

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Tesis previa a la obtención del

Título de: Ingeniero Eléctrico.

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOBINA TESLA DE 15KV EN EL
PRIMARIO PARA EL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN DE LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA”**

AUTORES: Danny Fabián Hurtado Romero

Fabricio Eduardo Villamar Eras

DIRECTOR: Ing. Jorge Luis Rojas Espinoza

Cuenca, Abril del 2014

DECLARATORIA

Los Diseños, Pruebas, Ensayos, Análisis de Resultados y Conclusiones vertidos en este trabajo, son de absoluta responsabilidad de los Autores.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la Normativa Institucional Vigente.



Danny Fabián Hurtado Romero

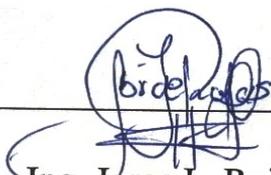


Fabricio Eduardo Villamar Eras

CERTIFICACION

El presente trabajo de tesis previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico fue guiado satisfactoriamente por el Ing. Jorge Rojas, quien autoriza su presentación para continuar con los trámites correspondientes.

Cuenca, abril del 2014



Ing. Jorge L. Rojas Espinoza

DEDICATORIA

“A mi Dios ya que de él es la gloria, luego a mis padres Luis y Rosaura, a mi esposa Gina, y a mi querido hijo Marcelito, ya que sus deseos de superación y entrega son mi mayor inspiración a más de que ellos fueron los pilares fundamentales para la consecución de este gran objetivo planteado en mi vida, también va dedicado a toda mi familia que de una u otra forma contribuyeron para alcanzar este grandioso objetivo de manera especial a mis queridos suegros Cesar y Carmen, mis cuñados Andrea y Joe, a mi querida sobrina Samanta.

Este Gran Objetivo Planteado en mi vida es para ustedes por toda la fortaleza y la comprensión que tuvieron conmigo en los momentos en que más los necesite.”

Danny Hurtado...

DEDICATORIA

“Dedicada a Dios que me ha dado la vida y me ha permitido estar en este camino de superación, junto a mi madre Janeth Eras que ha sido mi imagen a alcanzar y superar, y junto a mis hermanos Marcel, Geancarlo, mi esposa Norma, mi hijo Mateo, mi abuelo, padre y tíos, que han estado a lado mío apoyándome, y ayudándome a levantar de mis caídas y apoyar hasta alcanzar al final esta meta”

Fabricio Villamar...

AGRADECIMIENTO

“Los más sinceros Agradecimientos a nuestro director de tesis Ing. Jorge Rojas, por su amistad y el apoyo indispensable que nos brindó para que la realización y la consecución de este trabajo llegue a su feliz término.

Al Msc. Flavio Quizhpi por su amistad brindada y por ser el impulsor de este trabajo de grado.

A la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca y a todos sus catedráticos que hicieron posible la consecución de nuestro Objetivo.”

Danny Hurtado...

Fabricio Villamar...

AGRADECIMIENTO

“Agradezco a mis padres Luis y Rosaura, por todo sacrificio que hicieron para que mi objetivo y mi anhelo se cumpla.

A mi esposa Gina por esas interminables horas que estuve lejos de su lado y en las que me supo comprender y apoyar cuando yo más la necesite.

Agradezco también a toda mi familia por esas sabias palabras de aliento que me supieron dar cuando me sentía derrotado.

Danny Hurtado...

AGRADECIMIENTO

“Agradezco a Dios por mi familia y por rodearme de personas de las cuales he podido aprender lo mejor de cada una, y que me han brindado el apoyo y aliento necesario para sobrellevar todos los problemas que aparecen en el momento de alcanzar mis objetivos.”

Fabricio Villamar...

INDICE

INTRODUCCION	14
CAPITULO I	15
CÁLCULO Y DISEÑO DE LA BOBINA TESLA	15
1.1 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA BOBINA TESLA	15
1.1.1 TRANSFORMADOR ELEVADOR (HV).....	15
1.1.1.1 TRANSFORMADOR ELEVADOR (HV) DE POTENCIA.....	15
1.1.1.2 TRANSFORMADOR ELEVADOR (HV) DE NEÓN.....	16
1.1.2 BOBINA DE CHOQUE.....	17
1.1.3 DESCARGADOR.....	18
1.1.3.1 DESCARGADORES (SPARKGAPS) ESTÁTICOS.....	18
1.1.3.2 DESCARGADORES (SPARKGAPS) MÓVILES.....	19
1.1.4 CAPACITOR PRINCIPAL.....	20
1.1.5 BOBINA PRIMARIA.....	21
1.1.5.1 TIPOS DE BOBINA PRIMARIA	24
1.1.6 BOBINA SECUNDARIA.....	26
1.1.7 TOROIDE	28
1.2 CALCULOS DE LOS COMPONENTES DE LA BOBINA.....	29
1.2.1 FUENTE DE ALIMENTACIÓN	30
1.2.2 CAPACITOR PRINCIPAL.....	30
1.2.3 BOBINA SECUNDARIA.....	31
1.2.4 TOROIDE	33
1.2.5 BOBINA PRIMARIA.....	33
1.3 DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LA BOBINA TESLA	35
1.3.1 FUENTE DE ALIMENTACIÓN	35
1.3.2 BOBINA DE CHOQUE.....	36
1.3.3 DESCARGADORES (SPARKGAPS).....	39
1.3.4 CAPACITOR PRINCIPAL.....	40
1.3.5 BOBINA PRIMARIA.....	41
1.3.6 BOBINA SECUNDARIA.....	43
1.3.7 TOROIDE	44
CAPITULO II	45
PRUEBAS Y ENSAYOS	45

2.1	PRUEBAS DE RESONANCIA	45
2.2	MEDIDA DE LA FRECUENCIA DE RESONANCIA EN EL PRIMARIO.....	47
2.3	MEDICIÓN DEL VOLTAJE DE CARGA DEL CAPACITOR PRINCIPAL.....	48
2.4	ANÁLISIS DE CONTAMINACIÓN ARMÓNICA A LA RED PRIMARIA.....	49
2.4.1	ARMÓNICOS	49
2.4.2	ÍNDICE DE DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD).....	49
CAPITULO III.....		51
APLICACIONES.....		51
3.1	PRUEBA DE AISLADORES DE ALTA TENSIÓN.....	51
3.1.1	NIVEL DE AISLAMIENTO.....	52
3.1.2	PRUEBAS REALIZADAS EN EL LABORATORIO	52
3.2	GENERACIÓN DE PULSOS DE ALTA FRECUENCIA.....	53
3.2.1	PRUEBAS REALIZADAS EN EL LABORATORIO	54
3.3	INVESTIGACIÓN SOBRE RAYOS	55
3.3.1	CLASIFICACIÓN DE LOS RAYOS.....	57
3.3.2	ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PARARRAYOS.....	58
3.3.3	EXPERIMENTACIÓN REALIZADA EN LABORATORIO.....	59
3.4	EFFECTO CORONA.....	60
3.4.1	RUIDO PROVOCADO POR EFECTO CORONA.....	60
3.4.2	PRUEBAS REALIZADAS EN EL LABORATORIO	61
3.4.2.1	EXPERIMENTACION DEL EFECTO CORONA	61
3.4.2.2	EXPERIMENTACIÓN EN LA LABORATORIO SOBRE RUIDO	62
CAPITULO IV		63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		63
BIBLIOGRAFÍA.....		66
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....		68
ANEXOS		69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Transformador de Potencia (Hurtado y Villamar, 2014)	16
Figura 2 Transformador de Neón dibujado en Inventor (Hurtado y Villamar, 2014)	16
Figura 3 Esquema Básico con la Bobina de Choque (Hurtado y Villamar, 2014)	17
Figura 4 Bobina de Choque (Hurtado y Villamar, 2014)	17
Figura 5 Descargador estático (Hurtado y Villamar, 2014)	18
Figura 6 Descargador giratorio (Hurtado y Villamar, 2014)	19
Figura 7 Condensadores comerciales (Hurtado y Villamar, 2014)	21
Figura 8 Bobina primaria cónica inversa (Hurtado y Villamar, 2014)	21
Figura 9 Bobina primaria Plana (Hurtado y Villamar, 2014)	24
Figura 10 Bobina primaria Helicoidal (Hurtado y Villamar, 2014)	24
Figura 11 Bobina cónica inversa (Hurtado y Villamar, 2014)	25
Figura 12 Bobina Secundaria (Hurtado y Villamar, 2014)	26
Figura 13 Toroide (Hurtado y Villamar, 2014)	28
Figura 14 Transformador de Neón y sus Características (Hurtado y Villamar, 2014)	36
Figura 15 Nivel de aislamiento de la bobina de 1350 espiras (Hurtado y Villamar, 2014)	37
Figura 16 Nivel de aislamiento de la bobina de 3150 espiras (Hurtado y Villamar, 2014)	38
Figura 17 Bobinando las Bobinas de Choque (Hurtado y Villamar, 2014)	38
Figura 18 Bobinas de Choque - Construcción (Hurtado y Villamar, 2014)	38
Figura 19 Diseño de los elementos en AutoCAD e Inventor (Hurtado y Villamar, 2014)	40
Figura 20 Capacitores (Hurtado y Villamar, 2014)	40
Figura 21 Material para Bobina Primaria (Hurtado y Villamar, 2014)	42
Figura 22 Bobina Primaria Construida (Hurtado y Villamar, 2014)	43
Figura 23 Bobina Secundaria (Hurtado y Villamar, 2014)	44
Figura 24 Toroide (Hurtado y Villamar, 2014)	44
Figura 25 Circuito RLC para medir la Frecuencia de Resonancia en el secundario (Hurtado y Villamar, 2014)	45
Figura 26 Frecuencia de Resonancia en 175 KHz (Hurtado y Villamar, 2014)	46
Figura 27 Circuito RLC para medir la Frecuencia de Resonancia en el primario (Hurtado y Villamar, 2014)	46
Figura 28 Frecuencia de Resonancia en 174 KHz (Hurtado y Villamar, 2014)	47
Figura 29 Frecuencia de Resonancia de 178 KHz y Periodo (Hurtado y Villamar, 2014)	47
Figura 30 Carga del Capacitor (Hurtado y Villamar, 2014)	48
Figura 31 Distorsión Armónica de Voltaje	50

Figura 32 Distorsión Armónica de Corriente.....	50
Figura 33 Arco Eléctrico Presente en Aisladores (Martinez, 2008).....	51
Figura 34 Prueba de Asilamiento realizado en Laboratorio (Hurtado y Villamar, 2014).....	53
Figura 35 Esquema Bobina Tesla (Hurtado y Villamar, 2014).....	53
Figura 36 Forma de Onda en la Bobina Tesla (Rubiños, 2008).....	54
Figura 37 Forma de Onda del Voltaje capturada con Osciloscopio Digital (Hurtado y Villamar, 2014).....	55
Figura 38 Descargas Nube- nube y descarga al interior de las nubes (TASIPANTA, 2002)	56
Figura 39 Descarga Descendente (TASIPANTA, 2002).....	57
Figura 40 Descarga Ascendente (TASIPANTA, 2002).....	57
Figura 41 Descarga Negativa (TASIPANTA, 2002).....	57
Figura 42 Descarga Positiva (TASIPANTA, 2002)	58
Figura 43 Diagrama de Descarga	59
Figura 44 Descargas producidas sobre las barrilas de cobre (Hurtado y Villamar, 2014).....	59
Figura 45 Efecto Corona en una línea de Alta Tensión de 500 KV (nitrometano, 2013).....	60
Figura 46 Efecto Corona diagrama de Frecuencia (Mario Ricardo Cárdenas Barrero, 2005) ...	61
Figura 47 Efecto Corona (Disrupción del Aire) (Hurtado y Villamar, 2014).....	61
Figura 48 Efecto Corona Producida hacia un Aislador de Alta Tensión (Hurtado y Villamar, 2014).....	62

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Conductividad térmica de los principales elementos (Chapman,3ra edicion) ..	39
Tabla 2 Valor de Capacitancia medida vs Calculada (Hurtado y Villamar, 2014)	41
Tabla 3 Niveles de Aislamiento (Endesa, 2003)	52
Tabla 4 Nivel de dBA vs Voltaje según experimentos realizados en Laboratorio (Hurtado y Villamar, 2014)	62

INTRODUCCION

El presente trabajo busca investigar los fenómenos electromagnéticos (descargas atmosféricas) que se manifiestan diariamente en el sector eléctrico, en tal virtud, en la actualidad el Laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca requiere de un dispositivo que permita la simulación y estudio de un rayo, que servirá como medio didáctico de enseñanza para los estudiantes, para afianzar los conceptos adquiridos dentro del aula. Para esto se prevé el diseño y construcción de una Bobina Tesla de 15kV en el primario. La Bobina Tesla es un transformador resonante con núcleo de aire, que en su terminal superior acumula energía electrostática que se convierten en descargas de energía electromagnética.

Para el diseño se ha previsto, en primera instancia realizar un análisis matemático que relacione las variables eléctricas de tensión, corriente y potencias, necesarios para el dimensionamiento de cada uno de los componentes. Una vez dimensionados cada uno de los componentes, se procede a realizar el diseño constructivo en los software's AutoCAD e Inventor de la bobina, para su construcción y posteriormente su montaje.

Posteriormente, se llevará a cabo las pruebas de laboratorio necesarias para garantizar el correcto funcionamiento de la Bobina Tesla, a través del método de prueba y ajustes, de manera que al final nos brinde la confiabilidad suficiente para su utilización en el laboratorio de Alta Tensión de UPS- Cuenca por parte de los estudiantes que realicen experimentos en dicho laboratorio.

Finalmente, se analizará que los resultados de las pruebas de laboratorio en: aisladores de alta tensión; generación de pulsos de alta frecuencia; investigación sobre rayos y el efecto corona; guarden estrecha relación con los objetivos planteados en este trabajo, para así poder concluir la aplicabilidad que tiene la Bobina Tesla sobre cada uno de estos fenómenos.

CAPITULO I

CÁLCULO Y DISEÑO DE LA BOBINA TESLA

1.1 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA BOBINA TESLA

1.1.1 TRANSFORMADOR ELEVADOR (HV)

El transformador de alto voltaje es uno de los elementos más importantes y el que brinda el punto de partida para el correcto funcionamiento de una Bobina Tesla, básicamente existen dos tipos de transformadores que son los más utilizados para esta aplicación, *“uno con una función de limitación de corriente (como lo son los transformadores de Neón) y otro que requiere corriente externa limitante (como son los transformadores de potencia)”*(Burnett, 1999).

1.1.1.1 TRANSFORMADOR ELEVADOR (HV) DE POTENCIA

Como una alternativa se presentan los transformadores de potencia, los mismos que son también utilizados para la distribución de energía eléctrica, para aplicaciones como la de la Bobina Tesla son muy poco usados ya que el implementar estos tipo de dispositivos implicaría requerir mayor espacio, pero a su vez también presenta una gran ventaja frente a los transformadores de neón por el aceite dieléctrico el mismo que no permite la inflamación del transformador y por ende asegura el funcionamiento de este dispositivo, como se dijo anteriormente este transformador presente las características ideales para trabajar en áreas de distribución debido a que presta las seguridades necesarias para proveer de energía eléctrica a los consumidores finales.



Figura 1 Transformador de Potencia (Hurtado y Villamar, 2014)

1.1.1.2 TRANSFORMADOR ELEVADOR (HV) DE NEÓN

Los Transformadores de neón están disponibles en voltajes de alrededor de 2 kV rms hasta un máximo de 15 kV. Se diseñan con corrientes de salida de entre 8 mA y 120 mA, aunque varias unidades pueden ser conectadas en paralelo para aumentar la capacidad de corriente de salida (Burnett, 1999)



Figura 2 Transformador de Neón dibujado en Inventor (Hurtado y Villamar, 2014)

1.1.2 BOBINA DE CHOQUE

Debido a que se pueden producir corrientes de cortocircuito en el secundario se ha visto necesario implementar bobinas de choque los mismos que limitarán la corriente hacia el primario y así de esta forma se podrá evitar dañar los componentes.

Un suministro de alto voltaje puede tener la corriente limitada por la adición de cualquier impedancia en serie con él, ya sea primaria o secundaria. Esta impedancia no tiene que ser resistiva. Si un inductor está conectado en serie con la alimentación al primario de un transformador elevador, la corriente de corto-circuito será limitada. Si la salida secundaria de alto voltaje está en cortocircuito se reflejará al devanado primario y las condiciones aparentes son sentidas en el primario (Burnett, 1999).

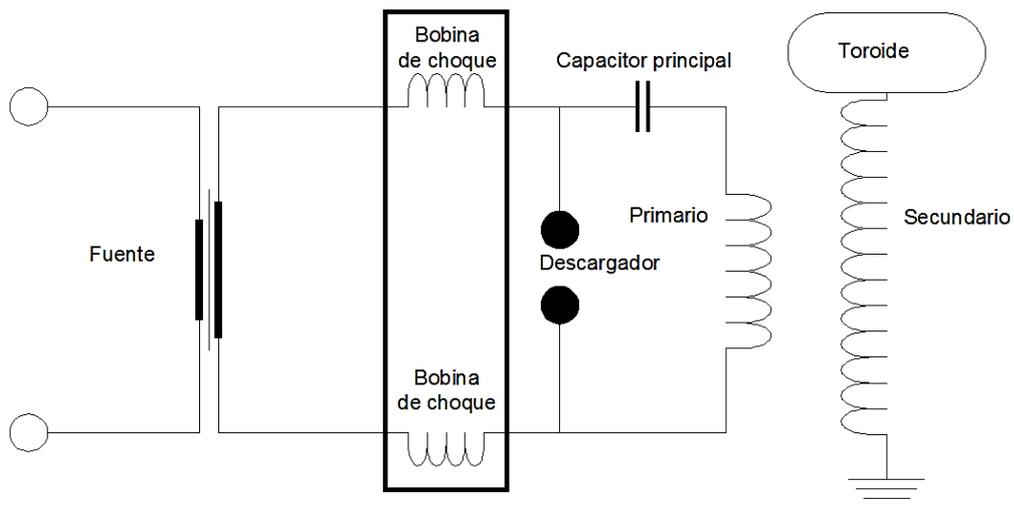


Figura 3 Esquema Básico con la Bobina de Choque (Hurtado y Villamar, 2014)

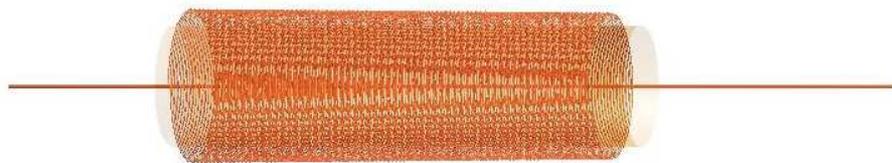


Figura 4 Bobina de Choque (Hurtado y Villamar, 2014)

1.1.3 DESCARGADOR

El diseño del arco principal es muy importante para el rendimiento del sistema. Existen dos tipos básicos de descargadores (sparkgaps): estáticos y rotativos. Los estáticos se utilizan típicamente en sistemas pequeños; mientras que, para mayor potencia se utilizan los rotativos o incluso combinaciones de los dos. Las brechas rotatorias se dividen en espacios sincrónicos y asincrónicos (Eduardo Pèrez de obanos Francès, 2010).

1.1.3.1 DESCARGADORES (SPARKGAPS) ESTÁTICOS

El tipo más sencillo de producción de arco eléctrico consta de dos electrodos a una distancia específica entre sí. La forma de los electrodos es importante, ya que determina la forma del campo y por lo tanto el voltaje de ruptura. Voltaje de ruptura también se ve influida por muchos factores diferentes, como humedad, temperatura y presión del medio (aire) entre los electrodos. Se produce una gran influencia de los iones ya presentes en la brecha. No es posible diseñar la brecha por voltaje de ruptura constante y reproducible. Es una buena práctica de dividir el arco en una serie de huecos individuales.

Es importante asegurarse de proporcionar un flujo de aire a través de la brecha. Esto eliminará iones de la brecha y también tiene un cierto efecto de enfriamiento. (Mehlhose, 1999)

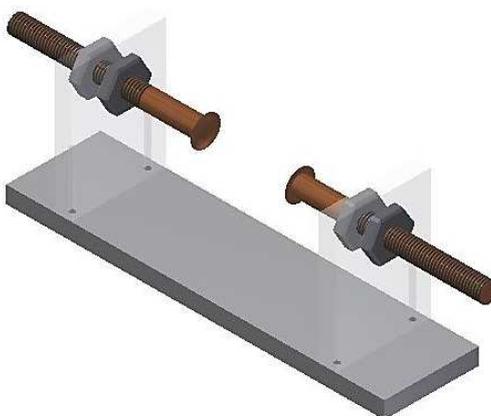


Figura 5 Descargador estático (Hurtado y Villamar, 2014)

1.1.3.2 DESCARGADORES (SPARKGAPS) MÓVILES

El explosor giratorio, el cual cuenta con electrodos móviles y fijos. El funcionamiento del sistema es el siguiente: cuando dos electrodos, uno fijo y otro móvil, se encuentran lo suficientemente cerca se produce el arco eléctrico y se descarga el capacitor. A medida que se aleja el electrodo móvil del fijo el arco tiende a extinguirse hasta que no es posible sostenerse y se apaga. Con un explosor giratorio es posible obtener cierto grado de control sobre el periodo de tiempo en que se extingue un arco; la diferencia principal radica en que en el explosor giratorio el voltaje que alcanza el capacitor no depende del espacio entre electrodos sino en el tiempo que toma que el electrodo móvil se acerque al fijo, es por esto que la separación entre electrodo fijo y móvil, cuando están alineados, debe ser lo más pequeña posible: del orden de décimas de milímetro, de 0,2 – 0,5 mm. Entonces el tiempo de carga del capacitor termina dependiendo de la velocidad angular del motor, es decir, las revoluciones por minuto, y del número de electrodos fijos móviles. (Eduardo Pèrez de obanos Francès, 2010)

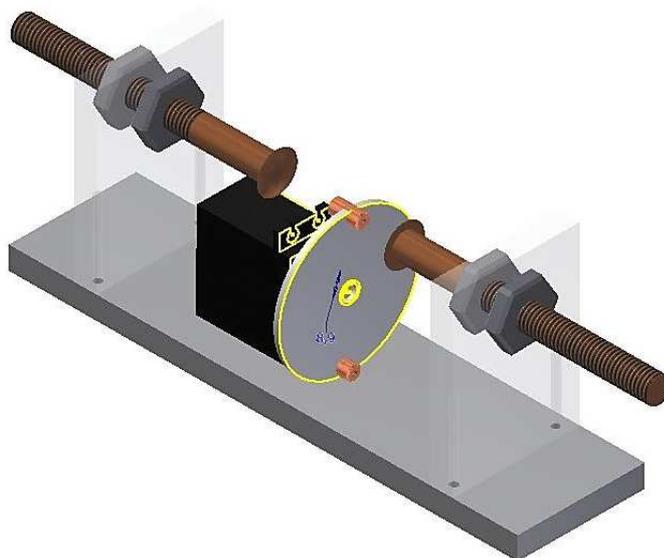


Figura 6 Descargador giratorio (Hurtado y Villamar, 2014)

1.1.4 CAPACITOR PRINCIPAL

El capacitor de alto voltaje es quizás la parte más sensible de una Bobina Tesla. Dado que está sometido a voltajes enormes y a que sus descargas producen corrientes eléctricas del orden de cientos de amperes a frecuencias de cientos de kHz. Es una parte de enorme importancia en el funcionamiento del sistema entero.

En principio, el condensador es un depósito para la energía proporcionada por el transformador. Además tiene como función, en conjunto con la bobina primaria y el explosor, generar los pulsos de alta frecuencia que hacen funcionar a la bobina.

Los valores de capacidad del condensador principal suelen estar entre 0,05 μF y 0,2 μF . Su valor influye en la frecuencia de resonancia del primario y del secundario, y en la máxima potencia disponible para la bobina Tesla. Dada la naturaleza de su función, el condensador utilizado debe satisfacer las siguientes condiciones:

- ▶ **Tener una alta resistencia dieléctrica.**- Como se trabaja con altos voltajes el condensador debe ser capaz de soportarlos. Debe resistir voltajes iguales al pico del transformador, e incluso debe ser capaz de tolerar picos ocasionales de hasta el doble del voltaje de aquel.
- ▶ **Apropiado para su uso a radiofrecuencias.**- Aunque el capacitor se carga con corriente continua o alterna en el rango de 50-60 Hz, su descarga es una oscilación eléctrica de cientos de miles de ciclos por segundo. A estas frecuencias el dieléctrico no debe absorber cantidades importantes de energía pues esta energía naturalmente se convierte en calor, lo cual puede afectar su estructura molecular. Los condensadores comerciales y los caseros de buena calidad tienen como dieléctrico polipropileno, polietileno o poliestireno, plásticos cuyas pérdidas a radiofrecuencias son muy bajas y prácticamente no sufren calentamiento interno.

- **Tolerar la corriente de descarga.** La corriente de descarga de un capacitor es del orden de cientos de amperes y debe ser capaz de resistirlos; de otro modo sufrirá de calentamiento excesivo que podría llegar a destruirlo.



Figura 7 Condensadores comerciales (Hurtado y Villamar, 2014)

1.1.5 BOBINA PRIMARIA

La bobina primaria y el condensador primario forma el circuito primario. Este circuito resonante paralelo es responsable de la generación de oscilaciones de RF en el sistema de la bobina Tesla cada vez que se den los arcos (Burnett, 1999)



Figura 8 Bobina primaria cónica inversa (Hurtado y Villamar, 2014)

Hay varios aspectos de la bobina que se deben considerar en la etapa de diseño de una Bobina Tesla:

- ▶ Capacidad de altas corrientes, las corrientes pico en el circuito primario son enormes cuando los fuegos de chispa y el condensador de depósito se descarga en la bobina primaria. En un TC pequeño el pico de la corriente primaria puede ser alrededor de 100 A, y en un sistema grande la corriente pico puede ser de varios miles de amperios. La corriente pico real depende de la tensión del circuito primario y la impedancia del circuito primario.
- ▶ El efecto piel es otra consideración que se debe tomar en cuenta, esto significa que si utiliza un buen conductor para el circuito primario, entonces las corrientes primarias se ven obligados a fluir en una capa más fina más cerca de la superficie del conductor. Es decir solo se utiliza a parte superficial de conductor para transmitir corriente, pero sirve de ayuda en la conducción de calor. Por estas razones, tubo de cobre es una opción para las bobinas primarias. Esto representa un buen compromiso entre la conductividad y facilidad de formar en la forma deseada.
- ▶ Inductancia ajustable, para que una Bobina Tesla tenga un correcto funcionamiento de los circuitos primario y secundario deben estar sintonizados en la misma frecuencia de resonancia. Esto se puede lograr haciendo que uno de los componentes del primario o el circuito secundario sea ajustable. En un TC la frecuencia de resonancia del secundario está generalmente "fijada" en la etapa de diseño, por lo tanto, la frecuencia primaria (FP) debe ser ajustable para permitir una afinación precisa. La forma más sencilla de conseguir esto es por lo que la inductancia primaria es ajustable por medio de un punto de derivación móvil. Esto permite que el número requerido de vueltas en el primario para ser seleccionado para conseguir la frecuencia resonante deseada.

$$FP = \frac{1}{2\pi\sqrt{L*C}} \quad [1]$$

- ▶ Para la transferencia de energía en un sistema de dos bobinas de acoplamiento magnético entre la bobina primaria y la bobina secundaria es bastante bajo ($K < 0,2$). Por ejemplo, una hélice primaria vertical que cubre una parte considerable del secundario dará un factor de acoplamiento muy alto, mientras que una espiral plana en la base del secundario da un factor de acoplamiento comparativamente bajo. Después de la etapa de diseño, el factor de acoplamiento puede ser ajustado ligeramente mediante la alteración de la posición relativa de las bobinas primaria y secundaria. El aumento de la bobina primaria en relación con la secundaria aumentará k , mientras que la reducción de la bobina primaria produce una pequeña disminución en el acoplamiento.
- ▶ Entre una de las condiciones de funcionamiento está en primer lugar, el bobinado primario debe ser capaz de soportar la tensión primaria pico a través del número de vueltas que se utilizan. Las tensiones pico primarias pueden ser bastante altas, pero generalmente esto se aplica sobre varias de las vueltas de la bobina primaria. Esto significa que la diferencia de tensión entre las vueltas adyacentes es bastante baja. La excepción a esto sería una tensión primaria muy alta aplicada a través de un pequeño número de espiras estrechamente espaciadas. Esta situación puede requerir la atención a la posibilidad de aislamiento inter-vuelta.
- ▶ Otra consideración importante es cuando hay un espacio libre entre la bobina primaria y el toroide de descarga en la parte superior de la secundaria. El posicionamiento relativo de las bobinas primaria y secundaria es dictada por el requisito de acoplamiento mencionado anteriormente. Por esta razón, la holgura de la bobina primaria al toroide depende principalmente de la longitud de la bobina secundaria y debe ser influenciada por la longitud de chispa esperada Impedancia.

1.1.5.1 TIPOS DE BOBINA PRIMARIA

➤ BOBINA PRIMARIA PLANA

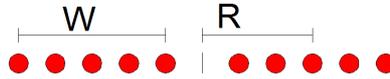


Figura 9 Bobina primaria Plana (Hurtado y Villamar, 2014)

La bobina principal plana se enrolla en un único plano. La inductancia se puede calcular con la siguiente fórmula (Mehlhose, 1999):

$$L = \frac{(NR)^2}{8R+11W} \quad [2]$$

La inductancia L está en micro henrios.

N : es el número de vueltas.

W : es la anchura de bobinado.

R : es el radio medio de la bobina.

Los valores de W y R están en pulgadas.

➤ BOBINA PRIMARIA HELICOIDAL

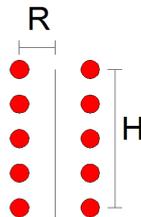


Figura 10 Bobina primaria Helicoidal (Hurtado y Villamar, 2014)

La bobina helicoidal se enrolla como un cilindro. La inductancia se calcula con la fórmula (ecuación Wheeler):

$$L = \frac{(NR)^2}{9R+10H} \quad [3]$$

La inductancia L está en micro henrios.

N : es el número de vueltas.

R : es el radio de la bobina.

H : es la altura.

Los valores de H y R están en pulgadas.

➤ BOBINA PRIMARIA CÓNICA INVERSA

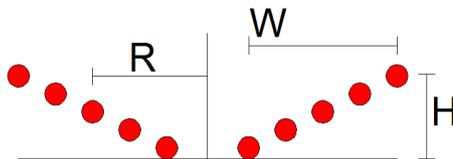


Figura 11 Bobina cónica inversa (Hurtado y Villamar, 2014)

La bobina cónica inversa se enrolla en forma de un platillo. La inductancia se puede calcular con una fórmula, que basa en la suposición de que este tipo de bobina puede ser interpretada como una mezcla de los tipos anteriores. Ambas partes se calculan junto con el ángulo de gradiente (Mehlhose, 1999).

$$L = \sqrt{(L_1 \text{sen}\alpha)^2 + (L_2 \text{cos}\alpha)^2} \quad [4]$$

Las inductancias, L_1 y L_2 están en micro henrios.

N : es el número de vueltas.

W : es el ancho de bobina.

R : es el radio medio.

H : es la altura de la bobina.

Los valores de W , H y R están en pulgadas.

L1 representa el valor de la componente helicoidal mientras que L2 representa el componente de bobina plana. L1 y L2 se calculan por separado con las fórmulas de las bobinas planas y helicoidales mostrados arriba y luego se combinan utilizando la suma geométrica.

1.1.6 BOBINA SECUNDARIA

La bobina secundaria no tiene que ser diseñado corrientes altas, pero también debe soportar la tensión muy alta. Como habrá una onda estacionaria en la bobina, en la base de la bobina, que está conectada la RF-tierra, las corrientes estarán en el rango de varios amperios(Mehlhose, 1999).



Figura 12 Bobina Secundaria (Hurtado y Villamar, 2014)

El alto voltaje requiere un buen aislamiento. No use alambre muy delgado debido a que las altas corrientes de base, podría causar pérdidas muy elevadas. Típicamente, la relación entre la altura y el diámetro de la bobina secundaria está en un intervalo de 3:1 a 5:1. Esto tiene que ver con el acoplamiento entre el circuito primario y

secundario. Para bobinas de alta potencia, se utiliza una relación 3:1. Pequeñas bobinas subir a 5:1(Mehlhose, 1999).

Existen varios factores que influyen en su dimensión de la bobina:

- Inductancia debe coincidir con la frecuencia de resonancia junto con la capacitancia y auto capacitancia del toroide.
- La auto Capacitancia debe estar en la mitad del máximo de la capacitancia del toroide.
- Número de vueltas debe estar en el rango de alrededor de 1000.

La inductancia de la bobina secundaria puede ser calculada con la fórmula de Wheeler:

$$L = \frac{(NR)^2}{9R+10H} \quad [5]$$

La inductancia L está en micro henrios, R es el radio de la bobina en pulgadas, N es el número de vueltas y H es la altura de la bobina en pulgadas(Mehlhose, 1999).

La bobina secundaria junto con la primaria son la parte transformadora del Transformador de Tesla. Es en este gran solenoide donde se generan los altos voltajes que producen esas espectaculares descargas al aire, que son el principal objetivo de este proyecto(Eduardo Pèrez de obanos Francès, 2010).

La bobina secundaria usualmente se construye en forma de solenoide, pero también puede tener forma cónica. Se construye sobre alguna forma cilíndrica plástica. El material más común es el PVC por su rigidez y bajo costo. El secundario se devana con conductor de cobre de calibres que van de 0,3 a 1 mm de diámetro. La elección exacta depende de las dimensiones que se deseen para la bobina y la potencia manejada por el sistema, además de considerar que los secundarios tienen entre 800 y 1500 espiras de conductor de cobre por lo general. La longitud del devanado depende de la potencia del

sistema, ya que mayores potencias implican descargas más largas y más posibilidades de que se forme un arco entre el toroide y la bobina primaria. Esto no es problema si se cuenta con dispositivos de protección adecuados para el transformador, pero tampoco es muy vistoso que la mayor parte de las descargas terminen incidiendo sobre el primario.

Una vez devanado el secundario es muy buena idea darle un recubrimiento de barniz para mantener firme el alambre y evitar que pierda fuerza, además de que estéticamente se ve muy bien; inclusive se tiene más protección para el conductor pues la resistencia dieléctrica a la formación de arcos a lo largo secundario se incrementa. En pocas palabras, se garantiza una vida más larga a la bobina (Eduardo Pèrez de obanos Francès, 2010).

1.1.7 TOROIDE

La forma de la carga superior le ayudará a determinar donde los arcos se desatarán. La dona o toroide (también llamado un toro) es la forma preferida para la carga superior (Mehlhose, 1999). Como la bobina opera una carga, se acumula alrededor de la superficie de la carga superior. Al aplanar la esfera en un toroide, la intensidad de campo se incrementará alrededor del radio del toroide. Los arcos se desatarán cuando la intensidad del campo es mayor. La ventaja de concentrar el campo alrededor de la radio es para ayudar a dirigir los arcos hacia el exterior. Usando una esfera dará lugar a una distribución más uniforme, pero los pequeños arcos (Mehlhose, 1999).



Figura 13 Toroide (Hurtado y Villamar, 2014)

El tamaño de la carga superior y la cantidad de energía aplicada dictarán el tamaño y el número de arcos que produce la Bobina Tesla. Si la carga superior es pequeña en relación a la potencia de entrada, entonces se producen muchos arcos simultáneos, más cortos. A medida que el tamaño de la carga superior se aumenta el número de arcos se reducirá y la longitud del arco aumentará. Si el toroide es demasiado grande la fuerza del campo no será lo suficientemente fuerte para permitir que cualquier arco de ruptura.

Colocar un objeto puntiagudo como una tachuela o una pequeña bola metálica (llamada estallido punto) en el toroide creará una interrupción en el campo y permitir que los arcos de salir desde el estallido punto (Mehlhose, 1999).

El método más común de construcción del toroide es envolver conducto de aluminio secador de alrededor de un molde de aluminio. También puede comprar un toroide aluminio entallado. Una carga superior puede ser de prácticamente cualquier cosa con una forma lisa cubierta de papel de aluminio. Evite el uso de "metal" de pintura. Normalmente no hay suficiente metal en la pintura para crear una superficie conductora, e incluso si no hay suficiente metal, por lo general rápidamente quemada (Mehlhose, 1999).

Generalmente, el diámetro del anillo toroidal debe ser aproximadamente la misma que la bobina secundaria, es decir, una bobina secundaria en 4 pulgadas de tubo de PVC debe usar conducto 4 pulgadas secador de diámetro. El diámetro total del toroide debe ser aproximadamente 4 veces el diámetro del anillo, de modo conducto 4 pulgadas secador de diámetro debe ser envuelto alrededor de un molde de pastel 8 mm para un diámetro total global de 16 pulgadas (Mehlhose, 1999).

1.2 CALCULOS DE LOS COMPONENTES DE LA BOBINA

Para el diseño y construcción de una Bobina Tesla de mediana potencia, y el dimensionamiento adecuado de los equipos utilizados, fueron necesarios realizar los siguientes cálculos:

1.2.1 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Se considera una fuente de alimentación de uso comercial (FRANCEFORMER) con las siguientes características:

Voltaje primario: 120 V

Voltaje secundario: 15 kV

Corriente secundario: 30 mA

Potencia: 463 W

Frecuencia: 60 Hz

1.2.2 CAPACITOR PRINCIPAL

Con las características de la fuente de alimentación seleccionada calculamos el valor del capacitor principal, teniendo en cuenta que para que existe la máxima transferencia de potencia, la impedancia del capacitor debe ser igual o cercana a la impedancia de la fuente.

$$Z_{fuente} = \frac{V_{fuente}}{I_{fuente}} \quad [6]$$

$$Z_{fuente} = \frac{15000}{0.03} = 500 \text{ k}\Omega$$

$$Z_{fuente} = Z_{capacitor} \quad [7]$$

$$C = \frac{1}{2\pi F Z_{capacitor}} = \frac{1}{2\pi(60)(500000)} = 5.3 \text{ nF}$$

El capacitor para un descargador (spark gap) estáticos.

$$C = 1.6(5.3 \text{ nF}) = \mathbf{8.5 \text{ nF}}$$

1.2.3 BOBINA SECUNDARIA

Para el cálculo de la bobina secundaria se seleccionó un tubo PVC de 11 cm de diámetro y una altura de 54 cm, ya que al hacer la relación de altura diámetro H:D recomendada por Eduardo Pérez de obanos Francés (2010), el mismo que guarda una proporción de entre 3 y 5 unidades.

Además contamos de un conductor esmaltado AWG #26 para el bobinado, mismo que es de uso comercial en el mercado y el que se acopla para el cálculo de número de espiras, que necesitamos realizar para cubrir el tubo PVC de 54cm según lo indica Wilson (2009).

$$N^{\circ} \text{ espiras teóricas} = \frac{\text{altura}}{\text{calibre conductor}} \quad [8]$$

$$N^{\circ} \text{ espiras teóricas} = \frac{54}{0.04405} = 1225 \text{ espiras teóricas}$$

Aplicando la fórmula de Wheeler según Eduardo Pérez de obanos (2010) hallamos el valor de la inductancia de nuestra bobina secundaria.

$$L_{\text{secundaria}} = \frac{R^2 N^2}{2540(9R+10H)} \quad [9]$$

Dónde:

L secundaria: Inductancia del secundario [mH]

R: Radio del secundario [cm]

H: Altura del secundario [cm]

N: Número de vueltas

$$L_{\text{secundaria}} = \frac{5.5^2(1225^2)}{2540[(9(5.5)) + (10(54))]} = 30.31\text{mH}$$

Aplicando la fórmula de Medhurst Eduardo Pérez de obanos Francés (2010) hallamos la capacidad parasita de la bobina secundaria.

$$C_{parasita} = KD \quad [10]$$

Dónde:

C parasita: Viene en pF

D: Diámetro del secundario [cm]

$$K = 0.100976 \frac{H}{D} + 0.30963$$

H: Altura del secundario [cm]

$$K = 0.100976 \frac{54}{11} + 0.30963 = 0.80533$$

$$C_{parasita} = (0.81451)(11) = \mathbf{8.85863pF}$$

La longitud total del conductor según Eduardo Pérez de obanos Francés (2010) es:

$$Longitud = 2\pi RN \quad [11]$$

$$Longitud = 2\pi(0.054)(1225) \approx \mathbf{415.632m}$$

Teniendo la longitud total del conductor, y sabiendo que es de cobre, procedemos al cálculo de la resistencia de la bobina secundaria.

$$R_{secundaria} = R/m(Longitud) \quad [12]$$

$$R_{secundaria} = 0.134499(415.632) = \mathbf{55.902\Omega}$$

1.2.4 TOROIDE

Se recomienda que el radio del anillo del toroide sea de iguales dimensiones que el radio de la bobina secundaria y el radio total del toroide sea cuatro veces el radio del anillo según Wilson (2009). Para esto se optó por diámetro externo de 45.72 cm y un diámetro de anillo de 11.43 cm, con estos datos procedemos al cálculo de la capacidad del toroide.

$$C_{toroide} = 2.8 \left(1.2781 - \frac{d_{anillo}}{d_{exterior}} \right) \left(\sqrt{0.1217(d_{anillo})(d_{exterior} - d_{anillo})} \right)$$

$$C_{toroide} = 2.8 \left(1.2781 - \frac{11.43}{45.72} \right) \left(\sqrt{0.1217(11.43)(45.72 - 11.43)} \right) = \mathbf{22.59pF}$$

Lo que nos permite obtener la frecuencia de resonancia en el lado del secundario.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{secundaria}(C_{parasita} + C_{toroide})}} \quad [13]$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{30.316 \times 10^{-3}(31.549 \times 10^{-12})}} = \mathbf{162.738KHz}$$

1.2.5 BOBINA PRIMARIA

Sabiendo que en el lado primario tenemos una capacitancia de 8.5nf y que la frecuencia de resonancia debe ser la misma que en el lado secundario, la inductancia en el lado primario es:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{primaria}C_{principal}}} \quad [14]$$

$$L_{primaria} = \frac{1}{C_{principal}(2\pi f_r)^2} \quad [15]$$

$$L_{primaria} = \frac{1}{8.5 \times 10^{-9} (2\pi(162.738))^2} = \mathbf{112.522 \mu H}$$

Dimensionando la bobina primaria plana, se considera un espacio de 2.5cm entre la bobina secundaria y bobina primaria, ya que la rigidez dieléctrica en un campo uniforme a una temperatura de 20°C y humedad menor del 80 % es de 32 kV/cm según un informe realizado por Universidad Nacional de la Plata (2013)

Por lo tanto realizando el cálculo con una tensión de 15kV tenemos:

$$\text{Rigidez dieléctrica del aire} = 32 \frac{\text{kV}}{\text{cm}} (2.5\text{cm})$$

$$\text{Rigidez dieléctrica del aire} = 80\text{kV}.$$

Es decir que con una separación de 5cm la disrupción no se presenta hasta un nivel de tensión de 80 kV

$$L = \frac{(NR)^2}{2.54(8R+11W)} \quad [16]$$

La inductancia **L** está en micro henrios.

N: es el número de vueltas.

W: es la anchura de bobinado.

R: es el radio medio de la bobina.

Los valores de **W** y **R** están en centímetros.

Dejando un espacio entre la bobina secundaria y primaria de 2.5cm de protección, además de que poseerá los siguientes valores en $W=22.25\text{cm}$ y $R=21.625\text{cm}$, estos valores se los han previsto con la misión de tener un espacio prudencial entre espiras para poder colocar el punto móvil que nos permitirá calibrar la bobina.

$$L_{primario} = \frac{R^2 N^2}{2.54(8R + 11W)}$$

$$N = \sqrt{\frac{2.54(8R + 11W)L_{primario}}{R^2}}$$

$$N = \sqrt{\frac{2.54(8(21.625) + 11(22.25))112.522}{21.625^2}} = \mathbf{15.9 vueltas}$$

1.3 DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LA BOBINA TESLA

Para el diseño y construcción de la Bobina Tesla de mediana potencia se realizó la construcción de algunos componentes como (Bobinas de Choque, Descargadores, Bobina Primaria, Bobina Secundaria, bases de sujeción)

Otros componentes como (Toroide, Capacitores y Transformador) se adquirieron (se compraron) debido a sus características propias y para garantizar un funcionamiento óptimo.

1.3.1 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

La fuente de alimentación constituye el primer elemento y básicamente es uno de los más importantes para el correcto funcionamiento ya que es de aquí donde se proveerá de energía para que surja efecto el experimento. Como ya se antecedió en la descripción de los componentes existen dos tipos de transformadores para lograr el objetivo, pero el que se acopla perfectamente son los transformadores de neón ya que las corrientes que maneja este dispositivo oscila entre los 8 y los 120mA, el mismo que además de su corriente muy baja posee una potencia de 463W, requisitos que son necesarios para llevar a cabo este proyecto.

Las características del elemento son:

CARACTERÍSTICAS	ELEMENTO
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Voltaje primario 120v ▪ Voltaje secundario 15kv ▪ Corriente secundario 30mA ▪ Potencia 463W ▪ Frecuencia 60Hz 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hoja de datos (ver anexo A) 	 <p style="text-align: center;">datasheet transformador Neon (</p>

Figura 14 Transformador de Neón y sus Características (Hurtado y Villamar, 2014)

1.3.2 BOBINA DE CHOQUE

Para su construcción fueron necesarios los siguientes equipos y materiales.

Equipos

- Máquina Bobinadora.
- Comprobador de aislamiento

Materiales

- Cable esmaltado #16
- Barniz
- Tuvo PVC de de26 cm
- Cinta Masking.
- Papel Aislante de Alta Tensión.
- Guantes.

Construcción.

Debido a que las bobinas de choque son para limitar la corriente y su valor no afecta al funcionamiento, su construcción es opcional, según esto se realiza la construcción de dos bobinas, el número de vueltas se realizó experimentalmente tomando como referencia el nivel de aislamiento que estas deberían soportar (Eduardo Pèrez de obanos Francès, 2010).



Figura 15 Nivel de aislamiento de la bobina de 1350 espiras (Hurtado y Villamar, 2014)

Para la primera bobina se utilizó un pedazo de tubo PVC sobre el cual se bobinaron 1350 espiras, cabe recalcar que por el tamaño del tubo no se realizó el bobinado en una sola capa, sino que se realizó un total de 3 capas hasta obtener el número de espiras anteriormente expuesto, de igual forma se experimentó la primera bobina sin papel aislante de Alta Tensión entre capa y capa, sino que únicamente se utilizó el barniz como medio aislante.

Para la construcción de la segunda bobina se realizó un total de 3150 espiras, el procedimiento a utilizar fue similar al de la primera bobina, incluyendo en este, el papel aislante de alta tensión entre capa y capa, para lograr el número de espiras deseado se realizaron un total de 7 capas.



Figura 16 Nivel de aislamiento de la bobina de 3150 espiras (Hurtado y Villamar, 2014)



Figura 17 Bobinando las Bobinas de Choque (Hurtado y Villamar, 2014)



Figura 18 Bobinas de Choque - Construcción (Hurtado y Villamar, 2014)

1.3.3 DESCARGADORES (SPARKGAPS)

Para su diseño fueron considerados elementos como el acero y el aluminio, el primero por su punto de fusión y el segundo por su conductividad eléctrica, así como también su fácil adquisición en el mercado y su costo. El Aluminio (Al) se utilizó como disipador de calor ya que según Champan (3ra edición) se ubica en quinto lugar de la tabla de mejores conductores de calor.

El punto de fusión del acero es de 1535 °C según B.V LENNTECH (1998).

N°	Elemento	Conductividad Térmica λ
1	Diamante	2300
2	Plata	406,1 – 418,7
3	Cobre	372,1-385,2
4	Oro	308,2
5	Aluminio	209,3
6	Bronce	116-186

Tabla 1 Conductividad térmica de los principales elementos (Chapman,3ra edición)

Equipos

- Torno.
- Fresadora
- Materiales y herramientas
- Acero
- Aluminio

Para la construcción los diseños fueron elaborados mediante la ayuda de los softwares Inventor y AutoCAD, y que posteriormente se realizó la construcción de los elementos antes mencionados.

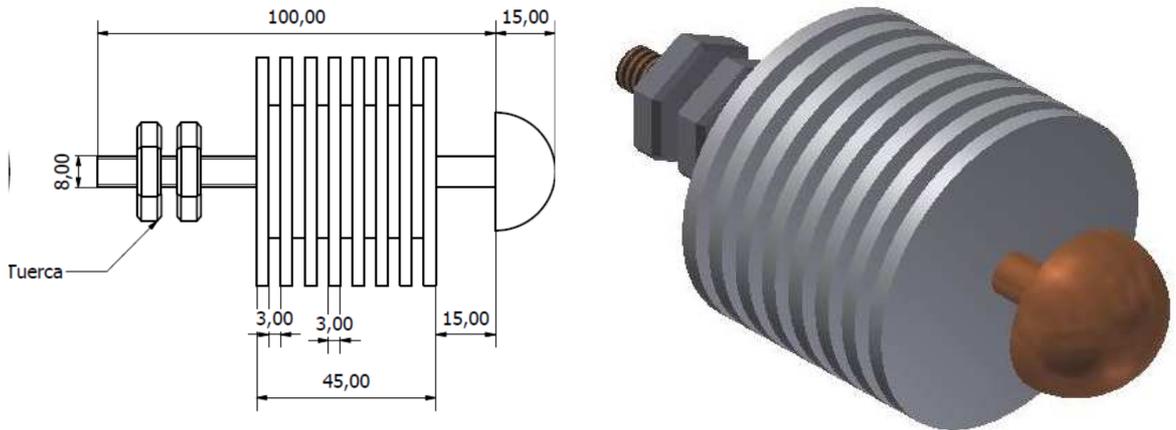


Figura 19 Diseño de los elementos en AutoCAD e Inventor (Hurtado y Villamar, 2014)

1.3.4 CAPACITOR PRINCIPAL

Para lograr el valor de tensión y Capacitancia deseado de 8.5nF se realizó la conexión de 18 capacitores en serie de 0.15uF, ya que según las especificaciones de cada uno de los capacitores soportan una tensión de 1000VDC y aproximadamente 750VAC, el procedimiento se puede evidenciar en la figura 20 los mismo que están situados sobre una lámina acrílica y con terminales tipo ojo en sus extremos



Figura 20 Capacitores (Hurtado y Villamar, 2014)

Características

- Capacitancia 0.15 uF
- Voltaje DC 1000
- Voltaje AC ≈ 750

Determinación de la capacitancia y voltaje

$$\frac{1}{CT} = \frac{1}{C1} + \frac{1}{C2} + \frac{1}{C3} \dots \dots \dots \frac{1}{Cn} \tag{17}$$

$$\frac{1}{CT} = \left(\frac{1}{0.15^{-6}} \right) \tag{18}$$

$$CT = \frac{0.15^{-6}}{18}$$

$$CT = 8.3^{-9} \approx \mathbf{8.3nF}$$

$$CT = \mathbf{8.3nF}$$

$$VT = V1 + V1 + V3 \dots Vn \tag{18}$$

$$VT = 750(18) \quad \text{donde} \quad VT = 13500 \approx \mathbf{13.5kV}$$

Capacitancia Requerida	Capacitancia Calculada	Capacitancia Medida
8.5 nF	8.3 nF	8.38 nF

Tabla 2 Valor de Capacitancia medida vs Calculada (Hurtado y Villamar, 2014)

1.3.5 BOBINA PRIMARIA

Debido a la variedad de formas que puede tener esta bobina como se revisó en aparatos anteriores, se optó por construir la espiral plana de Arquímedes ya que según investigaciones realizadas es la más óptima para que surja efecto el experimento, a más de que se acopla a nuestro diseño, a continuación se detalla las materiales y herramientas utilizadas para la construcción de este elemento.

Materiales y Herramientas

- Tubería de 1/4 de cobre.
- Base acrílica.
- Terminales.
- Correas de Seguridad.
- Soportes PVC

Procedimiento

La corriente eléctrica que circula por los conductores solamente se transporta por la parte externa del conductor, y debido a que el conductor de cobre que se debería utilizar para la conducción eléctrica en esta experiencia debería ser de calibre 6 u 8 AWG, se vio la necesidad de utilizar tubería de cobre de 1/4 ya que este se asemeja a un conductor hueco, y económicamente es más viable su adquisición.

El tubo se colocó sobre los soportes de PVC hasta que nos quede la espiral, la misma que se realizó un total de 16 vueltas según los cálculos realizados, los mismos que servirán posteriormente para lograr la sincronización de la bobina como se detallaran en apartados posteriores. Luego de realizadas las pruebas se procedió a sujetar con las correas de seguridad para evitar que se desprenda de los soportes.



Figura 21 Material para Bobina Primaria (Hurtado y Villamar, 2014)



Figura 22 Bobina Primaria Construida (Hurtado y Villamar, 2014)

1.3.6 BOBINA SECUNDARIA

Materiales y Herramientas

- Cable esmaltado #16
- Barniz
- Tuvo PVC de 55 cm
- Cinta Masking.
- Papel Aislante de Alta Tensión.
- Guantes.

Procedimiento.

Está construida sobre un tubo de 110mm de diámetro exterior, en los extremos de este se realizaron orificios para realizar las diferentes conexiones con el toroide y hacia tierra, luego el enrollamiento se lo realizó a mano, similar proceso al de las bobinas de choque pero sin ningún tipo de ayuda de equipos de bobinar, esto se lo realizó hasta obtener un bobinado de 1225 espiras. A cada extremo se dejó una distancia de 5cm de largo del cable bobinado para realizar conexiones a través de cable #14-GTO y al final se colocó terminal tipo ojo para realizar las debidas conexiones.



Figura 23 Bobina Secundaria (Hurtado y Villamar, 2014)

1.3.7 TOROIDE

Se vio necesario adquirir igual que algunos de los elementos mediante compra en otros países (EEUU), ya que su construcción es demasiado compleja y no se garantiza uniformidad en la superficie



Figura 24 Toroide (Hurtado y Villamar, 2014)

Características.

- Dimensiones: 18"x4.5"
- Material: Aluminio de Alta Calidad
- Orificio central de Montaje: 1/4

CAPITULO II

PRUEBAS Y ENSAYOS

2.1 PRUEBAS DE RESONANCIA

En el momento que un circuito se encuentra en resonancia, la tensión en el capacitor y la inductancia se anulan, haciendo que la resistencia capte todo el voltaje, partiendo de esta característica nos ayudamos de un osciloscopio, un generador de funciones y una resistencia de 1500Ω se eligió este valor de resistencia ya que se necesitaba una resistencia lo suficientemente alta para apreciar la magnitud en el osciloscopio, esto debido a que la reactancia del capacitor de igual manera es alta $X_c=84.3M\Omega$, otro parámetro que se debe tomar en cuenta es la capacitancia de la sonda, para evitar que esta capacitancia interfiera en las mediciones colocamos la sonda en x10 donde tiene menor capacitancia. Teniendo estos componentes y tomando en cuenta las recomendaciones, se realiza un circuito RLC (ver figura 25), con los componentes del lado secundario de la Bobina Tesla, en donde se varía la frecuencia del generador de funciones hasta obtener que el valor en la resistencia sea igual al de la fuente.

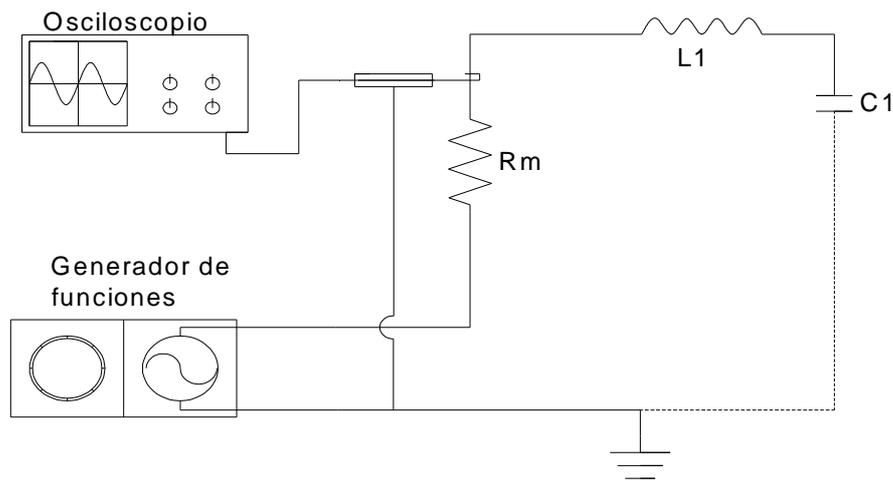


Figura 25 Circuito RLC para medir la Frecuencia de Resonancia en el secundario (Hurtado y Villamar, 2014)

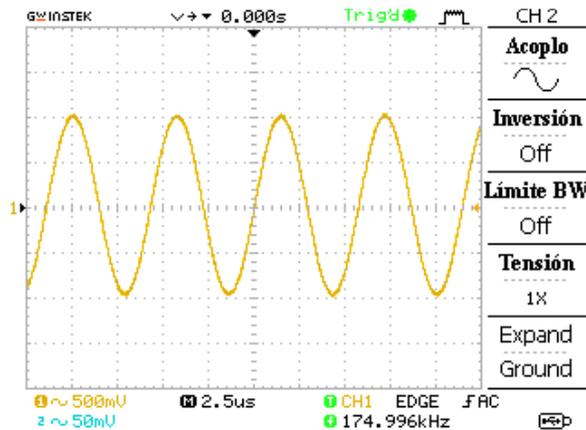


Figura 26 Frecuencia de Resonancia en 175 KHz (Hurtado y Villamar, 2014)

Como se puede apreciar en la figura 26, en el lado secundario existe una frecuencia de resonancia de 175KHz, que es cercana a la calculada de 162.738 kHz. Para el lado primario se aplica idéntica técnica, tomando como referencia la frecuencia de resonancia del secundario, y a través del punto móvil se calibra hasta obtener una frecuencia igual o cercana a la del lado secundario.

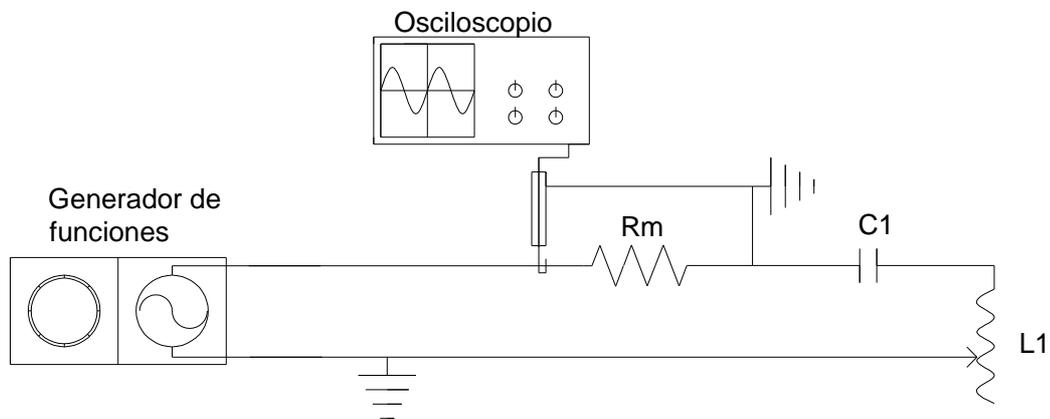


Figura 27 Circuito RLC para medir la Frecuencia de Resonancia en el primario (Hurtado y Villamar, 2014)

Para la calibración se ubica el punto móvil hasta obtener una frecuencia de resonancia de 174KHz.

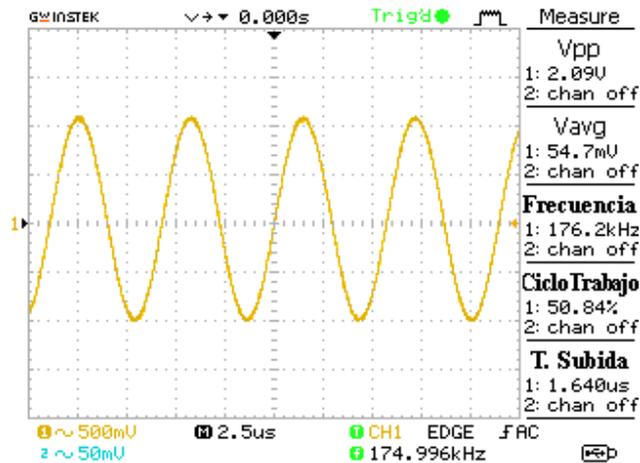


Figura 28 Frecuencia de Resonancia en 174 KHz (Hurtado y Villamar, 2014)

2.2 MEDIDA DE LA FRECUENCIA DE RESONANCIA EN EL PRIMARIO

Con la ayuda de un capacitor y una resistencia de alta tensión, se procede a las respectivas conexiones, para observar a través del osciloscopio la forma de onda que se encuentra en la Bobina Tesla en el momento que entra en funcionamiento. El mismo que anteriormente fue sincronizado para que trabaje tanto el primario como secundario a la misma frecuencia de 175kHz.

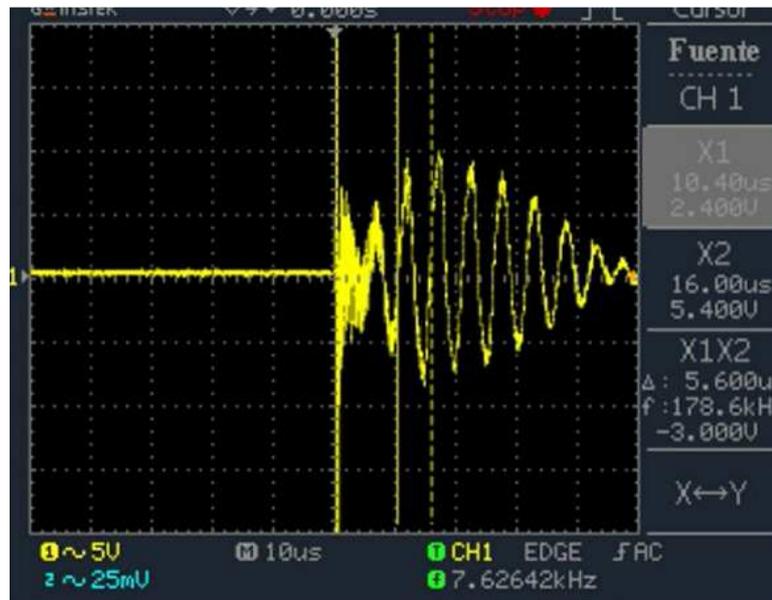


Figura 29 Frecuencia de Resonancia de 178 KHz y Periodo (Hurtado y Villamar, 2014)

Después de que el capacitor es cargado hasta el punto que la rigidez dieléctrica del aire existente entre los descargadores (Spark Gap) es interrumpida, produciendo que interactúe el capacitor con inductor entrando en resonancia, en estos momentos se deja de trabajar a la frecuencia de la red, y se trabaja a la frecuencia dada por la interacción entre el capacitor e inductor, en las figuras 29 y 30 podemos apreciar la alta frecuencia a la que trabaja la Bobina Tesla, y como va decayendo su magnitud debido a la descarga del capacitor.

2.3 MEDICIÓN DEL VOLTAJE DE CARGA DEL CAPACITOR PRINCIPAL

Se pudo observar a través del osciloscopio como el capacitor se carga al voltaje y frecuencia de la fuente, antes de que se dé la primera disrupción en los spark gap.

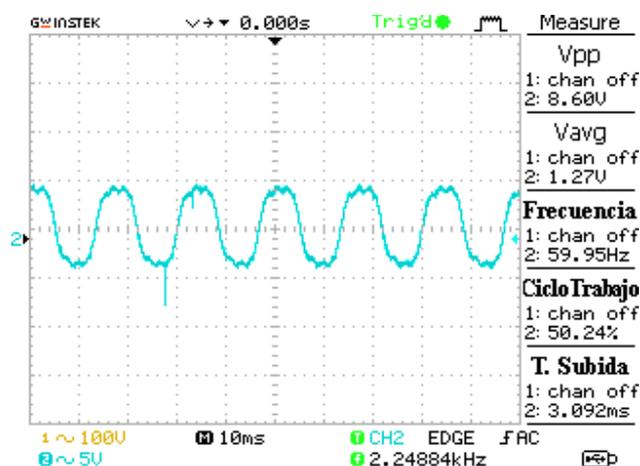


Figura 30 Carga del Capacitor (Hurtado y Villamar, 2014)

Los capacitores almacenan la energía, hasta que se rompe la rigidez dieléctrica del aire que existe entre los descargadores (Spark Gap).

2.4 ANÁLISIS DE CONTAMINACIÓN ARMÓNICA A LA RED PRIMARIA.

2.4.1 ARMÓNICOS

Los armónicos son tensiones o corrientes sinusoidales que poseen frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia a la cual el sistema de alimentación está diseñado para operar. Las formas de onda distorsionadas pueden ser descompuestas en una suma de la señal de frecuencia fundamental y las armónicas. La distorsión armónica se origina debido a las características no lineales de los equipos y cargas de un sistema de potencia. (Bustos Cabezas Karina Mercedes, 2014)

2.4.2 ÍNDICE DE DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD)

Uno de los índices más utilizados es la denominada distorsión armónica total, citada en la literatura como THD (Total Harmonic Distortion), y aplicable tanto para corriente como para tensión. Este índice se define como la relación entre el valor eficaz del total de las componentes armónicas y el valor eficaz correspondiente a la componente fundamental. Este valor es usualmente expresado como un porcentaje de la onda principal. Así para la onda de corriente será:

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2}}{I_1} 100\% \quad [19]$$

Dónde:

k : número de armónica.

I₁: valor eficaz de la onda fundamental de corriente.

I_k: valor eficaz del armónico k.

El THD_I puede variar desde pocas unidades porcentuales hasta superar el 100%, como ocurre en las fuentes de potencia conmutadas. Aunque los armónicos de corriente de frecuencia más elevada pueden tener valores pequeños, al ser las reactancias de la línea

y de los transformadores proporcionales a la frecuencia, los armónicos de tensión pueden tomar valores significativos. (J. A. Suárez, 2014)

De forma similar se expresa la distorsión en la tensión:

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2}}{V_1} 100\%$$

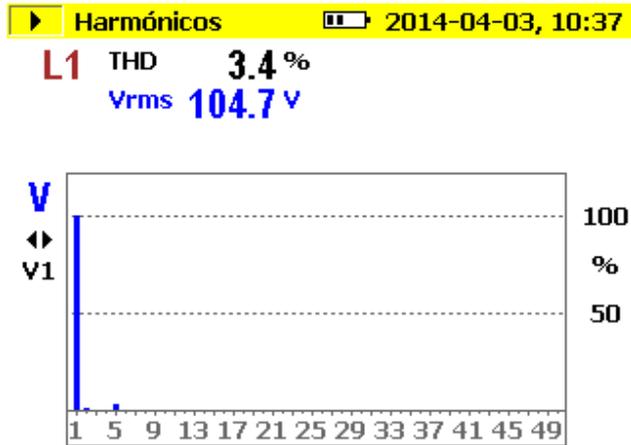


Figura 31 Distorsión Armónica de Voltaje

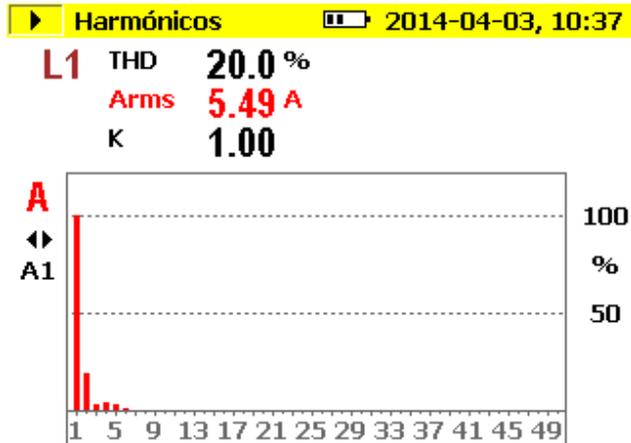


Figura 32 Distorsión Armónica de Corriente

CAPITULO III.

APLICACIONES

3.1 PRUEBA DE AISLADORES DE ALTA TENSIÓN

Los Aisladores de Alta Tensión son de gran importancia para el sector Eléctrico, ya que cumplen papeles fundamentales como el de salvaguardar la integridad de los conductores que están asociados a este, así como de una u otra forma estos dispositivos garantizan la continuidad de servicio Eléctrico, en función de esto es de vital importancia que estos dispositivos cumplan con los procedimientos tales como diseño, inspección, y pruebas.

Uno de los principales inconvenientes que se pueden presentar en el estado de operación de estos dispositivos es la formación de arcos eléctricos (fig. 24) a través de este, esto se produce debido a que el potencial se incrementa en los extremos hasta alcanzar un límite máximo en que se presenta la disrupción, por tanto los aisladores de Alta Tensión deben cumplir con estas exigencias para cumplir el objetivo fundamental que es aislar las redes y soportar los conductores.



Figura 33 Arco Eléctrico Presente en Aisladores (Martinez, 2008)

3.1.1 NIVEL DE AISLAMIENTO

El Nivel de aislamiento de los aisladores está definido por las tensiones soportada bajo impulso tipo rayo y frecuencia industrial bajo lluvia 50/60 Hz durante un minuto según la norma IEC 60071-1 (Endesa, 2003)

Voltajes Nominales en KV	Tensión Soportada Tipo Rayo (KVcr)	Tensión Soportada a Frecuencia Industrial bajo Lluvia (KVef)
60, 69	325, 350	140
110, 115, 132, 138	550	230
220, 230	950	395
230 en adelante	1050	460

Tabla 3 Niveles de Aislamiento (Endesa, 2003)

Dentro de los Procedimiento que los Aisladores que deben pasar para entrar en operación están las pruebas, en vista de esto una de los equipos que se puede utilizar para realizar dicho evento son las pruebas mediante las Bobina Tesla. Ya que las descargas producidas por este componente son muy parecidas a las perturbaciones transitorias que se dan en sistemas de potencia, como los arcos a tierra producidos en maniobras de encendido.

3.1.2 PRUEBAS REALIZADAS EN EL LABORATORIO

Los ensayos de descargas parciales constituyen un gran método directo empleado para evaluar la integridad del aislamiento de dichos componentes, interfaces y módulos de alta tensión, así como una técnica para detectar las grietas y burbujas existentes en el aislamiento.



Figura 34 Prueba de Asilamiento realizado en Laboratorio (Hurtado y Villamar, 2014)

3.2 GENERACIÓN DE PULSOS DE ALTA FRECUENCIA

Tradicionalmente, el método usado para generar alto voltaje ha sido la Bobina de Tesla cuyo circuito esquemático se muestra a continuación en la figura 26.

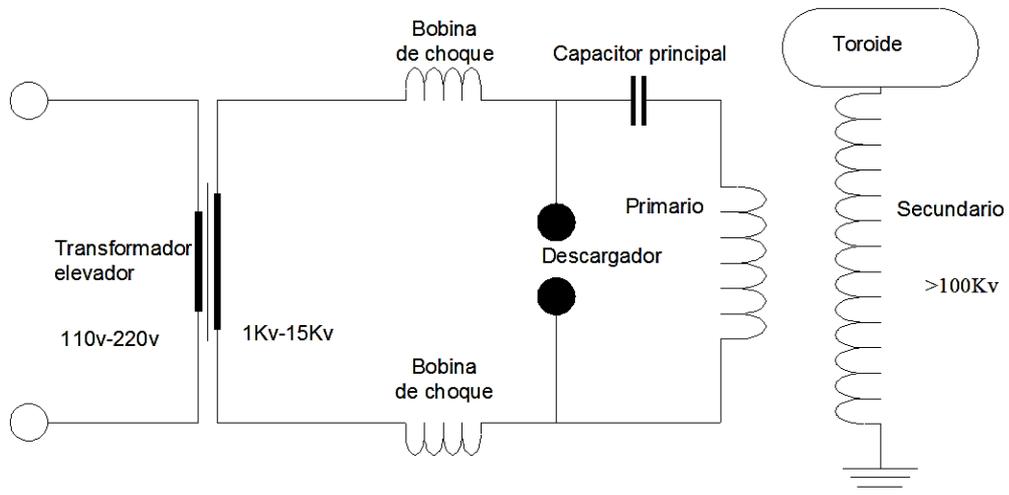


Figura 35 Esquema Bobina Tesla (Hurtado y Villamar, 2014)

Durante el funcionamiento, el condensador se carga cada medio ciclo del voltaje de alimentación de la fuente de corriente alterna hasta un nivel en el que ocurre un arco eléctrico entre las esferas (spark gaps), y entonces el condensador se descarga sobre el

arrollamiento primario de la Bobina de Tesla, teniendo como resultado en el punto de salida del arrollamiento secundario (voltaje de prueba), una onda de alto voltaje y de alta frecuencia que ocurre cada medio ciclo del voltaje de alimentación de la fuente de corriente alterna tal como se puede apreciar a continuación en la figura 27.



Figura 36 Forma de Onda en la Bobina Tesla (Rubiños, 2008)

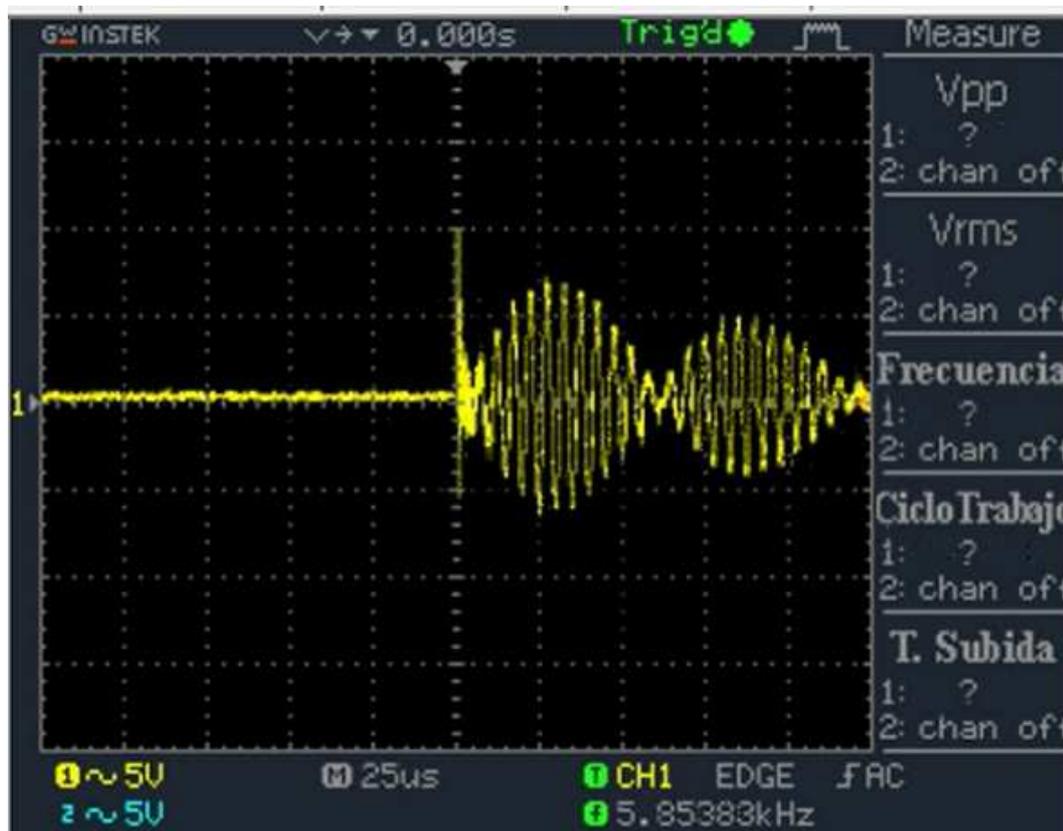
Las fuentes que generan pulsos de alta tensión con una tasa de repetición alta son muy utilizadas para diferentes problemas. Por ejemplo, pueden ser utilizadas para generar radiación electromagnética para medir objetos con una gran precisión o pulsos de microondas con 3 cm de longitud de onda.

Se han publicado numerosos artículos remarcando el uso de Bobinas Tesla en generadores relativistas de rayos de electrones. Su principal ventaja frente al generador de Marx es la alta tasa de repetición de los pulsos y el bajo coste debido al reducido número de condensadores necesarios. Se tiene constancia de uso de Bobina Tesla en algunos aparatos portátiles de tubos de rayos catódicos y tubos de rayos X, usados para análisis de joyas y minerales y para radiografías rápidas en campo abierto (Eduardo Pèrez de obanos Francès, 2010).

3.2.1 PRUEBAS REALIZADAS EN EL LABORATORIO

Durante las pruebas realizada en el laboratorio se utilizaron varios elementos como son Aisladores, Varillas de Cobre terminadas en Punta y planas horizontales y el ambiente propiamente dicho, el objetivo de esto es para poder observar el comportamiento que

presenta la forma de onda de Tensión de la Bobina Tesla, dando como resultado una única forma de onda que a continuación presentamos la experimentación vivida laboratorio.



**Figura 37 Forma de Onda del Voltaje capturada con Osciloscopio Digital
(Hurtado y Villamar, 2014)**

3.3 INVESTIGACIÓN SOBRE RAYOS

La atmósfera terrestre está compuesta fundamentalmente por oxígeno y nitrógeno, que son gases eléctricamente aislantes, pero la atmósfera está continuamente atravesada por distintos tipos de radiaciones procedentes del Sol, como la ultravioleta, y del cosmos con los fotones de los rayos x, fundamentalmente. Estas radiaciones hacen que las partículas de la atmósfera se carguen, lo que se conoce como ionización de la atmósfera, haciéndola más o menos conductora según la energía ionizante que recibe cada zona.

Los iones, por este motivo, están presentes en toda la atmósfera, distribuidos de forma heterogénea, apareciendo en las altas capas una franja de fuerte ionización y, por tanto, muy conductora: la ionosfera (Lorenzo)

La investigación sobre las descargas naturales de rayos ha estado motivada por el deseo de evitar accidentes espectaculares, como los que han ocurrido a lo largo de la historia. Unas descargas eléctricas imprevisibles causaron daños exteriores e interfirieron los ordenadores e instrumentos de la nave Apolo 12 al partir hacia la Luna en 1969. Otras descargas generaron una orden falsa que desvió y destruyó un cohete Atlas-Centauro, en 1987. Poco después indujeron el disparo antes de tiempo de tres cohetes en posición horizontal, en vez de vertical. (Eduardo Pèrez de obanos Francès, 2010)

Mientras que las descargas nube-tierra han sido estudiadas muy extensamente, las descargas nube-nube y al interior de las nubes necesitan ser estudiadas más profundamente ya que son más difíciles de ser medidas. Las observaciones de campo de estas descargas pueden aclarar bastante poco sobre su comportamiento; su proceso de propagación y su velocidad de descarga son estudiadas mejor escalando las descargas obtenidas en laboratorio (Eduardo Pèrez de obanos Francès, 2010).

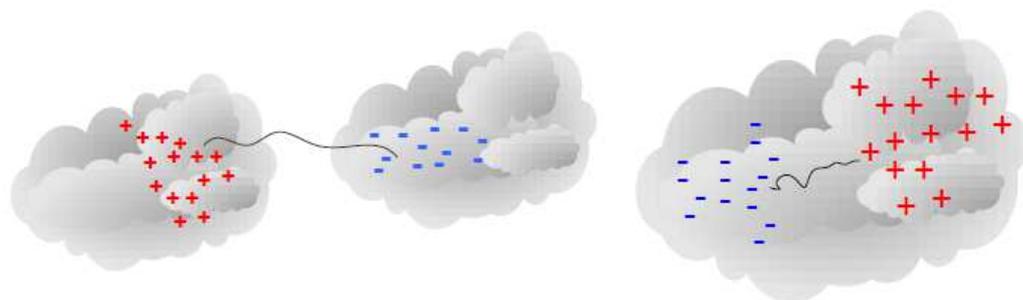


Figura 38 Descargas Nube- nube y descarga al interior de las nubes (TASIPANTA, 2002)

3.3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS RAYOS

- ✓ **Descendentes.-** (precursor desde la nube) se da especialmente en terrenos planos.

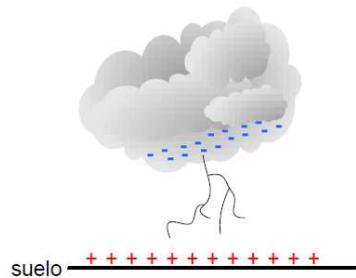


Figura 39 Descarga Descendente (TASIPANTA, 2002)

- ✓ **Ascendentes.-** (precursor desde el suelo) presencia en el suelo de prominencias importantes

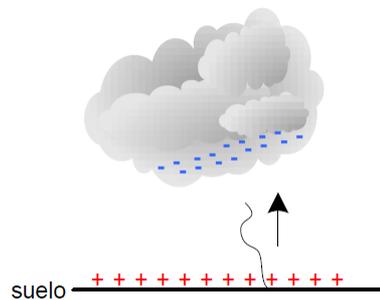


Figura 40 Descarga Ascendente (TASIPANTA, 2002)

- ✓ **Negativos.-** cuando la parte negativa de la nube se descarga

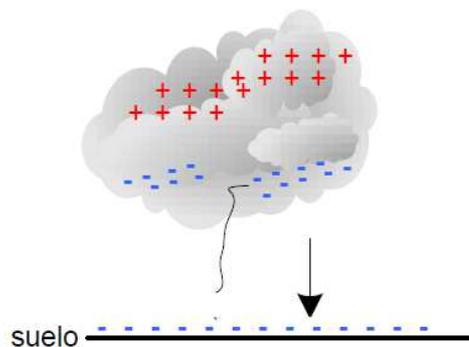


Figura 41 Descarga Negativa (TASIPANTA, 2002)

- ✓ **Positivos.**- cuando la parte positiva se descarga (islote positivo en la base)

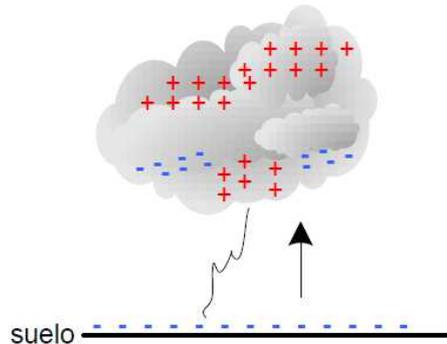


Figura 42 Descarga Positiva (TASIPANTA, 2002)

3.3.2 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PARARRAYOS

Los siguientes son los sistemas utilizados en la actualidad para la protección externa contra el rayo:

- **PUNTA FRANKLIN**

Su misión es provocar la excitación atmosférica por encima de cualquier otro punto de la estructura a proteger, para aumentar la probabilidad que la descarga incida en su zona de influencia, y derivar a tierra la corriente del rayo (Autoridad Nacional de servicios).

- **TENDIDO**

Protección formada por uno o múltiples conductores aéreos situados sobre la estructura a proteger. Los conductores se deberán unir a tierra mediante aterrizadores en cada uno de sus extremos. El área protegida vendrá dada por el área formada por el conjunto de conductores aéreos (Autoridad Nacional de servicios).

➤ **JAULA DE FARADAY**

El sistema consiste en la recepción del rayo a través de un conjunto de puntas captadoras unidas entre sí por cable conductor, formando una malla, y derivarla a tierra mediante una red de conductores (Autoridad Nacional de servicios).

3.3.3 EXPERIMENTACIÓN REALIZADA EN LABORATORIO

Las pruebas que se realizaron en el Laboratorio, utilizando la Bobina Tesla Esta la prueba de Punta de Franklin, la misma que se realizó colocando dos varillas de cobre con terminados en punta y en plano respectivamente, las mismas que sometidas a las descargas producidas por la bobina dio como resultado la absorción mayoritaria de las descargas por parte de la varilla terminada en punta, como se puede apreciar en la siguiente imagen.

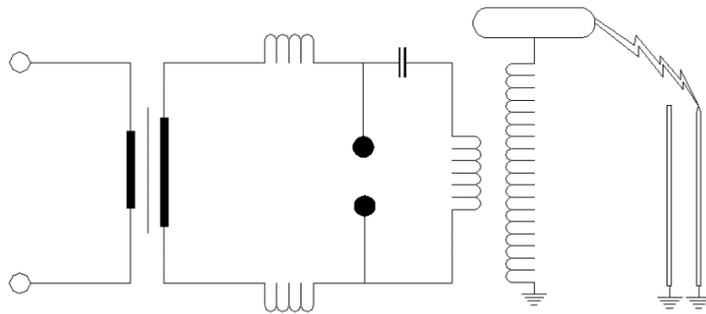


Figura 43 Diagrama de Descarga

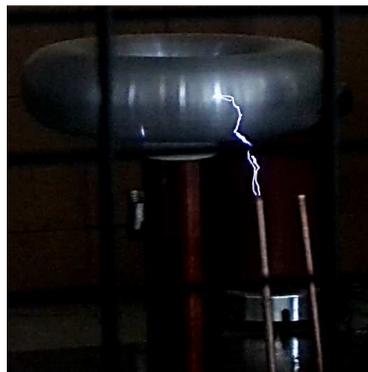


Figura 44 Descargas producidas sobre las barrilas de cobre (Hurtado y Villamar, 2014)

3.4 EFECTO CORONA

Es un fenómeno eléctrico que se produce en los conductores de las líneas de alta y media tensión y se manifiesta en forma de halo luminoso a su alrededor. El efecto corona es causado por la ionización del aire circundante al conductor debido a la colisión de electrones libres que se escapan del sistema, o por adición de electrones al pasar por una órbita de algún átomo capaz de contener esa energía. En el momento que las moléculas de aire se ionizan, éstas son capaces de conducir la corriente eléctrica y parte de los electrones que circulan por la línea pasan a circular por el aire; tal circulación producirá un arco de un color rojizo para niveles bajos de temperatura, o azulado para niveles altos (Mario Ricardo Cárdenas Barrero, 2005).



Figura 45 Efecto Corona en una línea de Alta Tensión de 500 KV (nitrometano, 2013)

3.4.1 RUIDO PROVOCADO POR EFECTO CORONA

El ruido provocado por el efecto corona consiste en un zumbido de baja frecuencia (básicamente de 100 Hz), provocado por el movimiento de los iones y un chisporroteo producido por las descargas eléctricas (entre 0,4 y 16 kHz). Son ruidos de pequeña intensidad que en muchos casos apenas son perceptibles; únicamente cuando el efecto corona sea elevado se percibirán en la proximidad inmediata de las líneas de alta y media tensión. La pérdida de electrones puede ser causada por contaminación, degradación, mala instalación o humedad anormal (Mario Ricardo Cárdenas Barrero, 2005).

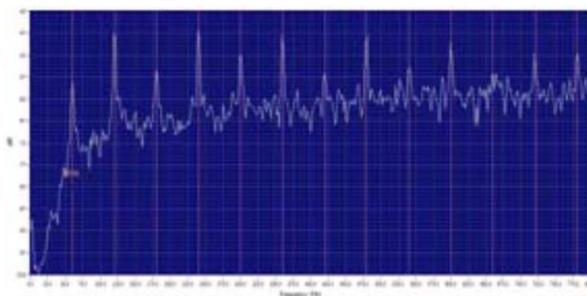


Figura 46 Efecto Corona diagrama de Frecuencia (Mario Ricardo Cárdenas Barrero, 2005)

3.4.2 PRUEBAS REALIZADAS EN EL LABORATORIO

3.4.2.1 EXPERIMENTACION DEL EFECTO CORONA

Una Bobina Tesla nos permite apreciar el efecto corona, que se produce cuando los niveles de tensión en un objeto supera la tensión de ruptura del medio dieléctrico, en el caso de la Bobina Tesla el aire. Cuanto menor sea el radio de la toroide mayor número de descargas por el efecto corona se tendrán, este fenómeno se lo aprecia en forma de luces y rayos alrededor del toroide como se observa en las imágenes.

Este efecto se aprecia a medida que se eleva el volta a un nivel de 60V en el primario del Transformador de Neón, y a medida que se incrementa se presenta rayos de longitud aproximada de 1 m a un nivel de tensión de 110 V en el primario



Figura 47 Efecto Corona (Disrupción del Aire) (Hurtado y Villamar, 2014)

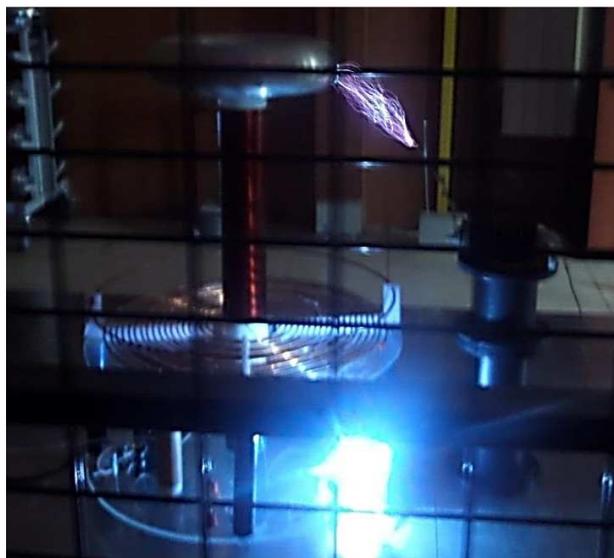


Figura 48 Efecto Corona Producida hacia un Aislador de Alta Tensión (Hurtado y Villamar, 2014)

3.4.2.2 EXPERIMENTACIÓN EN LA LABORATORIO SOBRE RUIDO

Durante las pruebas realizadas en el laboratorio se pudo apreciar también efectos nocivos para la salud como lo es por ejemplo el ruido producido por el efecto corona, como se dijo anteriormente el ruido se incrementa a medida que se eleva el voltaje, durante la experimentación realizada en el laboratorio se obtuvieron mediciones de decibeles, en ambiente normal de trabajo o sea con un nivel de voltaje 0V, otra cuando el valor de voltaje fue de 60V en el primario del transformador o sea instantes antes que se presente la disrupción, y otro nivel cuando está en plena operación el efecto corona, en un nivel de voltaje de 110 V.

RESULTADOS

Nivel de Voltaje	Valor de Decibeles	Estado de Disrupción
0V	61.9 dBA	No existe disrupción
60V	78.7 dBA	Instantes antes que se la disrupción
110 V	100.1 dBA	Efecto Corona al máximo

Tabla 4 Nivel de dBA vs Voltaje según experimentos realizados en Laboratorio (Hurtado y Villamar, 2014)

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- ✓ La Bobina Tesla funciona como un transformador de núcleo de aire que trabaja a altas frecuencias, donde su lado primario como secundario tienen componentes que se encuentran en resonancia. El transformador de 15kV – 30mA proporciona la energía necesaria, misma que será almacenada por el capacitor principal de 8.5nF, hasta que la rigidez dieléctrica del aire existente entre los descargadores fijos (Spark Gaps) es interrumpida, haciendo que se cierre el circuito entre el capacitor principal y la bobina primaria de 112.5uH; el capacitor principal descarga su energía en la bobina primaria entrando en resonancia, cuya frecuencia de 162.7KHz es determinada por la relación entre la bobina primaria y el capacitor principal. La corriente que pasa por la bobina primaria a alta frecuencia producen que las líneas de flujo magnético interactúen en la bobina secundaria de 30.31mH receptando parte de la energía que se encuentra en el primario, la bobina secundaria entra en resonancia con el capacitancia del toroide de 22.59pF hasta que este alcanza niveles de voltaje que producen disrupciones eléctricas.
- ✓ El transformador de neón 15Kv – 30mA en el secundario es un componente que nos permite mantener los parámetros de voltaje y corriente reguladas, limitando el aumento en la corriente, esto debido a que el núcleo del transformador se satura, evitando aumento en los parámetros.
- ✓ Se tienen valores cercanos entre la frecuencia de resonancia medida 174KHz y la calculada 162.7KHz, valores que sirvieron como guía en el momento de realizar las calibraciones del punto móvil de la bobina primaria, hasta que la frecuencia del lado primario sea igual o cercano al lado del secundario.
- ✓ El correcto funcionamiento de la Bobina Tesla se lo puede apreciar el momento en que se obtienen disrupciones superiores a 10cm de longitud en el toroide, de igual forma existen factores externos que influyen en el funcionamiento de la

Bobina Tesla, tales como humedad y la ionización del aire producida por ella misma.

- ✓ No toda la energía proporcionada por la fuente de alimentación es utilizada para el funcionamiento de la Bobina Tesla, una pequeña cantidad de energía es transformada en calor y luz, la cual se aprecia entre los descargadores (Spark Gaps).

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES TÉCNICAS.

- ✓ Como se apreció durante el diseño y ensamblaje de la Bobina Tesla, es recomendable tener un distancia considerable de no menos de 2.5cm entre el primario y el secundario de la Bobina Tesla, debido a que si no se respeta la distancia sugerida se dan arcos eléctricos entre las dos bobinas, lo que tendría consecuencias indeseables ya que terminaría por producir corto circuitos entre las dos bobinas, lo que disminuiría la vida útil de esta. No obstante podría también tener accidentes que puedan poner en riesgo la salud de las personas que experimenten con el funcionamiento de la BT.
- ✓ El lugar donde se realicen experimentos de Alta Tensión utilizando la Bobina Tesla, tienen que ser en lugares libres, o en su lugar en sitios lo suficientemente ventilados, para prevenir la acumulación del gas de ozono, ya que en cantidades mayores a las normales pueden traer riesgos para la salud.
- ✓ El tiempo de funcionamiento de la Bobina Tesla No tiene que ser muy largo, debido a que en la actualidad el proyecto se encuentra en un lugar donde no se cuenta con una adecuada ventilación, y al entrar en funcionamiento durante tiempos muy largos el aire presente se ioniza lo que da lugar a arcos eléctricos entre el primario y secundario de la bobina y cada vez con mayor frecuencia y en menor tiempo de funcionamiento.

RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

- ✓ Entre uno de los protocolos a considerar para el funcionamiento, la Bobina Tesla está el protocolo de seguridad. Es importante tomar las precauciones debidas cuando se manejan voltajes elevados, para evitar accidentes sobre la integridad física de las personas. Por otra parte, debido a las descargas eléctricas y con la ionización del aire resultante se debe considerar los equipos adecuados de uso interno del laboratorio durante el desarrollo de las prácticas con la BT como consecuencia de la producción de ozono y ruido
- ✓ Las medidas de seguridad como son guantes, casco, orejeras, mascarilla, mandil, deben estar siempre presentes al momento de realizar las prácticas de laboratorio donde se utilice este experimento ya que estos accesorios pueden reducir el riesgo potencial de un accidente e incluso evitar que se pierdan vidas humanas por este tipo de situaciones.
- ✓ Cuando se desee realizar cualesquier tipo de modificaciones a cualquier elemento de la Bobina Tesla se debe primero asegurar que están descargados completamente, para esto usamos una pértiga que está aislada correctamente, ya que algunos de los elementos pueden quedar cargados como son el caso de las capacitores, y es en donde se debe de tener un máximo cuidado ya que se trata de voltajes superiores a los 15 kV, y un accidente de estos pueden contraer accidentes fatales e incluso la muerte.

INVESTIGACIONES FUTURAS

- Modelamiento matemático de la bobina tesla.
- Estudio y proyectos de energía inalámbrica.
- Estudio de medición de altos voltajes.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Autoridad Nacional de servicios, R. (n.d.). *ASEP*. Retrieved 04 01, 2014, from ASEP: http://www.asep.gob.pa/electric/info_clientes/Rayos.pdf.
- [2]. B.V, LENNTECH. (1998). *LENNTECH*. Retrieved 04 08, 2014, from LENNTECH: <http://www.lenntech.es/tabla-peiodica/punto-de-fusion.htm>
- [3]. Burnett, R. (1999). *Richie Tesla Coil Web Page*. (Richard Burnett) Retrieved 01 07, 2013, from <http://www.richieburnett.co.uk/tesla.shtml>
- [4]. Bustos Cabezas Karina Mercedes, C. G. (2014, Abrial 6). *Esculea Politecnica Nacional*. Retrieved from http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/186/1/CD-0579.pdf?origin=publication_detail
- [5]. Chapman,3ra edicion. (n.d.). *WIKIPEDIA*. Retrieved 04 08, 2014, from WIKIPEDIA: http://es.wikipedia.org/wiki/Conductividad_t%C3%A9rmica
- [6]. Eduardo Pèrez de obanos Francès, V. S. (2010, Febrero 19). *Universidad Publica de Navarra*. Retrieved Enero 16, 2013, from <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/1797/577027.pdf?sequence=1>
- [7]. Endesa. (2003, 12 5). *Enersis*. Retrieved 03 31, 2014, from Enersis: <https://www.coelce.com>
- [8]. Hurtado y Villamar, 2. (2014, 03 20).
- [9]. J. A. Suárez, G. F. (2014, Abril 6). *iee*. Retrieved from http://www.ewh.ieee.org/reg/9/etrans/iee/issues/vol03/vol3issue5Dec.2005/3TLA5_08_Suarez.pdf
- [10]. Lorenzo, A. P. (n.d.). *Rayos: mitos y seguridad*. Retrieved 04 01, 2014, from Rayos: mitos y seguridad: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia51/HTML/Articulo07.htm>.
- [11]. Mario Ricardo Cárdenas Barrero, M. E. (2005). *DIAGNÓSTICO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN AEREAS DE 11.4 HASTA 34.5 KV*. Retrieved 03 31, 2014, from DIAGNÓSTICO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN AEREAS DE 11.4 HASTA 34.5 KV : <http://www.fim-mantenimiento.org/down.php?id=88>
- [12]. Martinez, A. (2008, 12 5). *Desenchufados*. Retrieved 3 31, 2014, from Desenchufados: <http://desenchufados.net>
- [13]. Mehlhose, H. (1999). *Tesla Coil Page*. (Herb's) Retrieved Enero 7, 2013, from http://home.wtal.de/herbs_teslapage/safety.html

- [14]. nitrometano, E. (2013, 07 18). *WIKIPEDIA THE FREE ENCYCLOPEDIA*. Retrieved 04 01, 2014, from WIKIPEDIA THE FREE ENCYCLOPEDIA: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Corona_discharge_1.JPG
- [15]. Rubiños, A. J. (2008). *UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ*. Retrieved 03 31, 2014, from UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ.
- [16]. TASIPANTA, C. R. (2002, 07). ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS. *ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS*. Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.
- [17]. Universidad Nacional de la plata, m. a. (n.d.). *UNLP*. Retrieved 03 31, 2014, from UNLP: http://www.ing.unlp.edu.ar/camposyo/Materiales_aislantes%2009.pdf.
- [18]. Wilson, K. (2009). *Tesla Coil Design*. Retrieved 03 07, 2014, from Tesla Coil Design: <http://www.teslacoildesign.com/>

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Capacitor: Dispositivo pasivo, utilizado en electricidad y electrónica, capaz de almacenar energía sustentando un campo eléctrico.

Descargadores: Dispositivo metálico que funciona como un interruptor a altos voltajes

Disrupción: Transformación brusca de una parte o de la totalidad de un medio aislante en un medio conductor, resultando una descarga eléctrica.

Devanado: Enrollar un hilo, un alambre, una cuerda u otro material alrededor de un eje o un carrete.

Espira: Cada una de las vueltas de una hélice o espiral.

Inductor: componente pasivo de un circuito eléctrico que, debido al fenómeno de la autoinducción, almacena energía en forma de campo magnético.

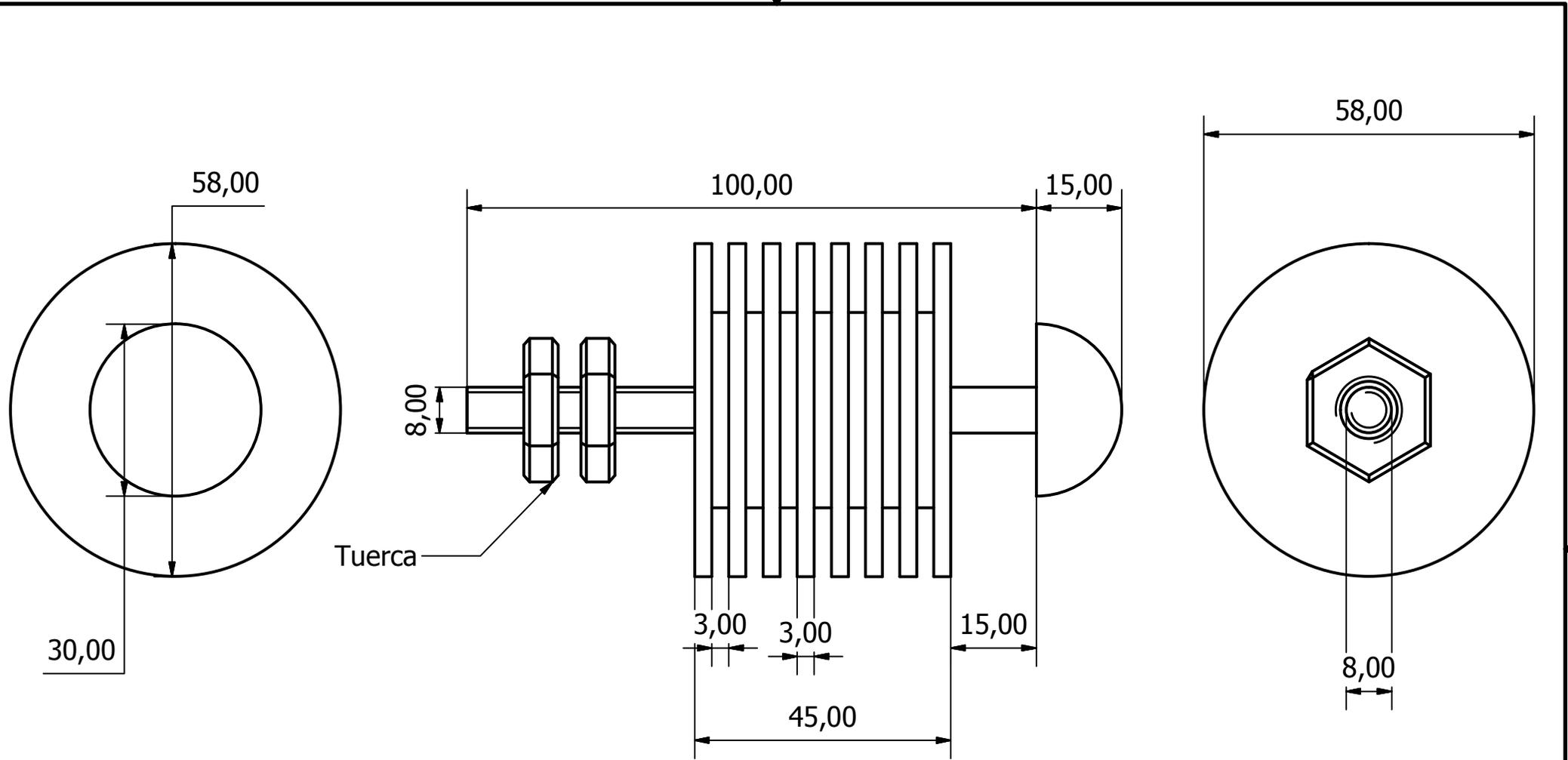
Resonancia: fenómeno que se produce en un circuito en el que existen elementos reactivos (bobinas y condensadores) cuando es recorrido por una corriente alterna de una frecuencia tal que hace que la reactancia se anule, en caso de estar ambos en serie, o se haga infinita si están en paralelo. Para que exista resonancia eléctrica tiene que cumplirse que $X_c = X_l$.

Rigidez dieléctrica: valor límite de la intensidad del campo eléctrico en el cual un material pierde su propiedad aislante y pasa a ser conductor.

Toroide: superficie de revolución generada por una curva plana cerrada que gira alrededor de una recta exterior coplanaria (el eje de rotación situado en su mismo plano) con la que no se interseca.

ANEXOS

- Anexo A:** Plano de Descargadores (Spark Gaps)
- Anexo B:** Especificaciones Técnicas Transformador de neón
- Anexo C:** Especificaciones Técnicas del capacitor
- Anexo D:** Especificaciones Técnicas conductor #26 esmaltado



Diseño de Fabricio Villamar	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 1/22/2014	
ANEXO A			descargador		
			Edición	Hoja 1 / 1	

FRANCE

P & PC SERIES

**Models for Export Only
Outdoor Non-weatherproof**



- ◆ Heavy Duty Steel Casing
- ◆ Secondary Balanced Mid-point Ground Units Provide Versatility in Wiring Methods - Virtual Series, Mid-point Return or Series
- ◆ Recommended for Remote Installations
- ◆ PC Series Requires Less Input Current Maximizing Capacity of a 20 Amp Circuit

www.franceformer.com

P & PC SERIES

NORMAL POWER FACTOR

Catalog Number	Secondary		Primary VA	Input Amp	Wt lbs	Dimensions in Inches					
	Volts	mA				L	W	H	A	B	C
* ♦ 15030 P	15000	30	450	3.75	24	14.13	4.188	5.188	9.25	3	10.13
* ♦ 12030 P	12000	30	360	3.00	21	14.13	3.813	5.188	9.25	1.88	10.13
* ♦ 10530 P	10500	30	315	2.63	21	14.13	3.813	5.188	9.25	1.88	10.13
* 9030 P	9000	30	270	2.25	16	12.88	3.813	3.88	9.25	1.88	10.13
* ♦ 15060 P	15000	60	890	7.72	41	15.688	5.375	6.188	10.813	3	11.875
* ♦ 12060 P	12000	60	720	6.00	38	15.688	5.375	6.188	10.813	3	11.875
* ♦ 9060 P	9000	60	540	4.50	27	14.13	4.688	5.188	9.25	3	10.13
* ♦ 7560 P	7500	60	450	3.75	22	14.13	4.188	5.188	9.25	3	10.13
* ♦ 6060 P	6000	60	360	3.00	21	14.13	3.813	5.188	9.25	1.88	10.13
* ♦ 5060 P	5000	60	300	2.50	20	14.13	3.813	5.188	9.25	1.88	10.13
* ♦ 4060 P	4000	60	240	2.00	14	14.13	3.813	3.88	9.25	1.88	10.13

♦ Model available in 277 VAC/60 Hz. To determine Input Amps multiply by 0.433.

* Secondary - Balanced Mid-point Ground

♦ Secondary - Unbalanced Mid-point Ground

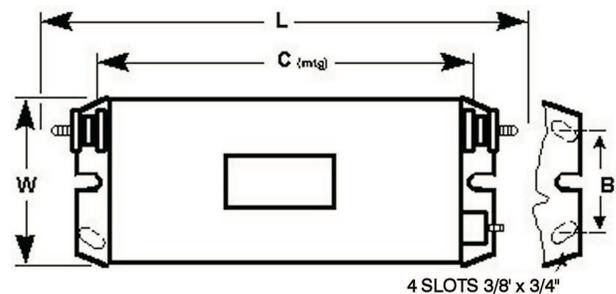
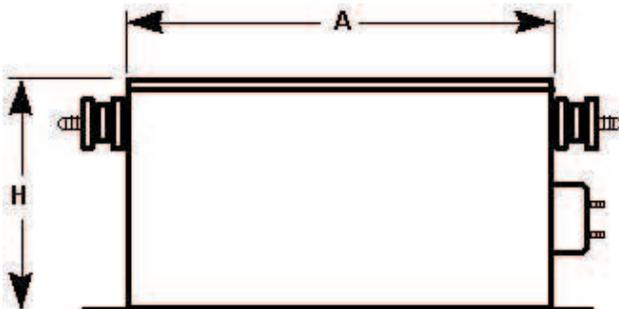
HIGH POWER FACTOR

Catalog Number	Secondary		Primary VA	Input Amp	Wt lbs	Dimensions in Inches					
	Volts	mA				L	W	H	A	B	C
* ♦ 15030 PC	15000	30	250	2.08	24	14.13	4.688	5.188	9.25	3	10.13
* ♦ 12030 PC	12000	30	200	1.67	25	14.13	4.688	5.188	9.25	3	10.13
* ♦ 10530 PC	10500	30	175	1.46	24	14.13	4.188	5.188	9.25	3	10.13
* 9030 PC	9000	30	150	1.25	20	14.13	3.813	5.188	9.25	1.88	10.13
* 7530 PC	7500	30	125	1.04	14	14.13	3.813	3.88	9.25	1.88	10.13
* ♦ 6030 PC	6000	30	100	0.83	13	14.13	3.813	3.88	9.25	1.88	10.13
* ♦ 5030 PC	5000	30	90	0.75	10	14.13	3.813	3.88	9.25	1.88	10.13
* ♦ 4030 PC	4000	30	75	0.63	10	14.13	3.813	3.88	9.25	1.88	10.13
* ♦ 15060 PC	15000	60	495	4.13	44	15.688	5.375	6.188	10.813	3	11.875
* ♦ 12060 PC	12000	60	400	3.33	41	15.688	5.375	6.188	10.813	3	11.875
* ♦ 9060 PC	9000	60	300	2.50	27	14.13	4.688	5.188	9.25	3	10.13
* ♦ 7560 PC	7500	60	250	2.08	24	14.13	4.688	5.188	9.25	3	10.13
* ♦ 6060 PC	6000	60	200	1.67	24	14.13	4.688	5.188	9.25	3	10.13
* ♦ 5060 PC	5000	60	170	1.42	20	14.13	4.688	5.188	9.25	3	10.13
* ♦ 4060 PC	4000	60	135	1.12	14	14.13	3.813	3.88	9.25	1.88	10.13

♦ Model available in 277 VAC/60 Hz. To determine Input Amps multiply by 0.433.

* Secondary - Balanced Mid-point Ground

♦ Secondary - Unbalanced Mid-point Ground



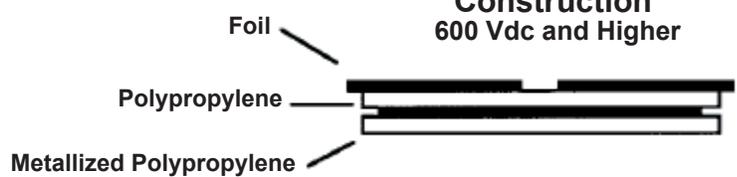
Type 942C Very High dV/dt, Round Polypropylene Film Capacitors

Round, Film/Foil/Metallized Hybrid, Axial Leaded



Type 942C round, axial film capacitors utilize a hybrid section design of polypropylene film, metal foils and metallized polypropylene dielectric to achieve both high peak current as well as superior rms current ratings. This series is ideal for high pulse operation and high peak current circuits.

Construction 600 Vdc and Higher



Complies with the EU Directive 2002/95/EC requirement restricting the use of Lead (Pb), Mercury (Hg), Cadmium (Cd), Hexavalent chromium (Cr(VI)), PolyBrominated Biphenyls (PBB) and PolyBrominated Diphenyl Ethers (PBDE).

Specifications

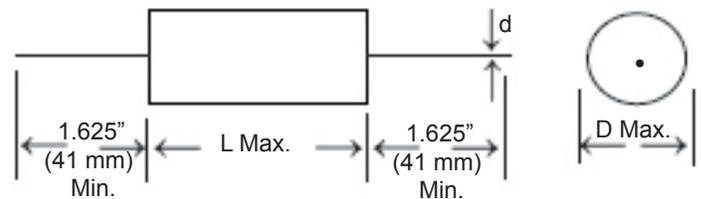
Capacitance Range: 0.01 to 2.5 μF

Voltage Range: 600 to 2000 Vdc
(300 to 500 Vac, 60 Hz)

Capacitance Tolerance: $\pm 10\%$

Operating Temperature Range: -55°C to $+105^{\circ}\text{C}^*$

*Full-rated voltage at 85°C , derate linearly to 50% rated voltage at $+105^{\circ}\text{C}$



NOTE: Other capacitance values, sizes and performance specifications are available. Contact us.

Ratings

Cap. (μF)	Catalog Part Number	D Inches(mm)	L Inches(mm)	d Inches(mm)	Typical ESR ($\text{m}\Omega$)	Typical ESL (nH)	dV/dt ($\text{V}/\mu\text{s}$)	I_{PEAK} (A)	I_{RMS} 70 $^{\circ}\text{C}$ 100 kHz (A)
600 Vdc (300 Vac)									
.15	942C6P15K-F	.551(14.0)	1.339(34.0)	.040(1.0)	5	21	1427	214	7.7
.22	942C6P22K-F	.630(16.0)	1.339(34.0)	.040(1.0)	7	22	1427	314	7.0
.33	942C6P33K-F	.748(19.0)	1.339(34.0)	.040(1.0)	6	23	1427	471	8.4
.47	942C6P47K-F	.866(22.0)	1.339(34.0)	.040(1.0)	5	24	1427	671	10.1
.68	942C6P68K-F	1.010(25.6)	1.339(34.0)	.047(1.2)	4	26	1427	970	12.4
1.00	942C6W1K-F	.925(23.5)	1.811(46.0)	.047(1.2)	5	30	800	800	11.8
1.50	942C6W1P5K-F	1.122(28.5)	1.811(46.0)	.047(1.2)	4	32	800	1200	14.8
2.00	942C6W2K-F	1.122(28.5)	2.126(54.0)	.047(1.2)	3	36	628	1256	18.2
2.20	942C6W2P2K-F	1.181(30.0)	2.126(54.0)	.047(1.2)	3	36	628	1382	18.8
2.50	942C6W2P5K-F	1.260(32.0)	2.126(54.0)	.047(1.2)	3	37	628	1570	19.5
850 Vdc (360 Vac)									
.15	942C8P15K-F	.610(15.5)	1.339(34.0)	.040(1.0)	5	22	1712	257	8.1
.22	942C8P22K-F	.709(18.0)	1.339(34.0)	.040(1.0)	7	23	1712	377	7.5
.33	942C8P33K-F	.846(21.5)	1.339(34.0)	.040(1.0)	6	24	1712	565	7.7
.47	942C8P47K-F	.984(25.0)	1.339(34.0)	.047(1.2)	5	26	1712	805	10.9
.68	942C8P68K-F	1.161(29.5)	1.339(34.0)	.047(1.2)	4	27	1712	1164	13.6
1.00	942C8W1K-F	1.102(28.0)	1.811(46.0)	.047(1.2)	5	32	960	960	13.1
1.50	942C8W1P5K-F	1.142(29.0)	2.126(54.0)	.047(1.2)	4	36	754	1131	15.9
2.00	942C8W2K-F	1.161(29.5)	2.520(64.0)	.047(1.2)	3	41	574	1148	19.9

NOTE: Other capacitance values, sizes and performance specifications are available. Contact us.

Type 942C Very High dV/dt, Round Polypropylene Film Capacitors

Ratings

Cap. (μ F)	Catalog Part Number	D Inches(mm)	L Inches(mm)	d Inches(mm)	Typical ESR (m Ω)	Typical ESL (nH)	dV/dt (V/ μ s)	I _{PEAK} (A)	I _{RMS} 70 °C 100 kHz (A)
1000 Vdc (400 Vac)									
.10	942C10P1K-F	.630(16.0)	1.339(34.0)	.040(1.0)	8	22	2283	228	6.6
.15	942C10P15K-F	.748(19.0)	1.339(34.0)	.040(1.0)	7	23	2283	342	7.8
.22	942C10P22K-F	.887(22.5)	1.339(34.0)	.040(1.0)	6	24	2283	502	9.3
.33	942C10P33K-F	.827(21.0)	1.811(46.0)	.040(1.0)	5	29	1280	422	11.0
.47	942C10P47K-F	.945(24.0)	1.811(46.0)	.047(1.2)	5	30	1280	601	11.9
.68	942C10P68K-F	1.122(28.5)	1.811(46.0)	.047(1.2)	5	32	1280	870	13.3
1.00	942C10W1K-F	1.181(30.0)	2.126(54.0)	.047(1.2)	5	37	1005	1005	14.6
1.40	942C10W1P4K-F	1.240(31.5)	2.520(64.0)	.047(1.2)	4	41	765	1071	17.9
1200 Vdc (430 Vac)									
.10	942C12P1K-F	.748(19.0)	1.339(34.0)	.040(1.0)	5	23	2854	285	9.2
.15	942C12P15K-F	.887(22.5)	1.339(34.0)	.040(1.0)	5	24	2854	428	10.2
.22	942C12P22K-F	1.043(26.5)	1.339(34.0)	.047(1.2)	6	26	2854	628	10.3
.33	942C12P33K-F	.965(24.5)	1.811(46.0)	.047(1.2)	6	31	1600	528	11.0
.47	942C12P47K-F	1.142(29.0)	1.811(46.0)	.047(1.2)	5	32	1600	752	13.4
.68	942C12P68K-F	1.201(30.5)	2.126(54.0)	.047(1.2)	5	37	1256	854	14.7
.90	942C12P9K-F	1.220(31.0)	2.520(64.0)	.047(1.2)	5	41	957	861	15.9
1600 Vdc (460 Vac)									
.022	942C16S22K-F	.472(12.0)	1.339(34.0)	.040(1.0)	27	20	3425	75	3.0
.033	942C16S33K-F	.571(14.5)	1.339(34.0)	.040(1.0)	14	21	3425	113	4.7
.047	942C16S47K-F	.650(16.5)	1.339(34.0)	.040(1.0)	8	22	3425	161	6.7
.068	942C16S68K-F	.748(19.0)	1.339(34.0)	.040(1.0)	6	23	3425	233	8.4
.100	942C16P1K-F	.887(22.5)	1.339(34.0)	.040(1.0)	4	24	3425	342	11.4
.150	942C16P15K-F	.807(20.5)	1.811(46.0)	.040(1.0)	5	29	1919	288	10.9
.220	942C16P22K-F	.925(23.5)	1.811(46.0)	.040(1.0)	5	68	1919	422	11.8
.330	942C16P33K-F	1.122(28.5)	1.811(46.0)	.047(1.2)	5	32	1919	633	13.3
.470	942C16P47K-F	1.181(30.0)	2.126(54.0)	.047(1.2)	5	36	1507	708	14.6
.560	942C16P56K-F	1.122(28.5)	2.520(64.0)	.047(1.2)	5	40	1148	643	15.1
.680	942C16P68K-F	1.240(31.5)	2.520(64.0)	.047(1.2)	5	42	1148	781	16.0
2000 Vdc (500 Vac)									
.010	942C20S1K-F	.472(12.0)	1.339(34.0)	.040(1.0)	50	20	5137	51	2.2
.015	942C20S15K-F	.571(14.5)	1.339(34.0)	.040(1.0)	40	21	5137	77	2.8
.022	942C20S22K-F	.650(16.5)	1.339(34.0)	.040(1.0)	20	22	5137	113	4.2
.033	942C20S33K-F	.768(19.5)	1.339(34.0)	.040(1.0)	12	23	5137	170	6.0
.047	942C20S47K-F	.709(18.0)	1.811(46.0)	.040(1.0)	10	28	2879	135	7.1
.068	942C20S68K-F	.807(20.5)	1.811(46.0)	.040(1.0)	6	29	2879	196	9.9
.100	942C20P1K-F	.965(24.5)	1.811(46.0)	.047(1.2)	5	30	2879	288	12.1
.150	942C20P15K-F	1.161(29.5)	1.811(46.0)	.047(1.2)	5	32	2879	432	13.5

Detailed Specifications & Technical Data

ENGLISH MEASUREMENT VERSION



9180 Multi-Conductor - Single-Pair Cable

For more Information
please call

1-800-Belden1

**General Description:**

110 Ohm, 26 AWG stranded (7x34) .018" TC conductors, Datalene® insulation, twisted pair, Beldfoil® shield (100% coverage), 26 AWG stranded TC drain wire, PVC jacket.

Physical Characteristics (Overall)**Conductor****AWG:**

# Pairs	AWG	Stranding	Conductor Material	Dia. (in.)
1	26	7x34	TC - Tinned Copper	.019

Total Number of Conductors: 2

Insulation**Insulation Material:**

Insulation Trade Name	Insulation Material	Dia. (in.)
Datalene®	FHDPE - Foam High Density Polyethylene	.049

Outer Shield**Outer Shield Material:**

Outer Shield Trade Name	Type	Outer Shield Material	Coverage (%)
Beldfoil®	Tape	Aluminum Foil-Polyester Tape w/Shorting Fold	100

Outer Shield Drain Wire AWG:

AWG	Stranding	Drain Wire Conductor Material
26	7x34	TC - Tinned Copper

Outer Jacket**Outer Jacket Material:**

Outer Jacket Material
PVC - Polyvinyl Chloride

Overall Cable

Overall Nominal Diameter: 0.144 in.

Pair**Pair Color Code Chart:**

Number	Color
1	Black & White

Mechanical Characteristics (Overall)

Operating Temperature Range: -40°C To +75°C

Non-UL Temperature Rating: 75°C

Bulk Cable Weight: 10 lbs/1000 ft.

Max. Recommended Pulling Tension: 10.500 lbs.

Min. Bend Radius/Minor Axis: 1.500 in.

Applicable Specifications and Agency Compliance (Overall)**Applicable Standards & Environmental Programs**

NEC/(UL) Specification: CMR

CEC/C(UL) Specification:	CMG
EU Directive 2011/65/EU (ROHS II):	Yes
EU CE Mark:	No
EU Directive 2000/53/EC (ELV):	Yes
EU Directive 2002/95/EC (RoHS):	Yes
EU RoHS Compliance Date (mm/dd/yyyy):	01/01/2004
EU Directive 2002/96/EC (WEEE):	Yes
EU Directive 2003/11/EC (BFR):	Yes
CA Prop 65 (CJ for Wire & Cable):	Yes
MII Order #39 (China RoHS):	Yes
Other Specification:	AES/EBU

Flame Test

UL Flame Test:	UL1685 FT4 Loading
CSA Flame Test:	FT4

Plenum/Non-Plenum

Plenum (Y/N):	No
---------------	----

Electrical Characteristics (Overall)

Nom. Characteristic Impedance:

Impedance (Ohm)
110

Nom. Inductance:

Inductance (µH/ft)
.23

Nom. Capacitance Conductor to Conductor:

Capacitance (pF/ft)
13.0

Nom. Capacitance Cond. to Other Conductor & Shield:

Capacitance (pF/ft)
26

Nominal Velocity of Propagation:

VP (%)
76

Nominal Delay:

Delay (ns/ft)
1.34

Nom. Conductor DC Resistance:

DCR @ 20°C (Ohm/1000 ft)
37.3

Nominal Outer Shield DC Resistance:

DCR @ 20°C (Ohm/1000 ft)
23.1

Nom. Attenuation:

Freq. (MHz)	Attenuation (dB/100 ft.)
.38	0.84
.77	1.18
1.0	1.34
1.5	1.54
2.0	1.69
3.1	1.92

4.1	2.14
5.6	2.40
8.2	2.75
11.3	3.09
12.3	3.18
24.6	4.20

Max. Operating Voltage - UL:

Voltage
300 V RMS

Max. Recommended Current:

Current
1.9 Amps per conductor @ 25°C

Notes (Overall)

Notes: For cross-connect use with 7891A (et al.) Digital Audio Snake Cables.

Put Ups and Colors:

Item #	Putup	Ship Weight	Color	Notes	Item Desc
9180 Z4B1000	1,000 FT	12.000 LB	VIO Z4B		2 #26 FHDPE FS FRPVC
9180 0601000	1,000 FT	12.000 LB	CHROME	C	2 #26 FHDPE FS FRPVC

Notes:

C = CRATE REEL PUT-UP.

Revision Number: 1 Revision Date: 10-15-2012

© 2013 Belden, Inc
All Rights Reserved.

Although Belden makes every reasonable effort to ensure their accuracy at the time of this publication, information and specifications described herein are subject to error or omission and to change without notice, and the listing of such information and specifications does not ensure product availability.

Belden provides the information and specifications herein on an "AS IS" basis, with no representations or warranties, whether express, statutory or implied. In no event will Belden be liable for any damages (including consequential, indirect, incidental, special, punitive, or exemplary damages) whatsoever, even if Belden has been advised of the possibility of such damages, whether in an action under contract, negligence or any other theory, arising out of or in connection with the use, or inability to use, the information or specifications described herein.

All sales of Belden products are subject to Belden's standard terms and conditions of sale. Belden believes this product to be in compliance with EU RoHS (Directive 2002/95/EC, 27-Jan-2003). Material manufactured prior to the compliance date may be in stock at Belden facilities and in our Distributor's inventory. The information provided in this Product Disclosure, and the identification of materials listed as reportable or restricted within the Product Disclosure, is correct to the best of Belden's knowledge, information, and belief at the date of its publication. The information provided in this Product Disclosure is designed only as a general guide for the safe handling, storage, and any other operation of the product itself or the one that it becomes a part of. This Product Disclosure is not to be considered a warranty or quality specification. Regulatory information is for guidance purposes only. Product users are responsible for determining the applicability of legislation and regulations based on their individual usage of the product.