

# Design and Construction of a Tesla Coil

Joshua Ari Rojas Hernández, Kevin Torres Oblitas, Jean Gomez Lordan,

Course: Electromagnetism for Engineering

Engineering Physics Program

College of Sciences

National University of Engineering

## Abstract

Tesla coil or high voltage pulse generator is a dry transformer with primary and secondary coils magnetically coupled and fed by a primary circuit with a voltage booster and a condenser and coil arrangement for generating and additional boosting for the Tesla transforming circuit . Finally, with a variable resistance, the resonance of the circuit is achieved generating high voltage pulses which are manifested through violet color rays.

## INTRODUCCIÓN

Nikola Tesla, born in Croacia, is one of the greatest scientists of all the times. Looking for a new way for generating electric energy sources, he created a high frequency pulse generator making use of the magnetic resonance principle.

His research included a deep analysis of electric and magnetic fields, their relationships, and their propagation in conductors of several shapes: solenoid, toroid, spiral, spheric, etc.

He designed an easy to construct transformer generating high-voltage and high-frequency pulses.

## PROBLEM DEFINITION

The dielectric constant of air has a value of approx. 3000 V/mm, and there has always been the human curiosity of using the air as an electric transport mean even its dielectric characteristics. Theoretically, it is possible given that there is a breaking voltage for every material on Earth. However, the challenge is how to obtain the high breaking voltage. Air is composed by s series of combined elements among the oxygen.

The problem we face in this project is: how to generate a high voltage capable to create current flows in air. What type of device is required, and what types of qualitative and quantitative issues should be taken into account for construction.,

## OBJECTIVES

The following Objectives have been formulated for the projects:

- 1.- Design a Tesla coil making use of the principles of electromagnetic fields.
- 2.- Show that it is possible to attain air breaking voltage through high voltage and high frequency pulses.
- 3.- Show that high frequency and low current pulses are not hazard for humans, and that they can be used for spectacular exhibition.

## SOLUTION DESCRIPTION

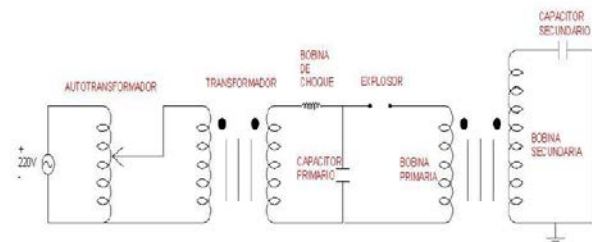
Lograr responder a los problemas planteados en el precedente punto, conlleva a abarcar la teoría de la resonancia magnética, que de alguna otra manera con este fenómeno físico, pueda ser aprovechado en la medida de que me genere unas pulsaciones de altísima frecuencia y que a su vez, lo suficientemente cargadas de tensión, como para generar ruptura en el dieléctrico más próximo (aire).

Es así que diseñaremos un circuito de tipo LC, resonante, que permitirá elevarme la tensión a niveles altos y que posteriormente, mediante un transformador en sólido, la tensión, llegue a ser elevada a niveles muy altos, a baja corriente y así lograr los objetivos previstos.

Por lo tanto, a continuación presentaremos, elementos, diseño, cálculos y procedimientos de construcción de un aparato con las características mencionadas.

### Basic Diagram

Este es el esquema básico de bobina Tesla para funcionar con corriente alterna, inicialmente probé con corriente continua, pero como tuve problemas para conseguir descargas decidí probar con el modelo en corriente alterna:



### Auto-Transformer

Con el Autotransformador regulo la tensión de entrada al transformador de alimentación, el dispositivo utilizado tiene regulaciones de 10 niveles porcentuales, esto aventajara a mis pruebas de manera que puedo regular la tensión de entrada al transformador de alta tensión.

### High Voltage Transformer

El Transformador de Alto Voltaje es la fuente principal de energía en una bobina de Tesla convencional o generador de pulsos de alta tensión. Eleva el voltaje convencional de 220 V hasta valores de miles de voltios; generalmente se utilizan voltajes dentro del rango de 8 hasta 20 kV en el circuito primario de la bobina.

En el desarrollo constructivo, utilizamos transformadores de Neón, de fácil compra en la zona del centro de Lima, en el girón Paruro. Estos tienen una alimentación de entrada del orden de 220-230 V y elevan hasta 15 kV. Poseen una potencia de 450 VA así que para lograr una elevación eficaz utilizaremos tres de estos equipos.

### Primary Condenser

El condensador de alto voltaje es quizás la parte más sensible de una bobina de 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 pieza 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  $\mu\text{F}$  y

0,2  $\mu\text{F}$ . 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; primero debe resistir voltaje iguales al pico del transformador, e incluso debe ser capaz de tolerar picos ocasionales de hasta el doble del voltaje de aquel.

- Que el dieléctrico sea 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.

Dada la importancia del capacitor en el circuito primario de la bobina tesla o generador de pulsos de alta tensión, decidi confeccionarlo por una conexión de serie y paralelo de condensadores de poliéster comerciales, de 100 nF y 2 kV.

### **Primary Coil**

La bobina primaria es un arrollamiento de conductor de baja inductancia y gran conductividad eléctrica. Por lo general estas bobinas constan de 15 o menos espiras de conductor, usualmente tubo de cobre arrollado en formas diferentes según se necesite.

No se utiliza un conductor macizo ya que sería muy caro y no merece la pena ya que por el efecto pelicular la corriente circularía solo por la superficie del conductor.

Es práctica común usar uno de tres diseños: espiral plana, espiral cónica invertida y solenoide recto. La bobina primaria tiene la función de generar el campo electromagnético mediante el cual se transfiere la energía almacenada en el primario al circuito secundario

La bobina primaria debe estar hecha de tal modo que su inductancia sea variable: esto no se logra ni variando su forma geométrica ni reduciendo el numero de espiras, sino simplemente que el conductor no esté aislado: de esta manera basta con desplazar uno de los puntos de contacto de la bobina para que la corriente eléctrica circule por menos espiras, lo que reduce la inductancia.

Por conveniencia, el punto fijo de contacto se conecta a la espira interna de la bobina, y el contacto móvil se conecta sobre cualquier otra parte del conductor. El objetivo final es igualar la frecuencia de oscilación del primario con la frecuencia natural de oscilación de la bobina de secundaria, es decir, ponerlas en resonancia.

### **Secondary Coil**

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.

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. Se recomienda guardar una relación altura-diámetro (H:D) de 3:1 a 5:1 para un óptimo funcionamiento; además, la inductancia de la bobina crece proporcionalmente al área transversal de la forma y directamente proporcional al cuadrado del número de espiras.

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 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.

En mi caso utilice una tubería de PVC, que consigues fácilmente en las tiendas industriales de Malvinas, por Girón de la Unión, la tubería que bobinamos es de 80 cm de alto y guarda la relación máxima expuesta de 5:1, de unas 1340 vueltas aproximadamente, con alambre de cobre tipo AWG 26.

### **Superior Terminal**

El terminal es el punto de emisión eléctrica de una bobina de Tesla. Generalmente es un toroide o una esfera de aluminio, pero también puede ser un disco o una simple punta. Como todo conductor tiene una capacitancia.

La importancia del terminal radica en que es un lugar de almacenaje de energía para la alimentación de las descargas al aire. La elección del terminal es una tarea crucial para obtener las mayores descargas a una potencia dada.

Por lo general se utiliza un toroide como terminal eléctrico. Los toroides tienen capacidades muy grandes por su gran radio de curvatura externo, a diferencia de las esferas que necesitan ser muy voluminosas para igualar la capacidad. Luego está el diámetro menor del toroide, el cual en buena medida determina el voltaje de emisión.

## **Trigger**

El explosor funciona como un interruptor de alto voltaje en el primario. A medida que se acumula carga en las placas del capacitor, el voltaje entre estas aumenta, hasta que alcanza un límite impuesto por la naturaleza de aquel; Como existen dos tipos de explosores: estático y giratorio, es apropiado estudiar cada uno por separado.

El explosor estático consiste en una serie de piezas conductoras fijas llamadas electrodos las cuales se encuentran separadas una distancia también fija. El voltaje de activación del explosor (interruptor cerrado) es directamente proporcional a la separación entre electrodos. Así, a mayor separación mayor voltaje se necesita para que se produzca un arco y el espacio entre electrodos se vuelva conductor. El tipo de explosor más simple consta de dos electrodos separados por aire y el segundo exige un dinamismo de tipo rotatorio.

Me quede con el primer diseño, debido a que al construir el segundo modelo, no lograba obtener descargas en mi bobina secundaria.

## **Ground Connection**

La conexión a tierra es la unión física del conductor del cual está hecha la bobina secundaria en Transformador de Tesla con el suelo, sus sedimentos y minerales.

La conexión a tierra cobra especial importancia porque es el nodo de voltaje cero del sistema. Este nodo de voltaje constante en la base del secundario permite que el voltaje desarrollado en el terminal superior sea máximo, además de que el primario y secundario son circuitos independientes. Así que su construcción requiere ciertas condiciones para funcionar apropiadamente.

Las tierras empleadas en Bobinas de Tesla, llamadas tierras de radiofrecuencia, son tierras de muy baja impedancia, y deben estar separadas de aquellas que formen parte de la red de distribución eléctrica. Además deben tener la suficiente capacidad para desplazar las enormes corrientes generadas en la base de la bobina: esto implica conductores de gran área y longitud. El calibre de los conductores empleados para las conexiones tienen que ser grueso y lo más corto posible.

La conexión a tierra la he realizado mediante una tira de metal conectada a la base del devanado del secundario. El otro extremo de la tira lo he conectado a un conductor unido a la estructura metálica del edificio, la cual hace las veces de tierra.

## **RESULTS**

### **Modeling and Simulation**

En este capítulo hablaré sobre los programas utilizados para la simulación del funcionamiento de la bobina Tesla, el modelado de los circuitos y los resultados obtenidos en las simulaciones y cómo se asemejan a los resultados prácticos.

### **Simulation**

El programa que he utilizado para las simulaciones es el ICAP/4.

### **Modeling**

Explicación detallada del modelado de cada elemento de la bobina Tesla para las simulaciones con ICAP/4.

### **Auto-Transformer**

En vez de modelar el autotransformador y el posterior transformador elevador de tensión, he agrupado todo el conjunto como una fuente de tensión de 15 kV.

### **Primary Condenser**

Aunque el condensador primario está formado por 18 condensadores de 100 nF para la simulación los he modelado como un único condensador de 0,55 nF. Inicialmente lo modelé como un condensador con una resistencia en serie, pero luego vi que era despreciable y las simulaciones se asemejaban más a la realidad sin la resistencia.

### **Primary Coil**

La bobina primaria la modelé como una bobina ideal de 29,47  $\mu\text{H}$  con una resistencia en serie de 0,2  $\Omega$ , aunque realmente su resistencia es prácticamente despreciable con respecto a la impedancia total del circuito primario, igualmente su capacitancia se desprecia debido a la separación entre espiras concéntricas.

### **Secondary Coil**

La bobina secundaria está modelada como una bobina ideal de 45,36 mH con una resistencia en serie de 47,78  $\Omega$  y un condensador en paralelo. En este caso la capacidad no es despreciable ya que la única separación entre espiras es el barniz del conductor por lo que se debe tener en cuenta.

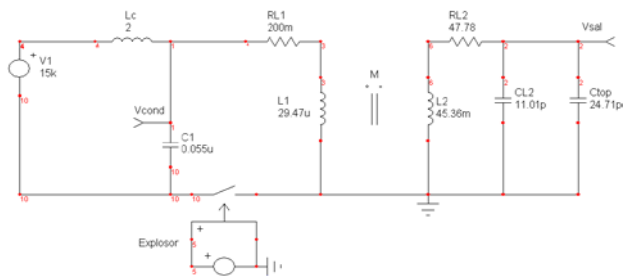
## Coil Coupling

El acoplamiento entre las bobinas primaria y secundaria se modela como una inductancia mutua entre L1 y L2 con un factor de acoplamiento  $k = 0.175$  medido por cálculos matemáticos avanzados.

## Trigger

El explosor está modelado con un interruptor controlado por tensión y una fuente de tensión generadora de pulsos a una determinada frecuencia, la frecuencia escogida es 25 Hz. Esta frecuencia implica un periodo de un disparo cada 4ms, haciéndola corresponder con el explosor definitivo construido.

## Simulation Circuits



## Results

Los resultados obtenidos en la simulación son los esperados y como ya veremos más adelante se asemejan a los obtenidos en la pruebas en el pabellón Q3 de la FIEE.

En la imagen de abajo vemos el detalle de lo ocurrido durante un disparo del explosor. La onda en azul es la tensión en el terminal superior, la negra es la tensión en el condensador y la verde es la tensión en el interruptor de disparo, por lo que cuando se da el impulso el interruptor se cierra y cuando se hace cero se abre de nuevo.

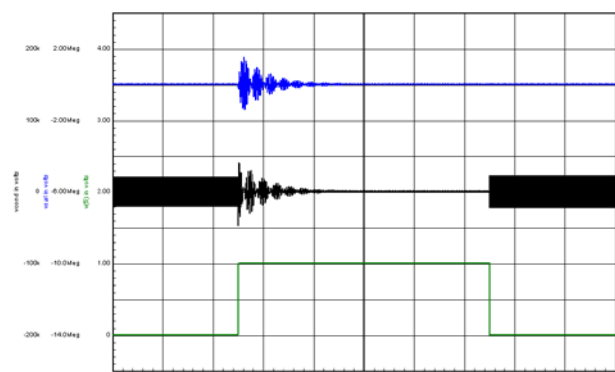


Fig. Simulación de un Disparo de un Explosor

Vemos cómo instantes antes del cierre del explosor el condensador principal está cargado a una tensión de aproximadamente 15 kV. Cuando se cierra el explosor el condensador se descarga sobre la bobina primaria con una frecuencia igual a la frecuencia de resonancia.

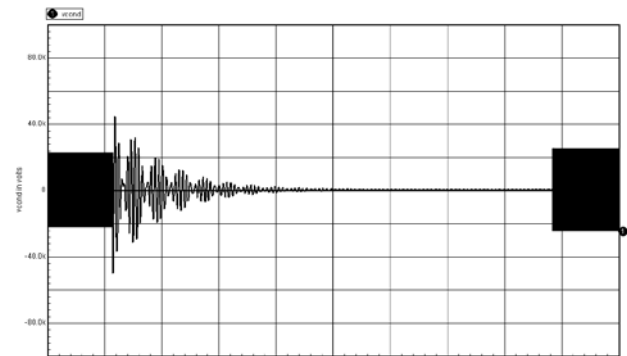


Fig. Tensión Condensador

La energía del primario es transferida al secundario amplificada alcanzando valores de alrededor de 1,5 MV y produciendo las descargas al aire.

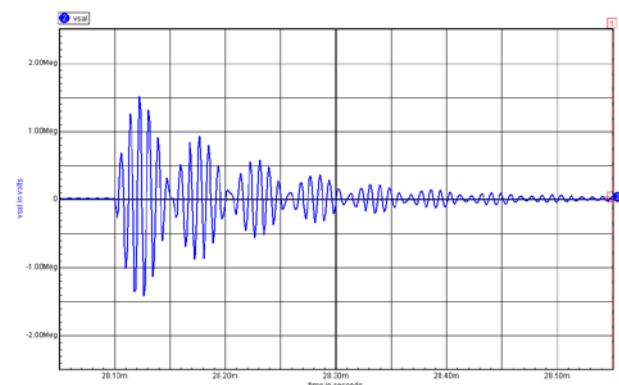


Fig. Tensión Terminal Superior

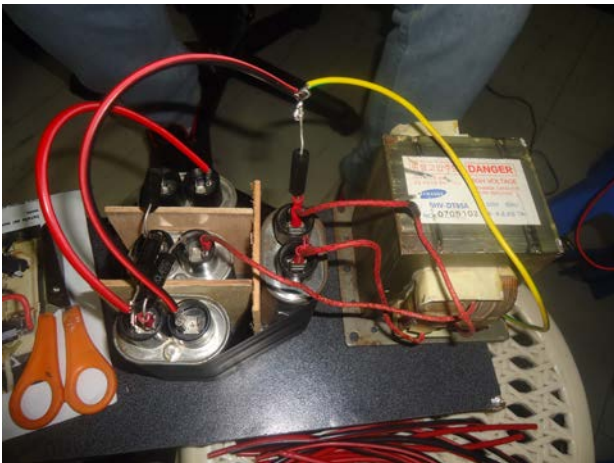
## Computation and Design of Elements

En esta sección explicaré detalladamente como diseñé teóricamente y escogí cada elemento que constituye mi bobina Tesla. El diseño de la bobina Tesla debe llevar un orden para realizarlo correctamente. Primero elegiremos la fuente de tensión en función de la potencia de la bobina. En mi caso voy a diseñar una bobina de tamaño medio, aproximadamente de 1,5 kW. Después, basándonos en la potencia pasaríamos a diseñar la bobina del secundario, seleccionaremos una frecuencia de resonancia y calcularemos el valor de capacidad necesario para esa frecuencia y diseñaremos el terminal superior. Una vez tengamos el secundario calculado pasaremos al circuito primario. Primero seleccionaremos el valor del condensador primario y después calcularemos el valor de la inductancia de la bobina primaria. Tener en cuenta que estos valores son teóricos. En la siguiente sección explicaré como realicé las medidas prácticas de cada elemento por separado y daré los valores reales de todos ellos.

### High Tension Transformer

Dado que el autotransformador está protegido con un fusible de 10 A, la corriente en el primario del transformador no podía superar ese valor, por lo que necesitaba un transformador que me proporcionase una potencia máxima de 1,5 kW sin alcanzar los

10 A en el primario. Tras probar varios transformadores que había en el mercado de precio accesible, como es el caso de los trafos de microondas, los cuales aportaban una elevación de tensión hasta 2200 V, con una potencia de 500 W, sin embargo con este tipo de transformadores tuve problemas al hacer pruebas, debido a que necesitaba elevar la tensión inicial con un circuito cascada de condensadores dieléctricos y diodos de 2100 V, y este circuito no tenía la estabilidad necesaria como para resistir mi tensión en el condensador primario.



Así que decidí optar por los transformadores de Neón, los cuales poseen una elevación más alta, y además poseen una potencia de aproximadamente 450 W, son mucho más estables y de mejor calidad.



### Secondary Coil

Cuanto más alta sea la bobina del secundario mayor será la distancia entre el Terminal superior y la bobina primaria y mayores serán las potencias que se pueden utilizar sin que salten chispas entre ambos. Para la potencia máxima que voy a usar bastaría con una bobina de 0,5 metros. Como ya vimos antes, la bobina del secundario debe guardar una proporción altura-diámetro de entre 3 y 5 unidades.

Tenía a mi disposición tubería de PVC de 16 cm y de 20 cm de diámetro, decidí construir una bobina de 80 cm de longitud. Con la tubería de 16 cm de diámetro guarda una relación H:D = 5, que se ajusta a los límites. El conductor utilizado para bobinarla debe tener un calibre de entre 0,3 y 1mm, el conductor de AWG 26 de 0,5 mm aproximadamente es fácil de conseguir en la zona Paruro del mercado industrial de Malvinas. Por lo tanto para 60 cm de bobina y un conductor de 0,5 mm de diámetro tenemos.

Nº Espiras teórico = Altura / Calibre del conductor = 60/0,05 = 1200 espiras teóricas

Para el cálculo de la inductancia de la misma utilicé la fórmula de Wheeler:

$$L_s = \frac{R^2 N^2}{2540 \times (9R + 10H)}$$

Donde:

$L_s$	Inductancia del secundario [ $\mu H$ ]
$R$	Radio del secundario [cm]
$H$	Altura del secundario [cm]
$N$	Número de vueltas

El número final real de espiras difiere del teórico en alrededor de 100 espiras por motivos constructivos, con 1100 espiras el cálculo teórico de la inductancia varía y la nueva inductancia teórica será:

$$L_s = \frac{8^2 \times 1100^2}{2540 \times (9 \times 8 + 10 \times 60)} = 45,36mH$$

La capacidad parasita de la bobina se puede estimar por la formula de Medhurst:

$$C_s = K \cdot D$$

Donde:

$C_s$	Capacidad de la bobina [pF]
$D$	Diámetro del secundario [cm]
$K$	Constante que depende de H/D, $K = 0,100976 \cdot \frac{H}{D} + 0,30963$

En mi caso, H/D = 3,75 por lo que K=0,6883, por tanto:

$$C_s = 0,6883 \times 16 = 11,01pF$$

La cantidad de cable necesario para la bobina secundaria es:

$$l_s = 2\pi Rn = 2 \times \pi \times 0,08 \times 1100 = 552,9m$$

Y por tanto la resistencia de la bobina será:

$$R_s = \rho \frac{l_s}{\pi \left(\frac{G}{2}\right)^2} = 0,017 \times \frac{552,9}{\pi \left(\frac{0,5}{2}\right)^2} = 47,87\Omega$$



## Torid capacity

La capacidad del toroide se calcula con la siguiente formula empírica:

$$C_{top} = 2,8 \times \left( 1,2781 - \frac{d_2}{d_1} \right) \times \sqrt{0,1217 \times d_2 \times (d_1 - d_2)}$$

Donde:

$C_{top}$	Capacidad del Toroide [pF]
$d_1$	Diámetro exterior [cm]
$d_2$	Diámetro de la sección transversal [cm]

En mi caso:

$$C_{top} = 2,8 \times \left( 1,2781 - \frac{13}{57,5} \right) \times \sqrt{0,1217 \times 13 \times (57,5 - 13)} = 24,71 \text{ pF}$$

La frecuencia de resonancia del secundario totalmente ensamblado sería:

$$f_s = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_s(C_s + C_{top})}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{45,36 \cdot 10^{-3} (35,72 \cdot 10^{-12})}} = 125 \text{ KHz}$$



## Primary Condenser

El valor de la capacidad del condensador primario suele estar comprendido entre 0,05  $\mu\text{F}$  y 0,2  $\mu\text{F}$ , en mi caso hice compra de 91 condensadores de poliéster de 100 nF y 2 kV cada uno. Con ellos podía conseguir valores comprendidos entre los límites superior e inferior con combinaciones serie paralelo de ellos, pero para que aguantasen los 15 kV hasta 45 kV de tensión del circuito primario necesitaba por lo menos ramas de 18 condensadores en serie y 4 de estas series en paralelo y así conseguir la capacitancia deseada de 66 nF de capacidad.



## Primary Coil

La forma elegida para la bobina primaria inicialmente fue la de espiral plana de Arquímedes, pero tras alguna prueba decidí cambiarla a una espiral cónica invertida para aumentar el factor de acoplamiento entre el primario y el secundario. El valor de  $L_1$  lo calculo igualando la frecuencia de resonancia del primario y del secundario.

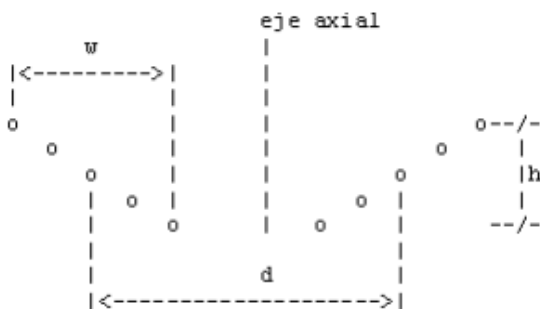
$$f_p = f_s = 125 \text{ kHz} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1 C_1}}$$

$$L_1 = \frac{1}{(2\pi \cdot f_s)^2 \cdot C_1} = \frac{1}{4\pi^2 \cdot 125000^2 \cdot 0,055 \cdot 10^{-6}} = 29,47 \mu\text{H}$$



Dado que la bobina secundaria debe ir colocada dentro de la primaria el diámetro interior de la espiral tiene que ser mayor que el diámetro del solenoide del secundario más un margen para evitar arcos entre ambas bobinas. La bobina secundaria tiene un diámetro de 16 cm y dejo un margen de 3 cm a cada lado, por lo tanto el diámetro interior de la bobina primaria será de 22cm. La inductancia de la espiral cónica invertida se calcula con un formula empírica.

$$L_1 = n^2 \cdot d \cdot \frac{1}{40,8 + 112 \frac{w}{d}}$$



Donde:

$L_1$	Inductancia de la espiral [ $\mu H$ ]
$n$	Número de vueltas
$d$	Diámetro medio de la espiral [cm]
$w$	Anchura de las espiras de un lado [cm]

En mi caso la bobina que he construido tiene 8,5 vueltas, un diámetro medio de 38 cm y una anchura de espiras de 16 cm:

$$L_1 = 8,5^2 \cdot 38 \cdot \frac{1}{40,8 + 112 \cdot \frac{16}{38}} = 31,21 \mu H$$

Hay que tener en cuenta que esta es la inductancia total de la bobina, y que una de las conexiones es móvil. Por lo tanto deberé calcular dónde poner la pinza de conexión para obtener una bobina de 29,47  $\mu H$ .

$$n = \sqrt{\frac{L_1 \cdot \left(40,8 + 112 \cdot \frac{w}{d}\right)}{d}} = \sqrt{\frac{29,47 \cdot \left(40,8 + 112 \cdot \frac{16}{38}\right)}{38}} = 8,25 \text{ Vueltas}$$



### Explosor

La tensión de ruptura del aire seco es aproximadamente de 3000V/mm. Por lo que para que salte un arco con una tensión de 15 kV debería haber una separación de 5mm como mucho.



### Chock Coil

Dado que el valor de la bobina de choque no afecta al funcionamiento de la bobina Tesla y su única misión es limitar la corriente de retorno al transformador durante el cierre del explosor necesitaba una bobina con una inductancia suficientemente grande. Debido a que construir una bobina de este tipo resulta costoso, decidí bobinar un pequeño tubo de PVC de 1" de diámetro y 15 csm de largo.



### Complete Testa Coil



### **CONCLUSIONS**

- He diseñado una bobina Tesla basándome en las ecuaciones de diseño de experimentos similares realizados con anterioridad por otras personas. He aplicado en todo momento los métodos que he considerado más precisos para el cálculo y diseño de los diferentes parámetros, obteniendo finalmente los resultados deseados.
- El montaje final tiene alrededor de 1,5 metros de altura total con una base de 0,5 metros cuadrados. El aparato tiene una potencia de 1,5 kW y he conseguido unas descargas de alrededor de 60 cm de longitud.
- Hay una diferencia notable entre los cálculos teóricos y las medidas reales. Por lo que tras el diseño de cualquier elemento medible es recomendable realizar medidas y rectificar el diseño del elemento o de los demás elementos que dependan del valor medido.
- Los datos obtenidos del programa de simulación son orientativos, ya que hay gran cantidad de parámetros que intervienen en el funcionamiento de la bobina Tesla que no se pueden medir con los medios disponibles o cuyo cálculo no es imprescindible.

### **BIBLIOGRAPHY**

- Richie's tesla coil web page,  
[www.richieburnett.co.uk/tesla.shtml](http://www.richieburnett.co.uk/tesla.shtml)
- Jamie Oliver's tesla coil demonstration page,  
[www.frontiernet.net/~tesla/index.html](http://www.frontiernet.net/~tesla/index.html)
- Construcción de una bobina tesla,  
[www.cientificosaficionados.com/tesla/tesla1.html](http://www.cientificosaficionados.com/tesla/tesla1.html)
- Basic Equations for tesla coil builders,  
<http://f3wm.free.fr/tesla/equations.html>
- Tesla coil formula page,  
<http://teslacoils4christ.org/TCFormulas/TCFormulas.htm>