrostáticos o reduciéndolo a través de divisores resistivos de gran potencia o transformadores para su posterior medición.

4.3.7.1 *Sonda de alto voltaje.* A través de divisores resistivos se puede crear una sonda de alto voltaje, la cual permite reducir en un porcentaje determinado la tensión aplicada, para que pueda ser medida por un voltímetro o multímetro de uso común, como se muestra en la figura 9.

Figura 9. Sonda de alto voltaje.

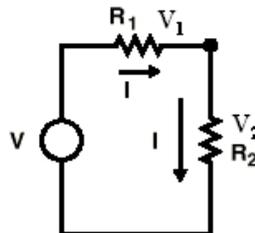


Fuente: <http://www.comunidadelectronicos.com/proyectos/sonda-AV.htm>

4.3.7.2 *Divisores de voltaje.* Es una configuración de circuito que divide la tensión de la fuente en una o más impedancias conectadas en serie. La figura 10 muestra el divisor de voltaje se emplea cuando el voltaje es grande y existe la necesidad de dividir tal voltaje.

Con sólo dos resistencias en serie y un voltaje de entrada, se puede obtener un voltaje de salida equivalente a una fracción del de entrada. Los voltajes y resistencias se calculan utilizando la ecuación (11):

Figura 10. Divisor de Voltaje



Fuente: Autor del Proyecto.

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V \quad V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V \quad (11)$$

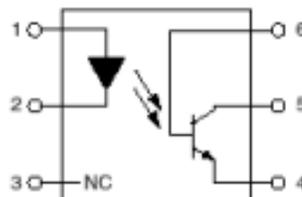
4.3.8 *Aislamiento Eléctrico*. Cuando se desea manejar tensiones muy altas con valores de tensión bajas o medir esos voltajes elevados, es indispensable tener un medio de protección que aislé la etapa de alta potencia de la etapa de baja potencia. Este aislamiento consiste en una separación física y eléctrica donde se eliminan los circuitos a tierra de dos sistemas eléctricos y tiene como funciones principales prevenir la formación de circuitos a tierra, rechazar el voltaje de modo común y proporcionar seguridad<sup>5</sup>.

Los aislantes eléctricos tienen una conductividad eléctrica demasiado baja que se puede ignorar la corriente que pasa por él. Esta corriente se conoce como corriente de fuga.

El vacío es el único aislante perfecto ya que tiene una conductividad nula y no circulan corrientes de fuga por allí.

4.3.8.1 *Aislamiento óptico*. El aislamiento óptico es generalmente utilizado en sistemas de aislamiento digital. Teniendo en cuenta que muchos sistemas digitales controlan a otros sistemas o realizan funciones de control tales que deben ser interconectados a una etapa de potencia, es preferible que entre la etapa de potencia y la digital se utilice un medio de acoplamiento que permita aislar eléctricamente los dos sistemas. Esto se logra utilizando un optoacoplador, mediante el cual se obtiene el acoplamiento óptico como se muestra en la figura 11.

Figura 11. Esquema Eléctrico Optoacoplador



Fuente: <http://www.unet.edu.ve/~ielectro/5-Aislamiento.pdf>

Un optoacoplador une dos dispositivos semiconductores: fotoemisor y fotoreceptor habiendo entre ellos un camino por donde se transmite la luz. La principal ventaja

<sup>5</sup> Diseño e implementación de un prototipo para el diagnóstico y respaldo de los sistemas de encendido de vehículos a gasolina y a gas natural, pág. 52.

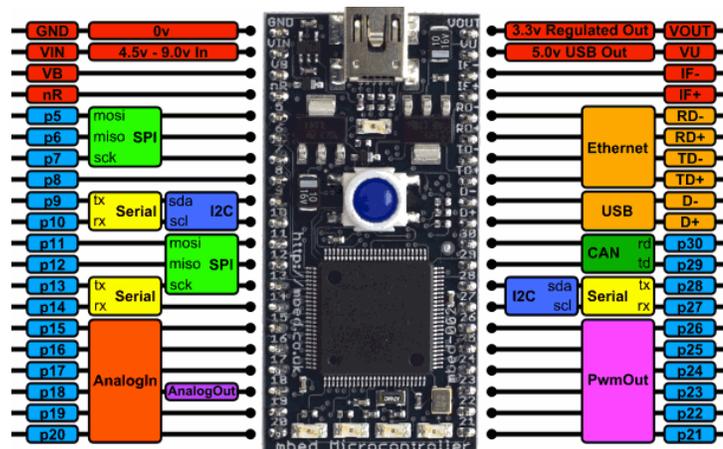
de un optoacoplador es el aislamiento eléctrico entre los circuitos de entrada y salida. Por medio del optoacoplador, el único contacto que existe entre ambos circuitos es un haz de luz. Esto se convierte en una resistencia de aislamiento entre los dos circuitos del orden de miles de mega ohmios. Dichos aislamientos son apropiados en aplicaciones de alta tensión en las que los potenciales de los dos circuitos pueden diferir en varios miles de voltios.

4.3.9 *Microcontrolador MBED*. Los microcontroladores mbed son una serie de módulos oficiales basados en la mbed HDK. Ofrecen soluciones de prototipo rápido, flexible, de bajo riesgo y profesional para poner en marcha su diseño. Está empaquetado en un DIP (tipo de encapsulado de circuitos integrados electrónicos) de 40 pines a 0.1" de forma conveniente para prototipos con protoboards sin soldadura, placas con pistas y circuitos impresos. Estos incluyen una interfaz de programación USB incorporado que es tan simple como usar una unidad flash USB. Basta conectarlo, colocar en un programa binario ARM, y ponerlo a funcionar.

Tiene una interfaz USB programable que trabaja con Windows, Mac OS y Linux, lo que significa que puede volver a resetear el microcontrolador sin necesidad de drivers o una aplicación de programación. El programa binario se puede generar fácilmente utilizando el compilador de línea mbed, o bien utilizando cualquier otro compilador estándar offline toolchain como Keil uVision, Code Red, Código Sourcery, GCC, o IAR. También hay soporte para el puerto serie virtual utilizando la misma interfaz USB, que permite la comunicación con un terminal PC, Labview, Matlab, y cualquier otro lenguaje de programación que se puede comunicar con un puerto COM.

La figura 12 presenta una vista general del microcontrolador MBED y la tabla 1 enseña las características de este.

Figura 12. Mbed NXP LPC1768



Fuente: <https://developer.mbed.org/platforms/mbed-LPC1768/>

Tabla 1. Características de LPC1768

Aplicaciones previstas	Ethernet, USB Host y potentes aplicaciones. Mejor rendimiento y conectividad.
Especificaciones del núcleo	Núcleo ARM Cortex-M3, frecuencia de 96 MHz, FLASH 512 KB, RAM 32 KB, potencia de 60-120 mA (Vin)
Periféricos	Ethernet, Usbhost, Usbdevice, SPI, I2C, CAN, AnalogIn, PwmOut, AnalogOut.

Fuente: <https://developer.mbed.org/platforms/mbed-LPC1768/>

4.3.9.1 *Herramientas y Software.* Los microcontroladores mbed son soportados por el sitio web para desarrolladores mbed.org, incluyendo un compilador de línea ligera para un acceso instantáneo a su entorno de trabajo en Windows, Linux o Mac OS X. También incluido en lenguaje C/C++ SDK para productividad de alto nivel en programación de periféricas. Combinado con el sin fin de librerías y ejemplos de códigos publicados por la comunidad mbed, la plataforma da un entorno productivo para ajustarse a su comodidad.

Cortex-M3 procesador

El procesador ARM Cortex™-M3 es el procesador de 32 bits líder en la industria para aplicaciones en tiempo real altamente deterministas, desarrollado específicamente para permitir a los socios a desarrollar plataformas de bajo costo de alto rendimiento para una amplia gama de dispositivos, incluyendo microcontroladores, sistemas de carrocería de automóviles, sistemas de control industrial y redes inalámbricas y sensores. El procesador ofrece un excelente rendimiento computacional y la respuesta del sistema excepcional de los acontecimientos, mientras que satisfacen los retos de bajo restricciones de potencia dinámica y estática. El procesador es altamente configurable que permite una amplia gama de implementaciones de los que requieren protección de la memoria y la tecnología de rastreo de gran alcance para cuestan dispositivos sensibles que requieren área mínima.

## 5. DISEÑO METODOLÓGICO

5.1 *Diseño del Generador de Alta Tensión.* Para el diseño del circuito que conforma el generador de alta tensión se debieron tener en cuenta varios aspectos:

- La variación de voltaje en la salida del transformador elevador.
- La configuración adecuada para la generación de alto voltaje.
- La configuración de resistencias en la sonda de alta tensión que permitirá tener el voltaje apropiado para la lectura de datos en el microcontrolador.
- La visualización del voltaje de salida del autotransformador.

Ya teniendo claro dichos aspectos, estos se convertirán en etapas las cuales se desarrollaran a continuación.

5.1.1 *Etapas 1: Variación de voltaje.* Esta etapa es la encargada de controlar la salida de voltaje del transformador elevador, para ser enviada a la compuerta del transistor que está en la etapa de potencia. Está conformada por un circuito oscilador, un integrado NE555N<sup>6</sup>, el cual tiene una configuración multivibrador astable, que se caracteriza por tener una salida continua de onda cuadrada a una frecuencia específica deseada. Esta frecuencia varía de acuerdo al valor de resistencia que entrega un potenciómetro con la suma de dos resistencias más para ser conectados entre los pines descarga<sup>7</sup> y disparo<sup>8</sup> del integrado.

Se necesita un rango de frecuencias para la variación del voltaje de salida del transformador elevador, por tal motivo, se configuró el oscilador de tal forma que entregara a la salida frecuencias entre 78 Hz a 15 kHz; esto se logra con una resistencia de 3 kilohmios, 330 ohmio, un potenciómetro de 1 megaohmio (configuración en serie para la suma de los valores de estas), y un condensador de 22 nanofaradios y 10 nanofaradios (configuración en paralelo para la suma de estos) como lo muestra la figura 13.

Unido a esto es indispensable poner una etapa de protección que aisle el circuito de frecuencia con el de potencia, para lo cual se utiliza un circuito integrado opto transistorizado.

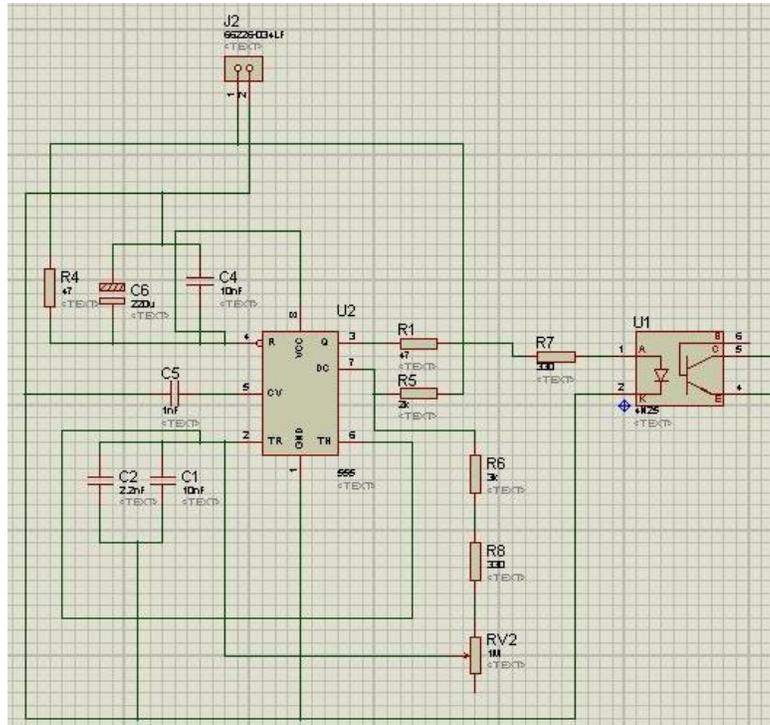
---

<sup>6</sup> El integrado NE555N es un temporizador u oscilador, el cual puede proporcionar hasta cuatro circuitos de sincronización.

<sup>7</sup> Pin 7 utilizado para descargar efectivamente el condensador externo del temporizador.

<sup>8</sup> Pin 2 donde se establece el inicio del tiempo de temporización.

Figura 13. Etapa 1: Variación de frecuencia



Fuente: Autor del Proyecto

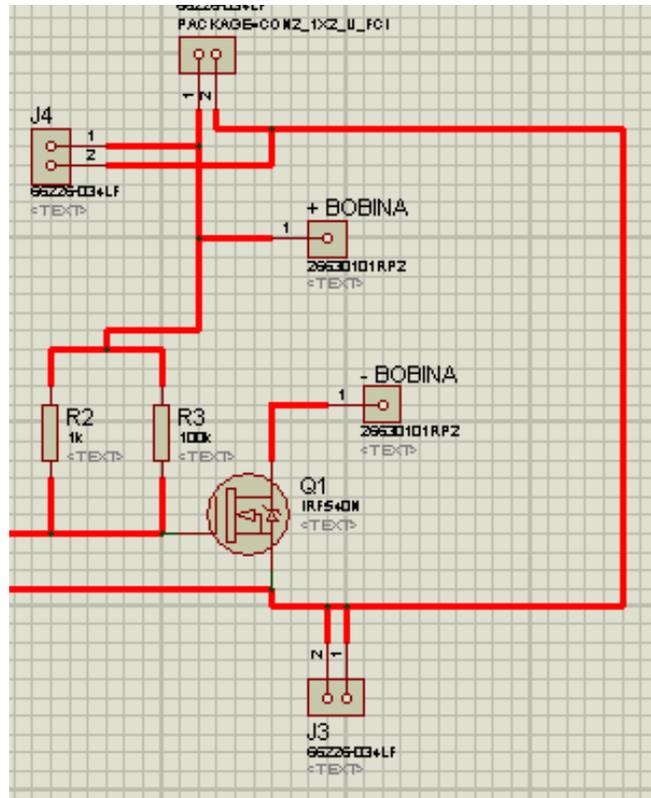
5.1.2 *Etapa 2: Circuito de Potencia.* La etapa de potencia, ilustrada en la figura 14, está conformada por un transistor IRF4550n, dos resistencias en paralelo de 1 kilohmio y 100 kilohmmios, y un transformador elevador. El transistor tiene una configuración de corte y saturación, en la cual permite la variación de voltaje en la salida de alta por medio de la variación de frecuencia que viene de la etapa anterior, donde las dos resistencias en paralelo controlan el paso de la corriente que la compuerta del transistor necesita para ser excitada, y así generar el cambio de tensión; esta corriente es suministrada por la fuente de 12 voltios que también alimenta al transformador elevador.

El propósito de la etapa uno es permitirle al transistor cerrar y abrir el paso de voltaje entre DRAIN y SOURCE por medio de la variación de frecuencia que llega a GATE. Al haber estas variaciones, la reactancia inductiva cambiará de manera proporcional al voltaje<sup>9</sup>, y como en este caso el transformador elevador es un

<sup>9</sup> Ley de Ohm.

autotransformador, el cambio de reactancia se presentará también a la salida de este.

Figura 14. Etapa de Potencia

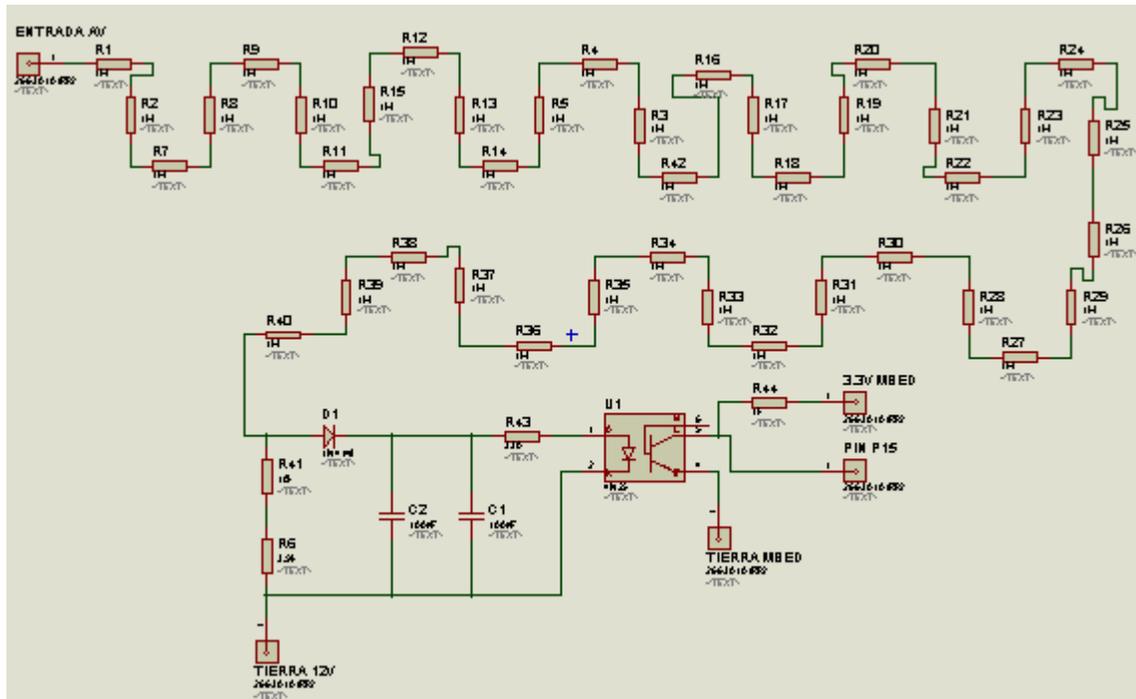


Fuente: Autor del proyecto.

5.1.3. *Etapa 3: Sonda de Alta Tensión.* Esta etapa está conformada por un divisor de voltaje y un rectificador de media onda como lo muestra la figura 15. El divisor de voltaje está compuesto por una resistencia de 40 megaohmios y una de 45 kiloohmios. La resistencia de 40 mega ohmios se formó con una serie de 40 resistencias de 1 mega ohmio de medio vatio. El rectificador de media onda se realizó con un diodo 1N4148 en serie con un capacitor de 200 nanofaradios. La tierra de la sonda debe estar conectada a la tierra del circuito de potencia.

Esto con el fin de dividir el voltaje y poder recibir 3.3 voltios y así enviarlo al microcontrolador para poder visualizar el voltaje que está entregando el generador.

Figura 15. Etapa 3: Sonda de alta tensión



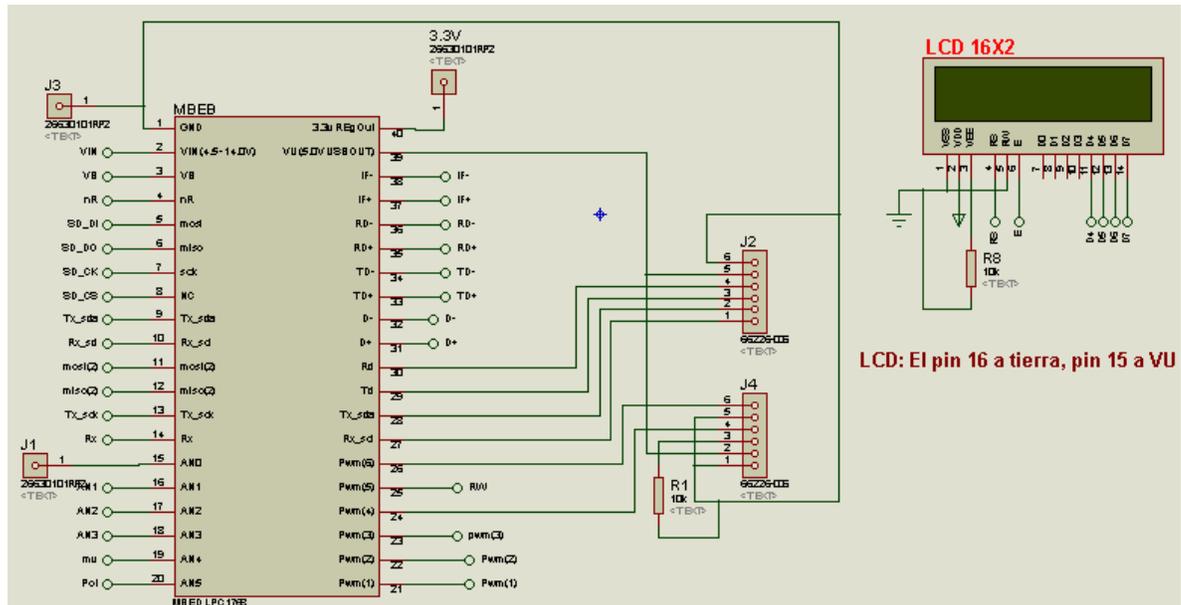
Fuente: Autor del Proyecto

5.1.4. *Etapa 4: Visualización.* Esta etapa está conformada por un microcontrolador MBED y una LCD como se muestra en la figura 16.

El voltaje que sale de la sonda de alta tensión es enviado a un pin analógico del MBED en el cual se hace la debida programación para poder ver en la LCD el resultado del voltaje que está entregando el generador.

La tierra de esta etapa es independiente a las demás, también debe existir una etapa de protección entre la etapa de la sonda y la de visualización, pero lo cual se utiliza un circuito integrado opto transistorizado.

Figura 16. Etapa 4: visualización



Fuente: Autor del Proyecto

5.2 *Pruebas de Funcionamiento y Calibración del Generador de Alta Tensión.* Estas pruebas se realizaron en tres partes. El diseño inicial generaba el arco que se esperaba inicialmente, como lo muestra la figura 17, pero al colocar el transformador en la maqueta, se dejó acostado por mucho tiempo y la siguiente vez que se probó, el transformador dejó de funcionar<sup>10</sup>, ya que este es un transformador tipo botella. Por tal motivo, se cambió el transformador a uno tipo seco, el cual no presenta esta clase de inconveniente como lo muestra la figura 18.

Para generar un voltaje de salida menor al que ya se había obtenido, se optó por realizar una pequeña modificación al diseño inicial de la etapa de variación de voltaje. Este consta de añadirle un potenciómetro de 1 kilohmio al pin número cinco del integrado NE555N para cambiar el ancho de pulso o duty cycle de la señal de salida de este; como se muestra en la figura 19. En la figura 20 se observa una prueba realizada en la noche, con el mínimo voltaje de salida del transformador.

<sup>10</sup> Esto se debe a que el aceite que está dentro del transformador, no lubricó todo el enrollado de este.

Figura 17. Prueba con transformador tipo botella



Fuente. Autor del Proyecto

Es importante tener claro cómo se puede calcular el voltaje necesario para crea el arco eléctrico. Existe una ecuación que permite hallar el valor de dicho voltaje y está dada por la Ley de Paschen<sup>11</sup>. El modulo X de O. Von Pamel y S. Marchisio titulado “El proceso de conducción eléctrica 2da parte: La ruptura dieléctrica”, describe dicha ecuación de la siguiente manera: Según la teoría aproximada de Towsend la condición para la tensión de encendido  $V_e$  del gas es la ecuación (12):

$$\gamma(e^{\alpha d} - 1) = 1 \quad (12)$$

Donde:

$d$ : distancia entre electrodos.

$\alpha$ : coeficiente de ionización volumétrica del gas por los electrones (o primer coeficiente de Towsend), que es igual al valor medio de la cantidad de ionizaciones producidas por un electrón en un recorrido de longitud unitaria.

$\gamma$ : coeficiente de ionización superficial (otro coeficiente de Towsend), que es igual al número de electrones arrancados del cátodo por un ion positivo.

Para un gas y un material de cátodo dados, tenemos la ecuación (13) que:

---

<sup>11</sup> Llamada así en honor del físico alemán Friedrich Paschen (1865-1947) que fue el primero en establecerla en 1889.

$$\frac{\alpha}{p} = A. e^{\frac{-B}{E/p}} \quad (13)$$

Y para dos electrodos planos, la ecuación (14):

$$E = \frac{V}{d} \quad (14)$$

Donde:

$A, B$ : constante que dependen del gas.

$p$ : presión del gas.

$V$ : tensión entre electrodos.

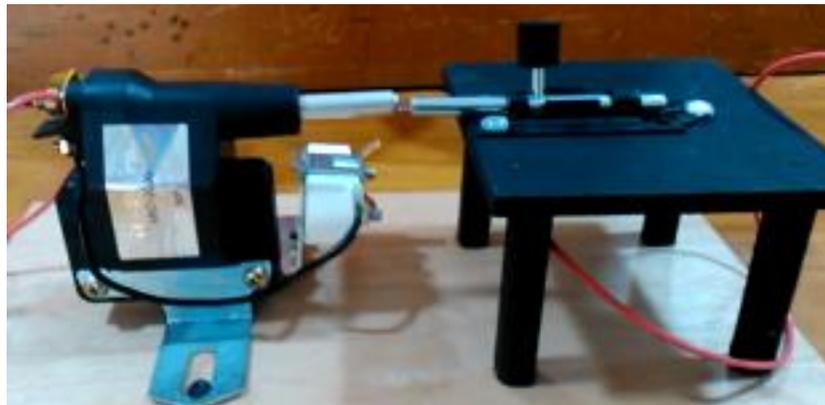
$E$ : campo en la zona interelectrónica.

Se reemplaza las dos últimas ecuaciones en la primera, y despreciando en esta el 1 frente a la exponencial, se obtiene la ley de dependencia de la tensión de encendido  $V_e$  con el producto  $p. d$ , la cual es la ecuación (15) conocida como:

$$V_e = \frac{B. P. d}{\ln \frac{[A p d]}{[\ln(1/\gamma)]}} \quad (15)$$

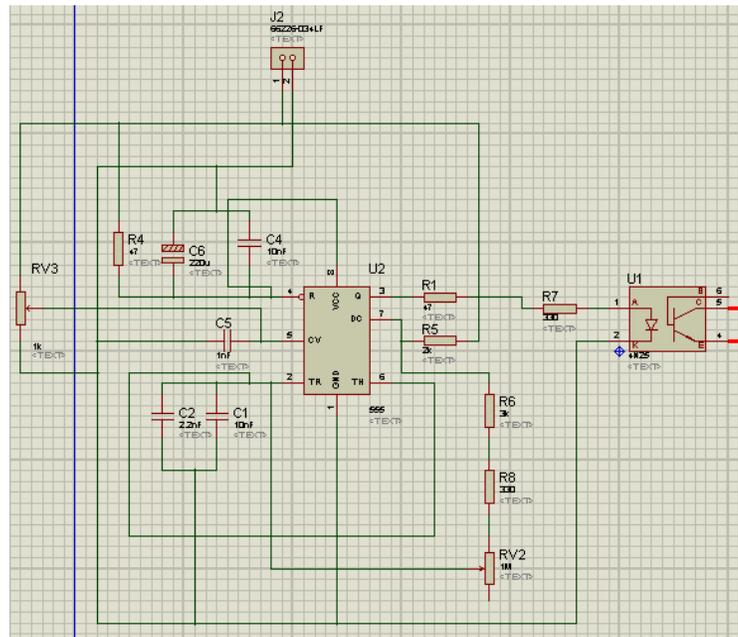
Para el presente proyecto no es posible calcular este voltaje, ya que no se cuenta con el instrumento para medir la variable  $E$ .

Figura 18. Prueba con transformador en seco



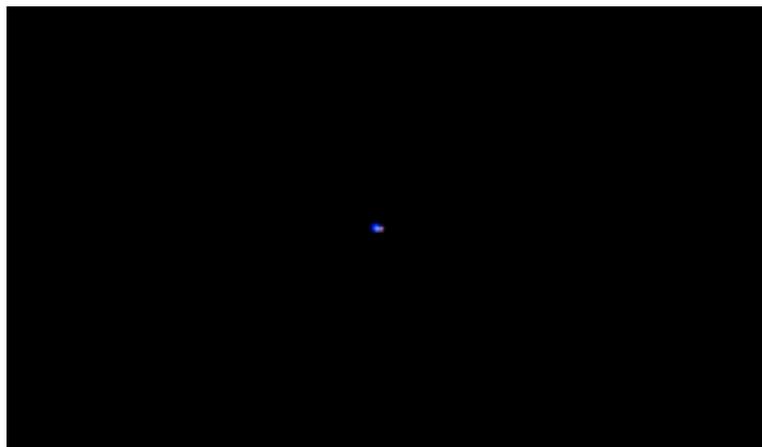
Fuente. Autor del Proyecto

Figura 19. Circuito de variación de frecuencia y ciclo de trabajo



Fuente. Autor del Proyecto

Figura 20. Prueba de noche con transformador en seco



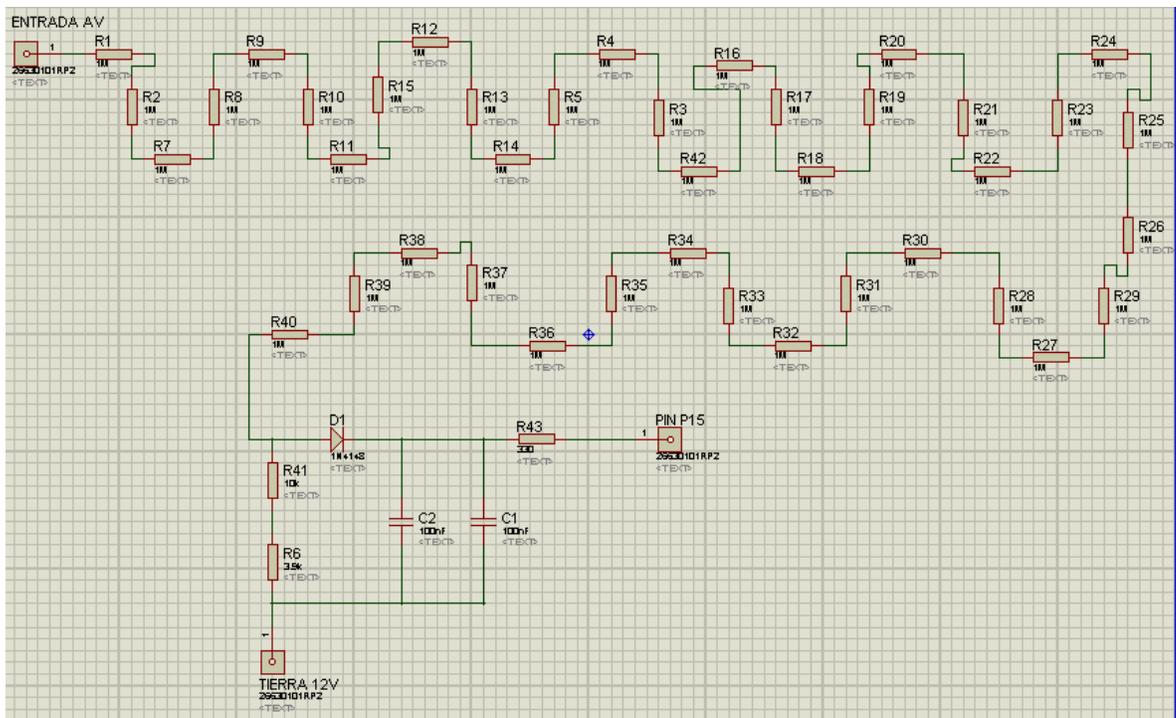
Fuente. Autor del Proyecto

Ya implementada la modificación de disminución del voltaje, se procede a realizar la medición del voltaje de salida del transformador por medio de la sonda con el circuito ya diseñado. Debido a la cantidad de resistencias implementadas, se disminuyó el voltaje en el orden de los microvoltios y era imposible para el MBED capturar las variaciones de este. Por tal motivo se vio la necesidad de implementar una etapa de amplificación para aumentar dicho voltaje con una ganancia de 11.

Además de esto, se muestra la distancia que hay entre el objeto de referencia a tierra y la salida del transformador. Para manipular la variación de esta distancia, se implementó un teclado matricial conectado a El MBED, el cual dará la orden por medio de código a un servomotor para mover el objeto de referencia a tierra.

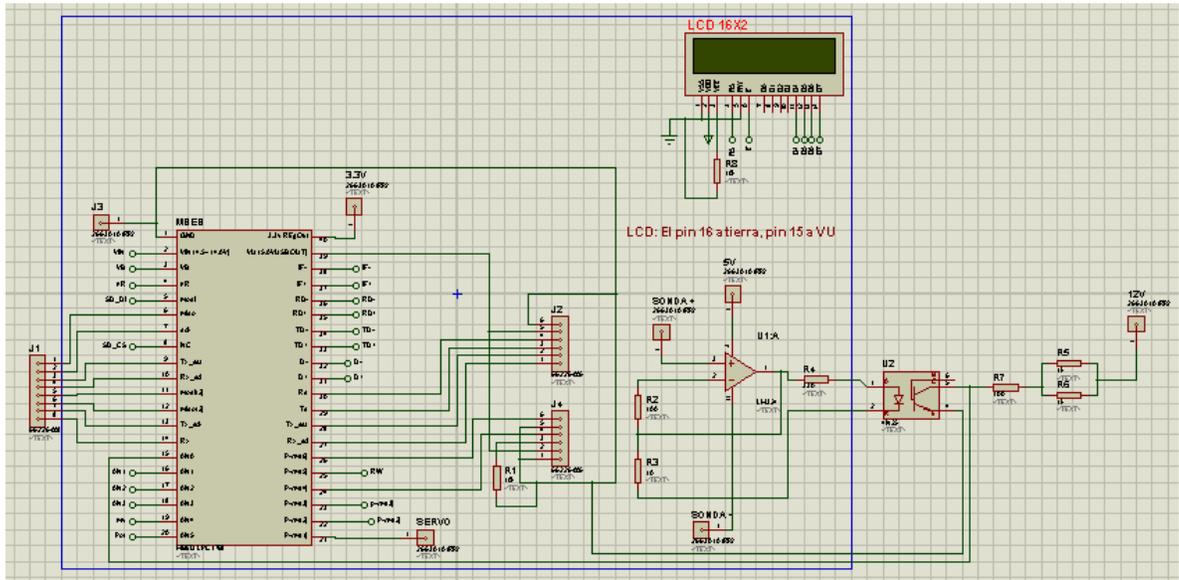
En la figura 21 y la figura 22 se muestran las modificaciones realizadas a los circuitos de la sonda de voltaje y visualización de este.

Figura 21. Modificación del circuito de la sonda de alta tensión



Fuente. Autor del Proyecto

Figura 22. Modificación del circuito de visualización



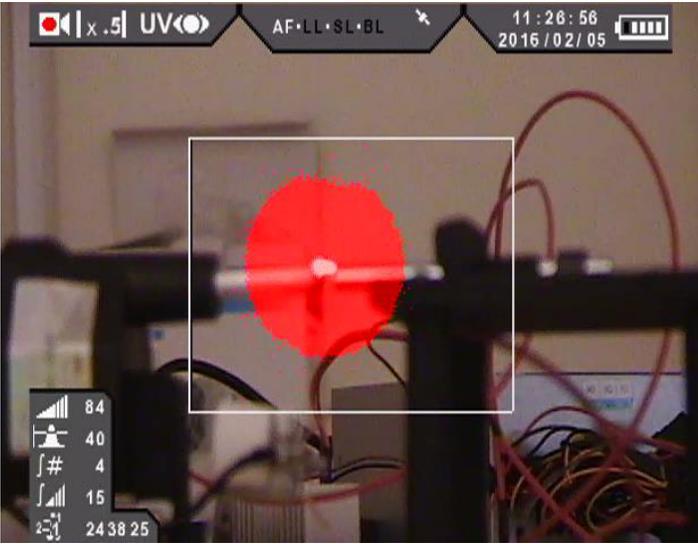
Fuente. Autor del Proyecto

5.3 *Pruebas con el Generador de Alta Tensión y Cámara Coronográfica.* En esta sección se presentará el registro fotográfico de las pruebas realizadas en el desarrollo del proyecto. Las pruebas se presentaron en dos partes según lo ya mencionado.

5.3.1. *Prueba uno.* Esta prueba se hizo con el diseño descrito en el numeral 5.1.

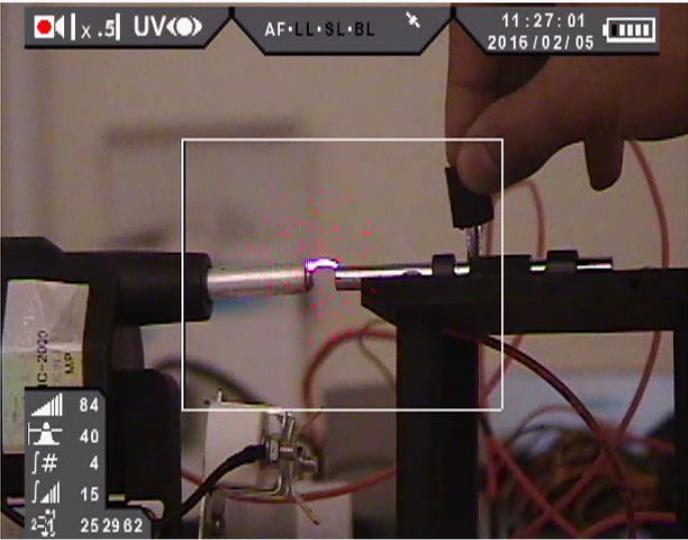
En la figuras 23, la figura 24 y la figura 25 se presentan de manera consecutiva la variación en distancia, dividiéndose esta en distancia mínima, media y máxima, donde la intensidad del arco eléctrico aumenta conforme se aumente la distancia de separación entre la salida del generador y el objeto con referencia a tierra.

Figura 23. Mínima distancia salida del transformador y el objeto de referencia a tierra



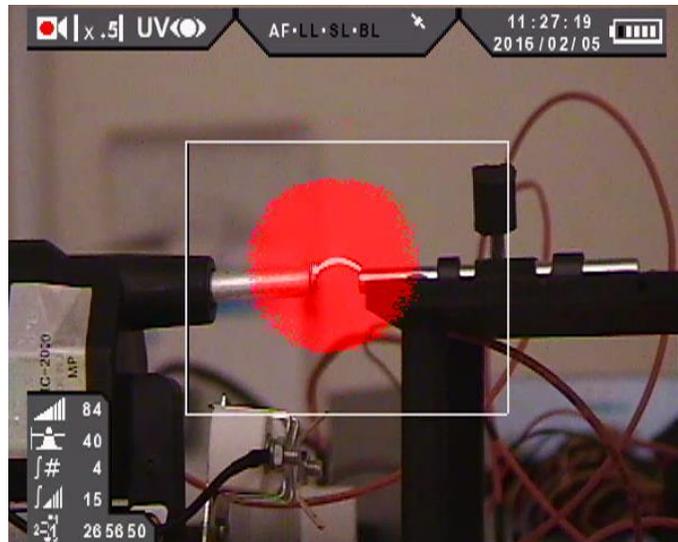
Fuente. Autor del Proyecto

Figura 24. Distancia media salida del transformador y el objeto de referencia a tierra



Fuente. Autor del Proyecto

Figura 25. Máxima distancia salida del transformador y el objeto de referencia a tierra



Fuente. Autor del Proyecto

5.3.2. *Prueba dos.* Para esta prueba fue necesario utilizar dos aisladores de suspensión tipo cuenca y bola de GAMMA CORONA, donde el aislador café había sido utilizado en una línea de distribución y transmisión, mientras que el aislador gris nunca se ha utilizado en una línea de estas (prueba realizada con el diseño del numeral 5.2). En estas pruebas se manejaron diferentes frecuencias en el generador, las cuales permitieron visualizar diferentes eventos con la cámara.

Al enfrentar cambios de clima y tiempo a la intemperie el aislador está expuesto a ciertos tipos de contaminantes como el polvo, el musgo, el agua, etc. Para volver los casos más reales, se puso contaminante de polvo y agua a los aisladores y se hicieron capturas con la cámara.

En la tabla 2 se muestra los resultados entregados por la cámara al aplicarle ciertas frecuencias.

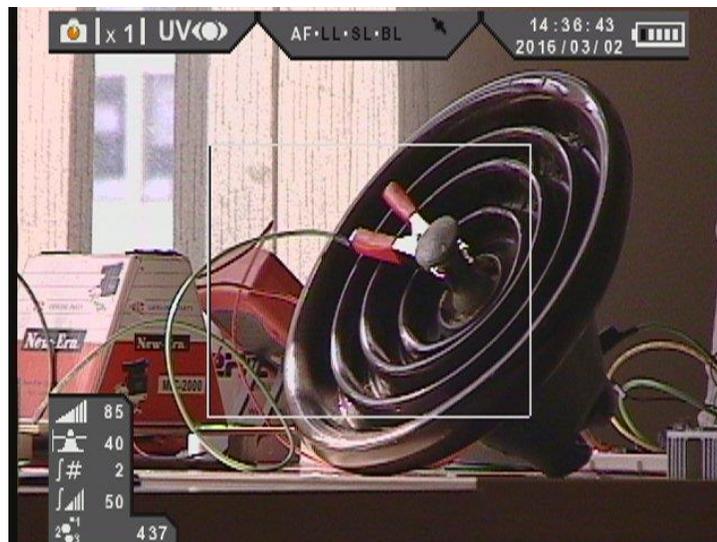
Tabla 2. Frecuencias utilizadas en la prueba dos

Frecuencia	Aislador Café con agua y tierra (☕)	Aislador Gris con agua (☕)	Aislador Café con agua (☕)
165 Hz	437	175	425
200 Hz	712	275	725
300 Hz	2400	475	650
400 Hz	3525	1037	687
500 Hz	5350	650	525
788 Hz	7275		275
1 kHz	-		75

Fuente. Autor del Proyecto

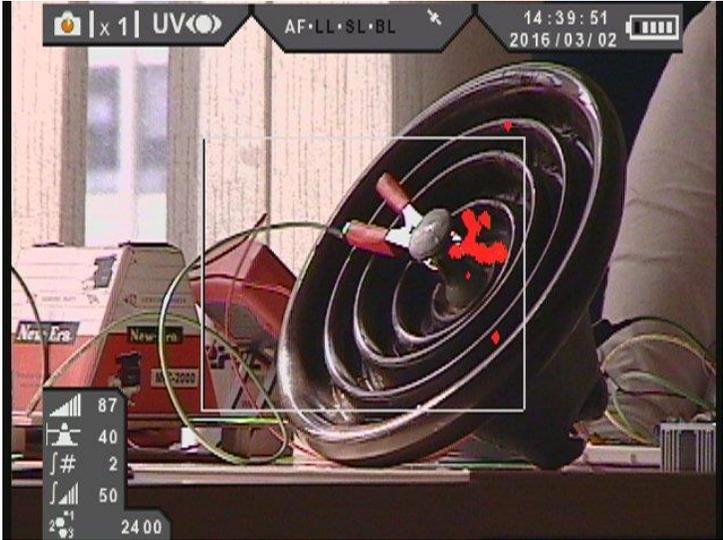
De la figura 26 a la figura 29 se presentaran las pruebas realizadas al aislador café contaminado con agua y tierra, y variaciones de frecuencia de 165 Hz, 300 Hz, 500 Hz y 788 Hz.

Figura 26. Aislador café contaminado con agua y tierra y con frecuencia en el transformador de 165 Hz



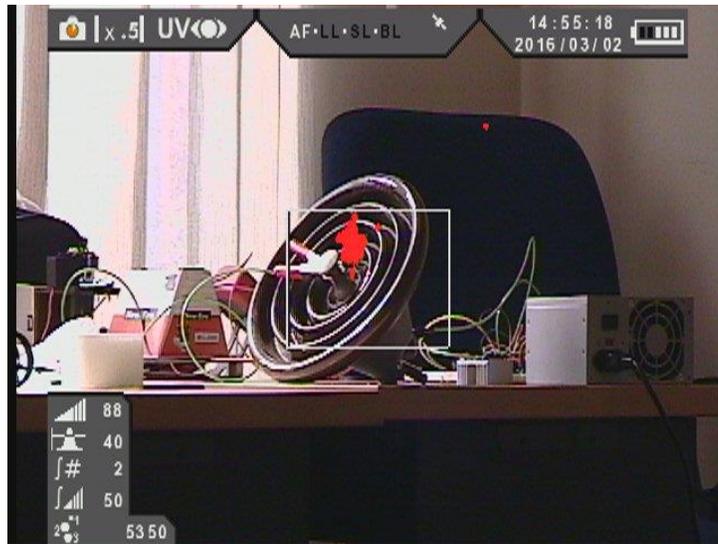
Fuente. Autor del Proyecto

Figura 27. Aislador café contaminado con agua y tierra y con frecuencia en el transformador de 300 Hz



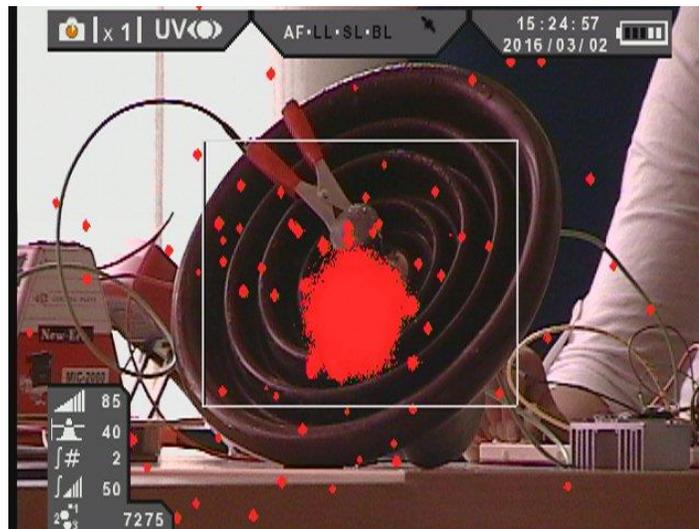
Fuente. Autor del Proyecto

Figura 28. Aislador café contaminado con agua y tierra y con frecuencia en el transformador de 500 Hz



Fuente. Autor del Proyecto

Figura 29. Aislador café contaminado con agua y tierra y con frecuencia en el transformador de 788 Hz



Fuente. Autor del Proyecto

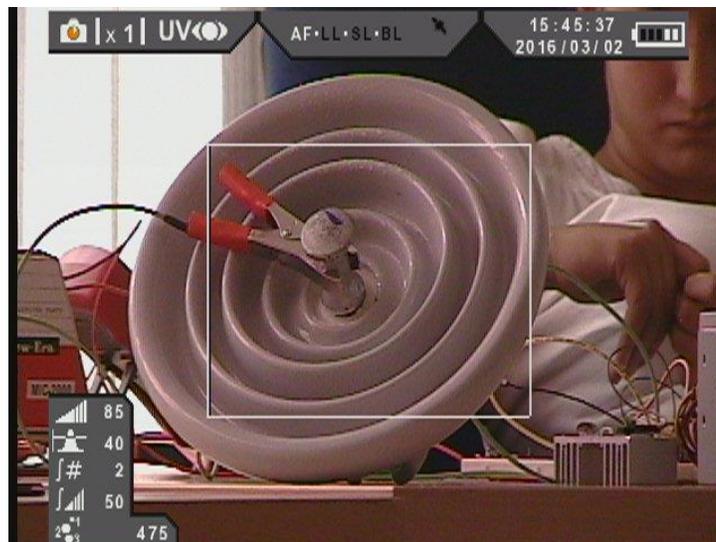
De la figura 30 a la figura 32 se presentaran las pruebas realizadas al aislador gris contaminado con agua, y variaciones de frecuencia de 165 Hz, 300 Hz y 500 Hz.

Figura 30. Aislador blanco contaminado con agua y con frecuencia en el transformador de 165 Hz



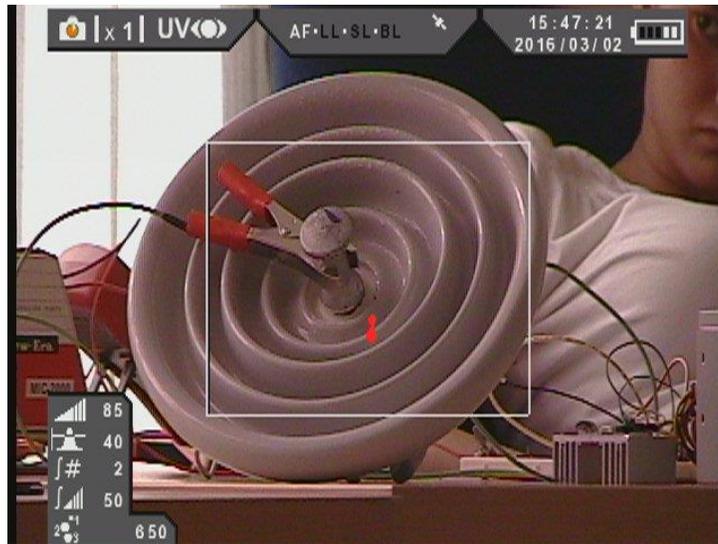
Fuente. Autor del Proyecto

Figura 31. Aislador blanco contaminado con agua y con frecuencia en el transformador de 300 Hz



Fuente. Autor del Proyecto

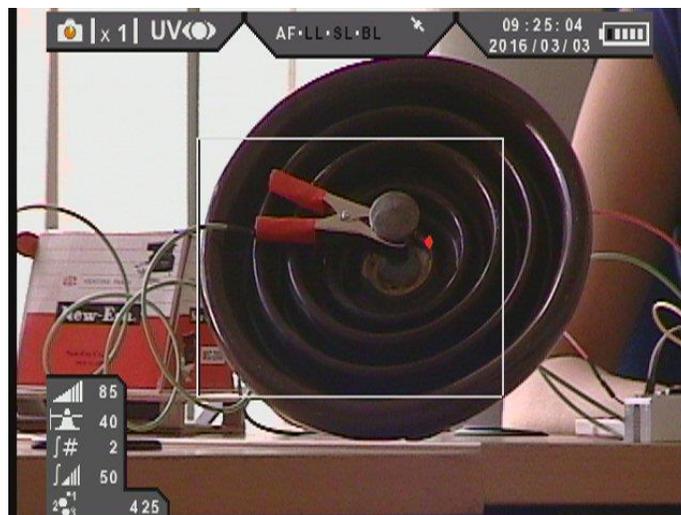
Figura 32. Aislador blanco contaminado con agua y con frecuencia en el transformador de 500 Hz



Fuente. Autor del Proyecto

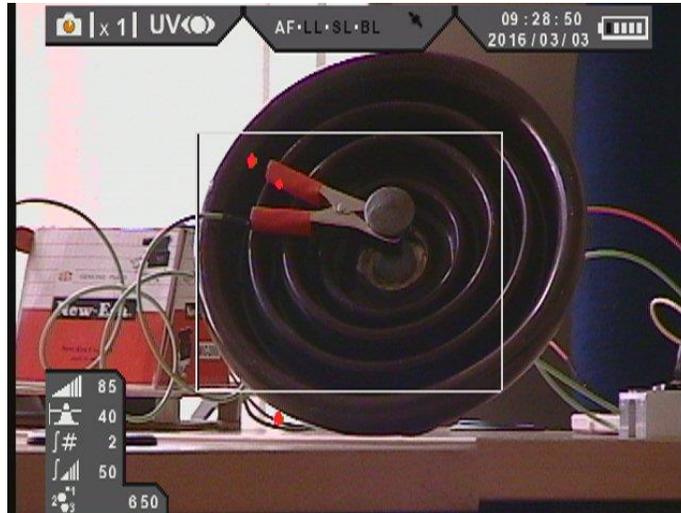
De la figura 33 a la figura 37 se presentaran las pruebas realizadas al aislador gris contaminado con agua, y variaciones de frecuencia de 165 Hz, 300 Hz, 500 Hz, 788 Hz y 1 kHz.

Figura 33. Aislador café contaminado con agua y con frecuencia en el transformador de 165 Hz



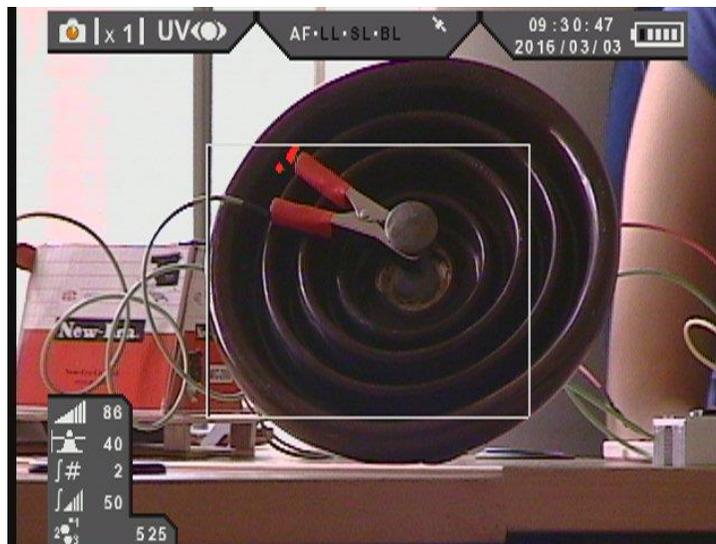
Fuente. Autor del Proyecto

Figura 34. Aislador café contaminado con agua y con frecuencia en el transformador de 300 Hz



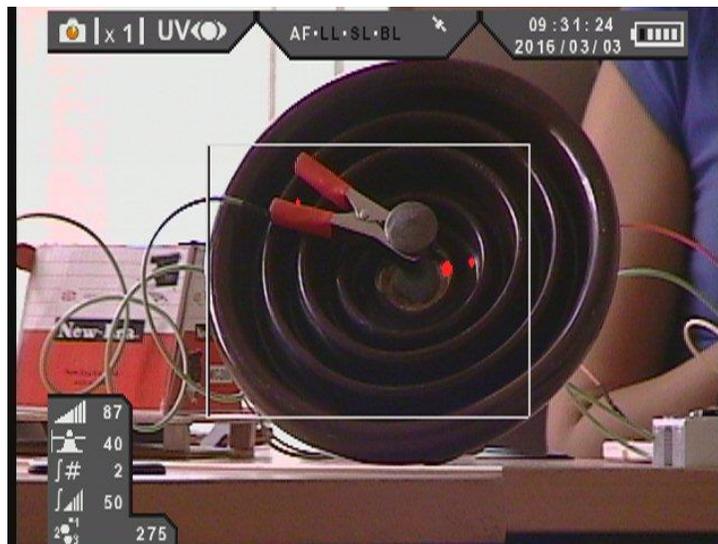
Fuente. Autor del Proyecto

Figura 35. Aislador café contaminado con agua y con frecuencia en el transformador de 500 Hz



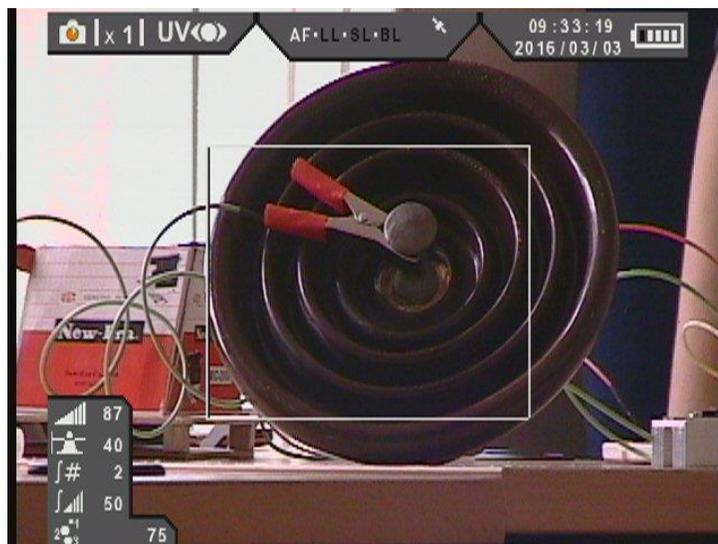
Fuente. Autor del Proyecto

Figura 36. Aislador café contaminado con agua y con frecuencia en el transformador de 788 Hz



Fuente. Autor del Proyecto

Figura 37. Aislador café contaminado con agua y con frecuencia en el transformador de 1 kHz



Fuente. Autor del Proyecto

5.4 *Comparación de Datos.* Hay que tener claro qué información brinda la cámara coronográfica para poder hacer comparaciones. Al enfocar con la cámara un objeto que emite radiación UV, ella detecta esta radiación y la asume como eventos, los cuales serán contados durante un segundo y luego serán visualizados

en la pantalla (cada segundo que pase será un nuevo conteo). Este número de eventos le permite al personal encargado de manipular la cámara saber cuál es el nivel de daño presente en el objeto evaluado; además del conteo, también se visualiza en la pantalla (en forma de puntos) el lugar exacto de daño presente en el este.

Estos daños se clasifican en la tabla 3 dependiendo del número de eventos detectados.

Tabla 3. Clasificación de nivel de daño

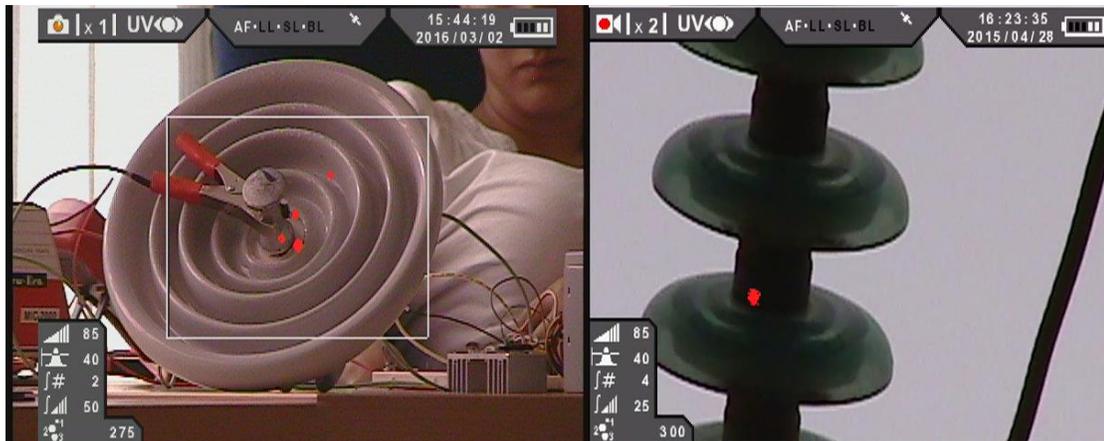
<b>Clasificación de nivel de daño</b>	
<b>A</b>	Conteos menores de 500 eventos por segundo. Actividad de descarga benigna. No requiere acción.
<b>B</b>	Conteos entre 500 y 1000 eventos por segundo. La actividad de descarga puede estar disminuyendo la vida del componente. La actividad de descarga pueden generar un ruido audible (AN) o interferencias de radio (RI) alertar. Monitorear por mayor daño o dirección de la alerta AN o RI.
<b>C</b>	Conteos entre 1000 y 2000 eventos por segundo. Dañado o componente degradado. Cambie o repare en la próxima oportunidad. El daño no afectará la seguridad o fiabilidad en un corto plazo.
<b>D</b>	Conteos mayores de 2000 eventos por segundo. EL componente plantea un riesgo para la seguridad o fiabilidad del sistema en el corto plazo. Retirar del servicio lo antes posible.

Fuente. Autor del Proyecto

Ya sabiendo cómo se clasifican los daños y habiendo realizado las pruebas, se procede a hacer comparaciones entre casos que se presentaron en subestaciones eléctricas y líneas de transmisión, y los casos que se forzaron en el desarrollo del proyecto como lo ilustra la figura 38, la figura 39, la figura 40, la figura 41 y la figura 42.

Las fotografías de subestaciones eléctricas y líneas de transmisión fueron suministradas por el ingeniero encargado del área de coronografía y termografía de la empresa LYANSA ELECTRICA.

Figura 38. Clasificación tipo A

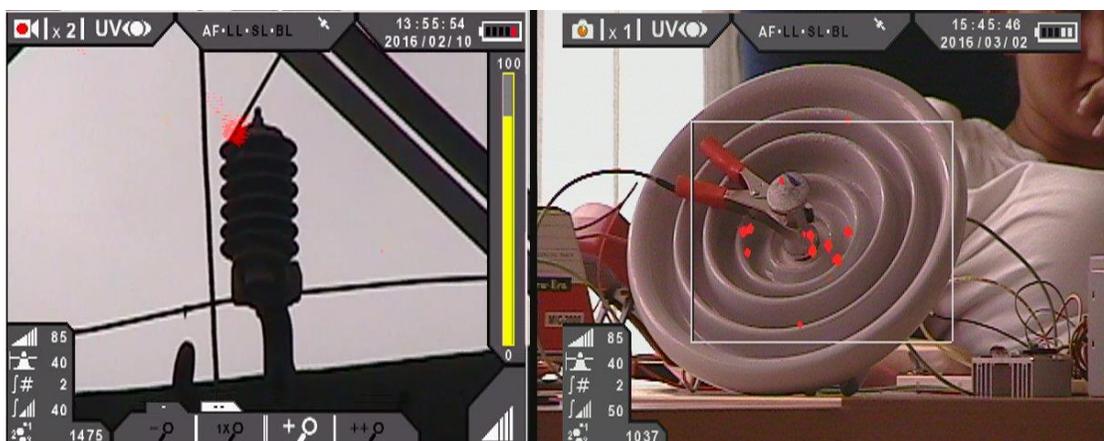


Fuente. Autor del Proyecto  
Figura 39. Clasificación tipo B



Fuente. Autor del Proyecto

Figura 40. Clasificación tipo C



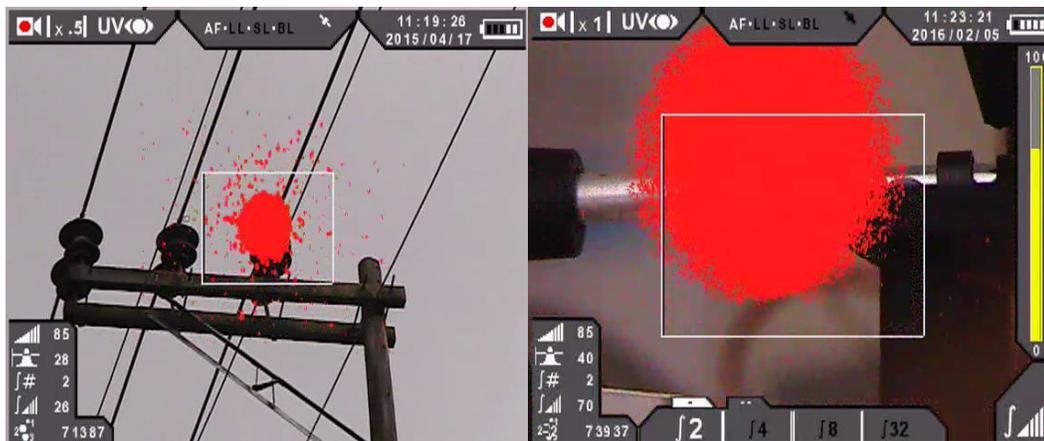
Fuente. Autor del Proyecto

Figura 41. Clasificación tipo D muestra uno



Fuente. Autor del Proyecto

Figura 42. Clasificación tipo D muestra dos



Fuente. Autor del Proyecto

*5.5 Creación del Protocolo para empresa Lyansa Eléctrica.* Se creó un protocolo para el buen manejo de la cámara coronográfica para que los empleados de la empresa Lyansa eléctrica puedan tener una guía de cómo utilizarla. En dicho manual se especifica la descripción de la cámara, el procedimiento, los valores y criterios de aceptación y la explicación de cada una de las funciones de la cámara que se debe tener en cuenta al momento de realizar una prueba con esta.

## 6. RECURSOS UTILIZADOS

Tabla 4. Materiales utilizados

REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1N4148	Diodo	1
4N25	Optotransistor	2
IRF540N	Transistor	1
LCM1602A	LCD	1
LM324	Amplificador	1
MBED	Microprocesador	1
MG90S	Servo motor	1
MIC-2000	Bobina	1
NE555N	Oscilador	1
	Resistencias	58
	Capacitores	7
	Potenciómetro	2
	Baquela	3
	Tabla de madera	2
	Pilas	6
	Fuente de poder	1
	Teclado matricial	1
	Caimanes	4
	Cable	1
	Buffers	40
	Caja en acrílico	1
	Cargador 5V	1
	Pasador de metal	1
GAMMA CORONA	Aislador de suspensión tipo cuenca y bola	1

## 7. RESULTADOS

En la primea prueba se pudo observar que a mayor frecuencia el arco eléctrico se hacía más visible por lo tanto se generaban más eventos ultravioleta por segundo. Estos eventos a su vez aumentaban a medida había más distancia entre la salida del transformador y el objeto de referencia a tierra.

En las pruebas con los aisladores se presentó lo mismo que en la primera prueba a mayor frecuencia mayor el número de eventos con la diferencia que en este el arco eléctrico no era visible pero si se podía captar el sonido que este genera.

Según los datos recolectados se logró ver la diferencia que existe entre un aislador usado contaminado, un aislador nuevo y un aislador usado.

En las pruebas realizadas se lograron buenos resultados debido a que se logró ver el mismo número de eventos que se llegan a generar en líneas de transmisión.

En el divisor de tensión al utilizar la gran cantidad de resistencias no fue de alta precisión para la medición del voltaje.

Se obtuvo una buena respuesta entre el aislamiento que se generó entre los circuitos.

## 8. CONCLUSIONES

La frecuencia es directamente proporcional al voltaje por tal razón es mayor el número de eventos ultravioleta.

Al hacer pruebas con la cámara cronografía se pudo observar que el transformador generaba ruido y no permitía visualizar bien el efecto, por lo tanto toco ponerle una caja que cubriera el transformador.

Fue necesario utilizar los aisladores, ya que los resultados obtenidos en la primera prueba no fueron los esperados debido a que al ser tan visible el arco eléctrico el número de eventos ultravioleta generados sobrepasaban los 60000 eventos por segundo siendo esto un caso extremo donde ya supera los límites del nivel del daño. Al hacer menos visible el arco se siguieron presentando número de eventos grandes, por esta razón se utilizó el aislador para poder ver y analizar bien la clasificación de nivel de daño.

En los aisladores se realizó un camino de agua para obligar que hubiera un corto circuito en el aislador y así poder ver visualizar mejor la radiación en la cámara coronográfica.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] RODAS RIVERA, Pedro Francisco. Ruptura Dieléctrica y Efecto Corona. Ingeniería Eléctrica, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.
- [2] GUERE RUPAY, Luis Ángel. Diagnostico en línea mediante descargas parciales como técnica de mantenimiento predictivo del devanado estatórico de los alternadores de ELECTROPERU S.A. Trabajo de Grado Ingeniero Mecánico Electricista: Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 2012.
- [3] CEVALLOS, K; HERDOÍZA, M; GALLO, J. Seguridad Eléctrica y Peligro de la Descarga de Arco. Artículo Trabajo de Grado: Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Guayaquil, Ecuador.
- [4] CUERO ORTEGA, Jairo David. Diseño e Implementación de un Prototipo para el Diagnóstico y Respaldo de los Sistemas de Encendido de Vehículos a Gasolina y a Gas Natural. Trabajo de Grado Ingeniero Electrónico: Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad de los Llanos, Villavicencio, Meta, Colombia, 2012.
- [5] Detectando Corona y Descarga de Corona. Disponible en Internet: <http://confiabilidad.net/articulos/detectando-corona-y-descarga-de-corona/>.
- [6] Sobrevila, Marcelo A. Instalaciones de Potencia. Libro. [s.l.] 1987. p. 218-221.
- [7] SYSRED Sistemas Eléctricos. Efecto Corona en Líneas de Transmisión. Febrero de 2013. p 2-3.
- [8] DOUGNAC, Andrés. Precauciones ante el arco eléctrico. Revista Electro industrial.
- [9] Arco Eléctrico. Facultad de ingeniería, escuela eléctrica, Universidad Don Bosco. Disponible en Internet: <http://udb.edu.sv/udb/archivo/guia/electrica-ingenieria/analisis-de-sistemas-de-potencia-ii/2015/i/guia5.pdf>.
- [10] Descargas parciales. Disponible en Internet: [http://electronica.uc3m.es/~linealt/Documentos/descargas\\_parciales.pdf](http://electronica.uc3m.es/~linealt/Documentos/descargas_parciales.pdf).
- [11] Energía y Computación Volumen XI. No. 2 - Edición N. 20. Montaje de la Prueba de Descargas Parciales como técnica para el diagnóstico del Aislamiento en cables Eléctricos. Disponible en Internet: <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/1410/1/6%20Montaje%20de>

%20la%20prueba%20de%20descargas%20parciales%20como%20tecnica%20para%20el.pdf.

[12] Maloney, Tomothy J. Electrónica industrial, Dispositivos y Sistemas. México DF: Prentice Hall, 1997. p.

[13] Rashid, Muhammad H. Electrónica de Potencia Circuitos, dispositivos y aplicaciones. Universidad Purdue, Fort Wayne, 1995. p. 280-282.

[14] Rodríguez Pozueta, Miguel Ángel. Aislantes y Conductores utilizados n las Máquinas Eléctricas. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria. Disponible en Internet: <http://personales.unican.es/rodrigma/PDFs/Aislantes%20y%20conductores.pdf>.

[15] Microcontrolador mbed. Disponible en Internet: Fuente: <https://developer.mbed.org/platforms/mbed-LPC1768/>.

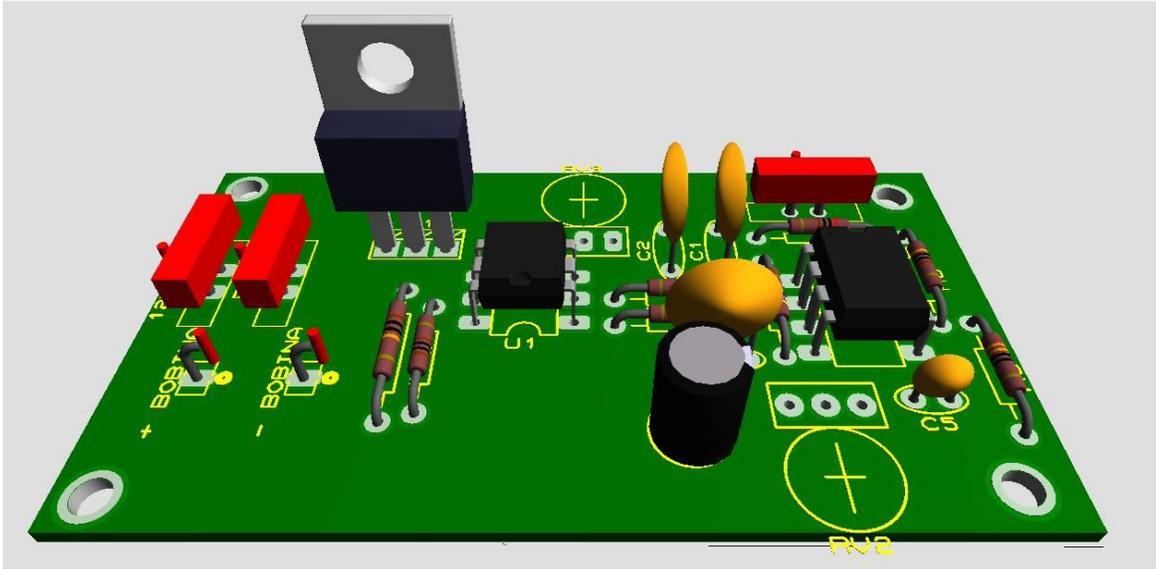
[16] Velasco Moreno, Ignacio. Aislamiento. Área de tecnología electrónica. Disponible en Internet: <http://www.unet.edu.ve/~ielectro/5-Aislamiento.pdf>.

[17] Velázquez reyes, Alejandro. Sonda de medición para alto voltaje y alta frecuencia. Disponible en Internet: [http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/13863/Tesis\\_Sonda%20de%20medicion%20para%20alto%20voltaje%20y%20alta%20frecuencia.pdf?sequence=1](http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/13863/Tesis_Sonda%20de%20medicion%20para%20alto%20voltaje%20y%20alta%20frecuencia.pdf?sequence=1)

[18] Von Pamel. O, Marchisio. S. El proceso de consucción eléctrica 2da parte: La ruptura dieléctrica. Disponible en Internet: <http://www.15dejuniomnr.com.ar/blog/apunteca/Ciclo%20Superior/ECA/Fisica%20I/V/Modulo%2010%20-%20EI%20Proceso%20de%20Conduccion%20Electrica%20-%20Parte%202%20-%20La%20Ruptura%20Dielectrica.pdf>

## ANEXOS

Anexo A. Vista 3D del circuito de variación de frecuencia y potencia



Anexo B. Vista general de la prueba dos



## Anexo C. Descripción de pines de LCP1768

Symbol	Pin/ball				Type	Description
	LQFP100	TFBGA100	WLCSP100			
P0[0] to P0[31]					I/O	<b>Port 0:</b> Port 0 is a 32-bit I/O port with individual direction controls for each bit. The operation of port 0 pins depends upon the pin function selected via the pin connect block. Pins 12, 13, 14, and 31 of this port are not available.
P0[0]/RD1/TXD3/ SDA1	46	K8	H10	<a href="#">U</a>	I/O	<b>P0[0]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>RD1</b> — CAN1 receiver input. (LPC1769/68/66/65/64 only).
					O	<b>TXD3</b> — Transmitter output for UART3.
					I/O	<b>SDA1</b> — I <sup>2</sup> C1 data input/output. (This is not an I <sup>2</sup> C-bus compliant open-drain pin).
P0[1]/TD1/RXD3/ SCL1	47	J8	H9	<a href="#">U</a>	I/O	<b>P0[1]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>TD1</b> — CAN1 transmitter output. (LPC1769/68/66/65/64 only).
					I	<b>RXD3</b> — Receiver input for UART3.
					I/O	<b>SCL1</b> — I <sup>2</sup> C1 clock input/output. (This is not an I <sup>2</sup> C-bus compliant open-drain pin).
P0[2]/TXD0/AD0[7]	98	C4	B1	<a href="#">Z</a>	I/O	<b>P0[2]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>TXD0</b> — Transmitter output for UART0.
					I	<b>AD0[7]</b> — A/D converter 0, input 7.
P0[3]/RXD0/AD0[6]	99	A2	C3	<a href="#">Z</a>	I/O	<b>P0[3]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>RXD0</b> — Receiver input for UART0.
					I	<b>AD0[6]</b> — A/D converter 0, input 6.
P0[4]/ I2SRX_CLK/ RD2/CAP2[0]	81	A8	G2	<a href="#">U</a>	I/O	<b>P0[4]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I/O	<b>I2SRX_CLK</b> — Receive Clock. It is driven by the master and received by the slave. Corresponds to the signal SCK in the I <sup>2</sup> S-bus specification. (LPC1769/68/67/66/65/63 only).
					I	<b>RD2</b> — CAN2 receiver input. (LPC1769/68/66/65/64 only).
					I	<b>CAP2[0]</b> — Capture input for Timer 2, channel 0.
P0[5]/ I2SRX_WS/ TD2/CAP2[1]	80	D7	H1	<a href="#">U</a>	I/O	<b>P0[5]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I/O	<b>I2SRX_WS</b> — Receive Word Select. It is driven by the master and received by the slave. Corresponds to the signal WS in the I <sup>2</sup> S-bus specification. (LPC1769/68/67/66/65/63 only).
					O	<b>TD2</b> — CAN2 transmitter output. (LPC1769/68/66/65/64 only).
					I	<b>CAP2[1]</b> — Capture input for Timer 2, channel 1.
P0[6]/ I2SRX_SDA/ SSEL1/MAT2[0]	79	B8	G3	<a href="#">U</a>	I/O	<b>P0[6]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I/O	<b>I2SRX_SDA</b> — Receive data. It is driven by the transmitter and read by the receiver. Corresponds to the signal SD in the I <sup>2</sup> S-bus specification. (LPC1769/68/67/66/65/63 only).
					I/O	<b>SSEL1</b> — Slave Select for SSP1.
					O	<b>MAT2[0]</b> — Match output for Timer 2, channel 0.
P0[7]/ I2STX_CLK/ SCK1/MAT2[1]	78	A9	J1	<a href="#">U</a>	I/O	<b>P0[7]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I/O	<b>I2STX_CLK</b> — Transmit Clock. It is driven by the master and received by the slave. Corresponds to the signal SCK in the I <sup>2</sup> S-bus specification. (LPC1769/68/67/66/65/63 only).
					I/O	<b>SCK1</b> — Serial Clock for SSP1.
					O	<b>MAT2[1]</b> — Match output for Timer 2, channel 1.
P0[8]/ I2STX_WS/ MISO1/MAT2[2]	77	C8	H2	<a href="#">U</a>	I/O	<b>P0[8]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I/O	<b>I2STX_WS</b> — Transmit Word Select. It is driven by the master and received by the slave. Corresponds to the signal WS in the I <sup>2</sup> S-bus specification. (LPC1769/68/67/66/65/63 only).
					I/O	<b>MISO1</b> — Master In Slave Out for SSP1.
					O	<b>MAT2[2]</b> — Match output for Timer 2, channel 2.

P0[8]/ I2STX_WS/ MISO1/MAT2[2]	77	C8	H2	<a href="#">[1]</a>	I/O	<b>P0[8]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I/O	<b>I2STX_WS</b> — Transmit Word Select. It is driven by the master and received by the slave. Corresponds to the signal WS in the <i>I<sup>2</sup>S-bus specification</i> . (LPC1769/68/67/66/65/63 only).
					I/O	<b>MISO1</b> — Master In Slave Out for SSP1.
					O	<b>MAT2[2]</b> — Match output for Timer 2, channel 2.
P0[9]/ I2STX_SDA/ MOSI1/MAT2[3]	76	A10	H3	<a href="#">[1]</a>	I/O	<b>P0[9]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I/O	<b>I2STX_SDA</b> — Transmit data. It is driven by the transmitter and read by the receiver. Corresponds to the signal SD in the <i>I<sup>2</sup>S-bus specification</i> . (LPC1769/68/67/66/65/63 only).
					I/O	<b>MOSI1</b> — Master Out Slave In for SSP1.
					O	<b>MAT2[3]</b> — Match output for Timer 2, channel 3.
P0[10]/TXD2/ SDA2/MAT3[0]	48	H7	H8	<a href="#">[1]</a>	I/O	<b>P0[10]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>TXD2</b> — Transmitter output for UART2.
					I/O	<b>SDA2</b> — I <sup>2</sup> C2 data input/output (this is not an open-drain pin).
					O	<b>MAT3[0]</b> — Match output for Timer 3, channel 0.
P0[11]/RXD2/ SCL2/MAT3[1]	49	K9	J10	<a href="#">[1]</a>	I/O	<b>P0[11]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>RXD2</b> — Receiver input for UART2.
					I/O	<b>SCL2</b> — I <sup>2</sup> C2 clock input/output (this is not an open-drain pin).
					O	<b>MAT3[1]</b> — Match output for Timer 3, channel 1.
P0[15]/TXD1/ SCK0/SCK	62	F10	H6	<a href="#">[1]</a>	I/O	<b>P0[15]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>TXD1</b> — Transmitter output for UART1.
					I/O	<b>SCK0</b> — Serial clock for SSP0.
					I/O	<b>SCK</b> — Serial clock for SPI.
P0[16]/RXD1/ SSEL0/SSEL	63	F8	J5	<a href="#">[1]</a>	I/O	<b>P0[16]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>RXD1</b> — Receiver input for UART1.
					I/O	<b>SSEL0</b> — Slave Select for SSP0.
					I/O	<b>SSEL</b> — Slave Select for SPI.
P0[17]/CTS1/ MISO0/MISO	61	F9	K6	<a href="#">[1]</a>	I/O	<b>P0[17]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>CTS1</b> — Clear to Send input for UART1.
					I/O	<b>MISO0</b> — Master In Slave Out for SSP0.
					I/O	<b>MISO</b> — Master In Slave Out for SPI.
P0[18]/DCD1/ MOSI0/MOSI	60	F6	J6	<a href="#">[1]</a>	I/O	<b>P0[18]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>DCD1</b> — Data Carrier Detect input for UART1.
					I/O	<b>MOSI0</b> — Master Out Slave In for SSP0.
					I/O	<b>MOSI</b> — Master Out Slave In for SPI.
P0[19]/DSR1/ SDA1	59	G10	K7	<a href="#">[1]</a>	I/O	<b>P0[19]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>DSR1</b> — Data Set Ready input for UART1.
					I/O	<b>SDA1</b> — I <sup>2</sup> C1 data input/output (this is not an I <sup>2</sup> C-bus compliant open-drain pin).
P0[20]/DTR1/SCL1	58	G9	J7	<a href="#">[1]</a>	I/O	<b>P0[20]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>DTR1</b> — Data Terminal Ready output for UART1. Can also be configured to be an RS-485/EIA-485 output enable signal.
					I/O	<b>SCL1</b> — I <sup>2</sup> C1 clock input/output (this is not an I <sup>2</sup> C-bus compliant open-drain pin).
P0[21]/RI1/RD1	57	G8	H7	<a href="#">[1]</a>	I/O	<b>P0[21]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>RI1</b> — Ring Indicator input for UART1.
					I	<b>RD1</b> — CAN1 receiver input. (LPC1769/68/66/65/64 only).
P0[22]/RTS1/TD1	56	H10	K8	<a href="#">[1]</a>	I/O	<b>P0[22]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>RTS1</b> — Request to Send output for UART1. Can also be configured to be an RS-485/EIA-485 output enable signal.
					O	<b>TD1</b> — CAN1 transmitter output. (LPC1769/68/66/65/64 only).

P0[23]/AD0[0]/ I2SRX_CLK/ CAP3[0]	9	E5	D5	[2]	I/O	<b>P0[23]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>AD0[0]</b> — A/D converter 0, input 0.
					I/O	<b>I2SRX_CLK</b> — Receive Clock. It is driven by the master and received by the slave. Corresponds to the signal SCK in the <i>I<sup>2</sup>S-bus specification</i> . (LPC1769/68/67/66/65/63 only).
					I	<b>CAP3[0]</b> — Capture input for Timer 3, channel 0.
P0[24]/AD0[1]/ I2SRX_WS/ CAP3[1]	8	D1	B4	[2]	I/O	<b>P0[24]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>AD0[1]</b> — A/D converter 0, input 1.
					I/O	<b>I2SRX_WS</b> — Receive Word Select. It is driven by the master and received by the slave. Corresponds to the signal WS in the <i>I<sup>2</sup>S-bus specification</i> . (LPC1769/68/67/66/65/63 only).
					I	<b>CAP3[1]</b> — Capture input for Timer 3, channel 1.
P0[25]/AD0[2]/ I2SRX_SDA/ TXD3	7	D2	A3	[2]	I/O	<b>P0[25]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>AD0[2]</b> — A/D converter 0, input 2.
					I/O	<b>I2SRX_SDA</b> — Receive data. It is driven by the transmitter and read by the receiver. Corresponds to the signal SD in the <i>I<sup>2</sup>S-bus specification</i> . (LPC1769/68/67/66/65/63 only).
					O	<b>TXD3</b> — Transmitter output for UART3.
P0[26]/AD0[3]/ AOUT/RXD3	6	D3	C5	[3]	I/O	<b>P0[26]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>AD0[3]</b> — A/D converter 0, input 3.
					O	<b>AOUT</b> — DAC output (LPC1769/68/67/66/65/63 only).
					I	<b>RXD3</b> — Receiver input for UART3.
P0[27]/SDA0/ USB_SDA	25	J2	C8	[4]	I/O	<b>P0[27]</b> — General purpose digital input/output pin. Output is open-drain.
					I/O	<b>SDA0</b> — I <sup>2</sup> C0 data input/output. Open-drain output (for I <sup>2</sup> C-bus compliance).
					I/O	<b>USB_SDA</b> — USB port I <sup>2</sup> C serial data (OTG transceiver, LPC1769/68/66/65 only).
P0[28]/SCL0/ USB_SCL	24	J1	B9	[4]	I/O	<b>P0[28]</b> — General purpose digital input/output pin. Output is open-drain.
					I/O	<b>SCL0</b> — I <sup>2</sup> C0 clock input/output. Open-drain output (for I <sup>2</sup> C-bus compliance).
					I/O	<b>USB_SCL</b> — USB port I <sup>2</sup> C serial clock (OTG transceiver, LPC1769/68/66/65 only).
P0[29]/USB_D+	29	J3	B10	[5]	I/O	<b>P0[29]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I/O	<b>USB_D+</b> — USB bidirectional D+ line. (LPC1769/68/66/65/64 only).
P0[30]/USB_D-	30	G4	C9	[5]	I/O	<b>P0[30]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I/O	<b>USB_D-</b> — USB bidirectional D- line. (LPC1769/68/66/65/64 only).
P1[0] to P1[31]					I/O	<b>Port 1:</b> Port 1 is a 32-bit I/O port with individual direction controls for each bit. The operation of port 1 pins depends upon the pin function selected via the pin connect block. Pins 2, 3, 5, 6, 7, 11, 12, and 13 of this port are not available.
P1[0]/ ENET_TXD0	95	D5	C1	[1]	I/O	<b>P1[0]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>ENET_TXD0</b> — Ethernet transmit data 0. (LPC1769/68/67/66/64 only).
P1[1]/ ENET_TXD1	94	B4	C2	[1]	I/O	<b>P1[1]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>ENET_TXD1</b> — Ethernet transmit data 1. (LPC1769/68/67/66/64 only).
P1[4]/ ENET_TX_EN	93	A4	D2	[1]	I/O	<b>P1[4]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>ENET_TX_EN</b> — Ethernet transmit data enable. (LPC1769/68/67/66/64 only).
P1[8]/ ENET_CRS	92	C5	D1	[1]	I/O	<b>P1[8]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>ENET_CRS</b> — Ethernet carrier sense. (LPC1769/68/67/66/64 only).
P1[9]/ ENET_RXD0	91	B5	D3	[1]	I/O	<b>P1[9]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>ENET_RXD0</b> — Ethernet receive data. (LPC1769/68/67/66/64 only).
P1[10]/ ENET_RXD1	90	A5	E3	[1]	I/O	<b>P1[10]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>ENET_RXD1</b> — Ethernet receive data. (LPC1769/68/67/66/64 only).
P1[14]/ ENET_RX_ER	89	D6	E2	[1]	I/O	<b>P1[14]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>ENET_RX_ER</b> — Ethernet receive error. (LPC1769/68/67/66/64 only).

P1[8]/ ENET_CRS	92	C5	D1	<a href="#">U</a>	I/O	<b>P1[8]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>ENET_CRS</b> — Ethernet carrier sense. (LPC1769/68/67/66/64 only).
P1[9]/ ENET_RXD0	91	B5	D3	<a href="#">U</a>	I/O	<b>P1[9]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>ENET_RXD0</b> — Ethernet receive data. (LPC1769/68/67/66/64 only).
P1[10]/ ENET_RXD1	90	A5	E3	<a href="#">U</a>	I/O	<b>P1[10]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>ENET_RXD1</b> — Ethernet receive data. (LPC1769/68/67/66/64 only).
P1[14]/ ENET_RX_ER	89	D6	E2	<a href="#">U</a>	I/O	<b>P1[14]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>ENET_RX_ER</b> — Ethernet receive error. (LPC1769/68/67/66/64 only).
P1[15]/ ENET_REF_CLK	88	C6	E1	<a href="#">U</a>	I/O	<b>P1[15]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>ENET_REF_CLK</b> — Ethernet reference clock. (LPC1769/68/67/66/64 only).
P1[16]/ ENET_MDC	87	A6	F3	<a href="#">U</a>	I/O	<b>P1[16]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>ENET_MDC</b> — Ethernet MIIM clock (LPC1769/68/67/66/64 only).
P1[17]/ ENET_MDIO	86	B6	F2	<a href="#">U</a>	I/O	<b>P1[17]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I/O	<b>ENET_MDIO</b> — Ethernet MIIM data input and output. (LPC1769/68/67/66/64 only).
P1[18]/ USB_UP_LED/ PWM1[1]/ CAP1[0]	32	H4	D9	<a href="#">U</a>	I/O	<b>P1[18]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>USB_UP_LED</b> — USB GoodLink LED indicator. It is LOW when the device is configured (non-control endpoints enabled), or when the host is enabled and has detected a device on the bus. It is HIGH when the device is not configured, or when host is enabled and has not detected a device on the bus, or during global suspend. It transitions between LOW and HIGH (flashes) when the host is enabled and detects activity on the bus. (LPC1769/68/66/65/64 only).
					O	<b>PWM1[1]</b> — Pulse Width Modulator 1, channel 1 output.
					I	<b>CAP1[0]</b> — Capture input for Timer 1, channel 0.
P1[19]/MCOA0/ USB_PPWR/ CAP1[1]	33	J4	C10	<a href="#">U</a>	I/O	<b>P1[19]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>MCOA0</b> — Motor control PWM channel 0, output A.
					O	<b>USB_PPWR</b> — Port Power enable signal for USB port. (LPC1769/68/66/65 only).
					I	<b>CAP1[1]</b> — Capture input for Timer 1, channel 1.
P1[20]/MCI0/ PWM1[2]/SCK0	34	K4	E8	<a href="#">U</a>	I/O	<b>P1[20]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>MCI0</b> — Motor control PWM channel 0, input. Also Quadrature Encoder Interface PHA input.
					O	<b>PWM1[2]</b> — Pulse Width Modulator 1, channel 2 output.
					I/O	<b>SCK0</b> — Serial clock for SSP0.
P1[21]/MCABORT/ PWM1[3]/ SSEL0	35	F5	E9	<a href="#">U</a>	I/O	<b>P1[21]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>MCABORT</b> — Motor control PWM, LOW-active fast abort.
					O	<b>PWM1[3]</b> — Pulse Width Modulator 1, channel 3 output.
					I/O	<b>SSEL0</b> — Slave Select for SSP0.
P1[22]/MCOB0/ USB_PWRD/ MAT1[0]	36	J5	D10	<a href="#">U</a>	I/O	<b>P1[22]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>MCOB0</b> — Motor control PWM channel 0, output B.
					I	<b>USB_PWRD</b> — Power Status for USB port (host power switch, LPC1769/68/66/65 only).
					O	<b>MAT1[0]</b> — Match output for Timer 1, channel 0.
P1[23]/MCI1/ PWM1[4]/MISO0	37	K5	E7	<a href="#">U</a>	I/O	<b>P1[23]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>MCI1</b> — Motor control PWM channel 1, input. Also Quadrature Encoder Interface PHB input.
					O	<b>PWM1[4]</b> — Pulse Width Modulator 1, channel 4 output.
					I/O	<b>MISO0</b> — Master In Slave Out for SSP0.
P1[24]/MCI2/ PWM1[5]/MOSIO	38	H5	F8	<a href="#">U</a>	I/O	<b>P1[24]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>MCI2</b> — Motor control PWM channel 2, input. Also Quadrature Encoder Interface INDEX input.
					O	<b>PWM1[5]</b> — Pulse Width Modulator 1, channel 5 output.
					I/O	<b>MOSIO</b> — Master Out Slave in for SSP0.

P1[25]/MCOA1/ MAT1[1]	39	G5	F9	<a href="#">1</a>	I/O	<b>P1[25]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>MCOA1</b> — Motor control PWM channel 1, output A.
					O	<b>MAT1[1]</b> — Match output for Timer 1, channel 1.
P1[26]/MCOB1/ PWM1[6]/CAP0[0]	40	K6	E10	<a href="#">1</a>	I/O	<b>P1[26]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>MCOB1</b> — Motor control PWM channel 1, output B.
					O	<b>PWM1[6]</b> — Pulse Width Modulator 1, channel 6 output.
I	<b>CAP0[0]</b> — Capture input for Timer 0, channel 0.					
P1[27]/CLKOUT /USB_OVRCCR/ CAP0[1]	43	K7	G9	<a href="#">1</a>	I/O	<b>P1[27]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>CLKOUT</b> — Clock output pin.
					I	<b>USB_OVRCCR</b> — USB port Over-Current status. (LPC1769/68/66/65 only).
I	<b>CAP0[1]</b> — Capture input for Timer 0, channel 1.					
P1[28]/MCOA2/ PCAP1[0]/ MAT0[0]	44	J7	G10	<a href="#">1</a>	I/O	<b>P1[28]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>MCOA2</b> — Motor control PWM channel 2, output A.
					I	<b>PCAP1[0]</b> — Capture input for PWM1, channel 0.
O	<b>MAT0[0]</b> — Match output for Timer 0, channel 0.					
P1[29]/MCOB2/ PCAP1[1]/ MAT0[1]	45	G6	G8	<a href="#">1</a>	I/O	<b>P1[29]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>MCOB2</b> — Motor control PWM channel 2, output B.
					I	<b>PCAP1[1]</b> — Capture input for PWM1, channel 1.
O	<b>MAT0[1]</b> — Match output for Timer 0, channel 1.					
P1[30]/V <sub>BUS</sub> / AD0[4]	21	H1	B8	<a href="#">2</a>	I/O	<b>P1[30]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>V<sub>BUS</sub></b> — Monitors the presence of USB bus power. (LPC1769/68/66/65/64 only). <b>Note:</b> This signal must be HIGH for USB reset to occur.
					I	<b>AD0[4]</b> — A/D converter 0, input 4.
P1[31]/SCK1/ AD0[5]	20	F4	C7	<a href="#">2</a>	I/O	<b>P1[31]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I/O	<b>SCK1</b> — Serial Clock for SSP1.
					I	<b>AD0[5]</b> — A/D converter 0, input 5.
P2[0] to P2[31]					I/O	<b>Port 2:</b> Port 2 is a 32-bit I/O port with individual direction controls for each bit. The operation of port 2 pins depends upon the pin function selected via the pin connect block. Pins 14 through 31 of this port are not available.
P2[0]/PWM1[1]/ TXD1	75	B9	K1	<a href="#">1</a>	I/O	<b>P2[0]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>PWM1[1]</b> — Pulse Width Modulator 1, channel 1 output.
					O	<b>TXD1</b> — Transmitter output for UART1.
P2[1]/PWM1[2]/ RXD1	74	B10	J2	<a href="#">1</a>	I/O	<b>P2[1]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>PWM1[2]</b> — Pulse Width Modulator 1, channel 2 output.
					I	<b>RXD1</b> — Receiver input for UART1.

P2[2]/PWM1[3]/ CTS1/ TRACEDATA[3]	73	D8	K2	[1]	I/O	<b>P2[2]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>PWM1[3]</b> — Pulse Width Modulator 1, channel 3 output.
					I	<b>CTS1</b> — Clear to Send input for UART1.
					O	<b>TRACEDATA[3]</b> — Trace data, bit 3.
P2[3]/PWM1[4]/ DCD1/ TRACEDATA[2]	70	E7	K3	[1]	I/O	<b>P2[3]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>PWM1[4]</b> — Pulse Width Modulator 1, channel 4 output.
					I	<b>DCD1</b> — Data Carrier Detect input for UART1.
					O	<b>TRACEDATA[2]</b> — Trace data, bit 2.
P2[4]/PWM1[5]/ DSR1/ TRACEDATA[1]	69	D9	J3	[1]	I/O	<b>P2[4]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>PWM1[5]</b> — Pulse Width Modulator 1, channel 5 output.
					I	<b>DSR1</b> — Data Set Ready input for UART1.
					O	<b>TRACEDATA[1]</b> — Trace data, bit 1.
P2[5]/PWM1[6]/ DTR1/ TRACEDATA[0]	68	D10	H4	[1]	I/O	<b>P2[5]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>PWM1[6]</b> — Pulse Width Modulator 1, channel 6 output.
					O	<b>DTR1</b> — Data Terminal Ready output for UART1. Can also be configured to be an RS-485/EIA-485 output enable signal.
					O	<b>TRACEDATA[0]</b> — Trace data, bit 0.
P2[6]/PCAP1[0]/ RI1/TRACECLK	67	E8	K4	[1]	I/O	<b>P2[6]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>PCAP1[0]</b> — Capture input for PWM1, channel 0.
					I	<b>RI1</b> — Ring Indicator input for UART1.
					O	<b>TRACECLK</b> — Trace Clock.
P2[7]/RD2/ RTS1	66	E9	J4	[1]	I/O	<b>P2[7]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>RD2</b> — CAN2 receiver input. (LPC1769/68/66/65/64 only).
					O	<b>RTS1</b> — Request to Send output for UART1. Can also be configured to be an RS-485/EIA-485 output enable signal.
P2[8]/TD2/ TXD2	65	E10	H5	[1]	I/O	<b>P2[8]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>TD2</b> — CAN2 transmitter output. (LPC1769/68/66/65/64 only).
					O	<b>TXD2</b> — Transmitter output for UART2.
P2[9]/ USB_CONNECT/ RXD2	64	F7	K5	[1]	I/O	<b>P2[9]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>USB_CONNECT</b> — Signal used to switch an external 1.5 k $\Omega$ resistor under software control. Used with the SoftConnect USB feature. (LPC1769/68/66/65/64 only).
					I	<b>RXD2</b> — Receiver input for UART2.
P2[10]/EINT0/NMI	53	J10	K9	[6]	I/O	<b>P2[10]</b> — General purpose digital input/output pin. A LOW level on this pin during reset starts the ISP command handler.
					I	<b>EINT0</b> — External interrupt 0 input.
					I	<b>NMI</b> — Non-maskable interrupt input.
P2[11]/EINT1/ I2STX_CLK	52	H8	J8	[6]	I/O	<b>P2[11]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>EINT1</b> — External interrupt 1 input.
					I/O	<b>I2STX_CLK</b> — Transmit Clock. It is driven by the master and received by the slave. Corresponds to the signal SCK in the <i>I<sup>2</sup>S-bus specification</i> . (LPC1769/68/67/66/65/63 only).
P2[12]/EINT2/ I2STX_WS	51	K10	K10	[6]	I/O	<b>P2[12]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>EINT2</b> — External interrupt 2 input.
					I/O	<b>I2STX_WS</b> — Transmit Word Select. It is driven by the master and received by the slave. Corresponds to the signal WS in the <i>I<sup>2</sup>S-bus specification</i> . (LPC1769/68/67/66/65/63 only).
P2[13]/EINT3/ I2STX_SDA	50	J9	J9	[6]	I/O	<b>P2[13]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>EINT3</b> — External interrupt 3 input.
					I/O	<b>I2STX_SDA</b> — Transmit data. It is driven by the transmitter and read by the receiver. Corresponds to the signal SD in the <i>I<sup>2</sup>S-bus specification</i> . (LPC1769/68/67/66/65/63 only).
P3[0] to P3[31]					I/O	<b>Port 3:</b> Port 3 is a 32-bit I/O port with individual direction controls for each bit. The operation of port 3 pins depends upon the pin function selected via the pin connect block. Pins 0 through 24, and 27 through 31 of this port are not available.
P3[25]/MAT0[0]/ PWM1[2]	27	H3	D8	[1]	I/O	<b>P3[25]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>MAT0[0]</b> — Match output for Timer 0, channel 0.
					O	<b>PWM1[2]</b> — Pulse Width Modulator 1, output 2.

P3[26]/STCLK/ MAT0[1]/PWM1[3]	26	K1	A10	[1]	I/O	<b>P3[26]</b> — General purpose digital input/output pin.
					I	<b>STCLK</b> — System tick timer clock input. The maximum STCLK frequency is 1/4 of the ARM processor clock frequency CCLK.
					O	<b>MAT0[1]</b> — Match output for Timer 0, channel 1.
					O	<b>PWM1[3]</b> — Pulse Width Modulator 1, output 3.
P4[0] to P4[31]					I/O	<b>Port 4:</b> Port 4 is a 32-bit I/O port with individual direction controls for each bit. The operation of port 4 pins depends upon the pin function selected via the pin connect block. Pins 0 through 27, 30, and 31 of this port are not available.
P4[28]/RX_MCLK/ MAT2[0]/TXD3	82	C7	G1	[1]	I/O	<b>P4[28]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>RX_MCLK</b> — I <sup>2</sup> S receive master clock. (LPC1769/68/67/66/65 only).
					O	<b>MAT2[0]</b> — Match output for Timer 2, channel 0.
					O	<b>TXD3</b> — Transmitter output for UART3.
P4[29]/TX_MCLK/ MAT2[1]/RXD3	85	E6	F1	[1]	I/O	<b>P4[29]</b> — General purpose digital input/output pin.
					O	<b>TX_MCLK</b> — I <sup>2</sup> S transmit master clock. (LPC1769/68/67/66/65 only).
					O	<b>MAT2[1]</b> — Match output for Timer 2, channel 1.
					I	<b>RXD3</b> — Receiver input for UART3.
TDO/SWO	1	A1	A1	[7]	O	<b>TDO</b> — Test Data out for JTAG interface.
					O	<b>SWO</b> — Serial wire trace output.
TDI	2	C3	C4	[1][8]	I	<b>TDI</b> — Test Data in for JTAG interface.
TMS/SWDIO	3	B1	B3	[1][9]	I	<b>TMS</b> — Test Mode Select for JTAG interface.
					I/O	<b>SWDIO</b> — Serial wire debug data input/output.
TRST	4	C2	A2	[1][8]	I	<b>TRST</b> — Test Reset for JTAG interface.
TCK/SWDCLK	5	C1	D4	[7]	I	<b>TCK</b> — Test Clock for JTAG interface.
					I	<b>SWDCLK</b> — Serial wire clock.
RTCK	100	B2	B2	[7]	O	<b>RTCK</b> — JTAG interface control signal.
RSTOUT	14	-	-	-	O	<b>RSTOUT</b> — This is a 3.3 V pin. LOW on this pin indicates the microcontroller being in Reset state.
RESET	17	F3	C6	[9]	I	<b>External reset input:</b> A LOW-going pulse as short as 50 ns on this pin resets the device, causing I/O ports and peripherals to take on their default states, and processor execution to begin at address 0. TTL with hysteresis, 5 V tolerant.
XTAL1	22	H2	D7	[10][11]	I	Input to the oscillator circuit and internal clock generator circuits.
XTAL2	23	G3	A9	[10][11]	O	Output from the oscillator amplifier.
RTCX1	16	F2	A7	[10][11]	I	Input to the RTC oscillator circuit.
RTCX2	18	G1	B7	[10]	O	Output from the RTC oscillator circuit.
V <sub>SS</sub>	31, 41, 55, 72, 83, 97	B3, B7, C9, G7, J6, K3	E5, F5, F6, G5, G6, G7	[10]	I	<b>ground:</b> 0 V reference.
V <sub>SSA</sub>	11	E1	B5	[10]	I	<b>analog ground:</b> 0 V reference. This should nominally be the same voltage as V <sub>SS</sub> , but should be isolated to minimize noise and error.
V <sub>DD(3V3)</sub>	28, 54, 71, 96	K2, H9, C10, A3	E4, E6, F7, G4	[10]	I	<b>3.3 V supply voltage:</b> This is the power supply voltage for the I/O ports.
V <sub>DD(REG)(3V3)</sub>	42, 84	H6, A7	F4, F10	[10]	I	<b>3.3 V voltage regulator supply voltage:</b> This is the supply voltage for the on-chip voltage regulator only.
V <sub>DDA</sub>	10	E2	A4	[10]	I	<b>analog 3.3 V pad supply voltage:</b> This should be nominally the same voltage as V <sub>DD(3V3)</sub> but should be isolated to minimize noise and error. This voltage is used to power the ADC and DAC. This pin should be tied to 3.3 V if the ADC and DAC are not used.
VREFP	12	E3	A5	[10]	I	<b>ADC positive reference voltage:</b> This should be nominally the same voltage as V <sub>DDA</sub> but should be isolated to minimize noise and error. Level on this pin is used as a reference for ADC and DAC. This pin should be tied to 3.3 V if the ADC and DAC are not used.

VREFN	15	F1	A6		I	<b>ADC negative reference voltage:</b> This should be nominally the same voltage as $V_{SS}$ but should be isolated to minimize noise and error. Level on this pin is used as a reference for ADC and DAC.
VBAT	19	G2	A8	[10][12]	I	<b>RTC pin power supply:</b> 3.3 V on this pin supplies the power to the RTC peripheral.
n.c.	13	D4, E4	B6, D6		-	not connected.

[1] 5 V tolerant pad providing digital I/O functions with TTL levels and hysteresis. This pin is pulled up to a voltage level of 2.3 V to 2.6 V.

[2] 5 V tolerant pad providing digital I/O functions (with TTL levels and hysteresis) and analog input. When configured as a ADC input, digital section of the pad is disabled and the pin is not 5 V tolerant. This pin is pulled up to a voltage level of 2.3 V to 2.6 V.

[3] 5 V tolerant pad providing digital I/O with TTL levels and hysteresis and analog output function. When configured as the DAC output, digital section of the pad is disabled. This pin is pulled up to a voltage level of 2.3 V to 2.6 V.

[4] Open-drain 5 V tolerant digital I/O pad, compatible with I2C-bus 400 kHz specification. This pad requires an external pull-up to provide output functionality. When power is switched off, this pin connected to the I2C-bus is floating and does not disturb the I2C lines. Open-drain configuration applies to all functions on this pin.

[5] Pad provides digital I/O and USB functions. It is designed in accordance with the USB specification, revision 2.0 (Full-speed and Low-speed mode only). This pad is not 5 V tolerant.

[6] 5 V tolerant pad with 10 ns glitch filter providing digital I/O functions with TTL levels and hysteresis. This pin is pulled up to a voltage level of 2.3 V to 2.6 V.

[7] 5 V tolerant pad with TTL levels and hysteresis. Internal pull-up and pull-down resistors disabled.

[8] 5 V tolerant pad with TTL levels and hysteresis and internal pull-up resistor.

[9] 5 V tolerant pad with 20 ns glitch filter providing digital I/O function with TTL levels and hysteresis.

[10] Pad provides special analog functionality. A 32 kHz crystal oscillator must be used with the RTC.

[11] When the system oscillator is not used, connect XTAL1 and XTAL2 as follows: XTAL1 can be left floating or can be grounded (grounding is preferred to reduce susceptibility to noise). XTAL2 should be left floating.

[12] When the RTC is not used, connect VBAT to VDD(REG)(3V3) and leave RTCX1 floating.

Anexo D. Circuitos del generador de alta tensión



Anexo E. Caja del generador de alta tensión



Anexo F. Caja del generador de alta tensión vista lateral



Anexo G. Maqueta del generador de alta tensión

