

A historical photograph of a telegraph station. A man in a dark suit is sitting on a wooden bench on the left, looking at a book or document. In the center, a large, intricate coil of wire is mounted on a wooden frame. To the right, a tall, vertical coil of wire stands on a wooden tripod. The background shows a brick wall and a window. The title 'LA ELECTRICIDAD INALÁMBRICA' is overlaid in large red letters across the center of the image.

LA ELECTRICIDAD INALÁMBRICA

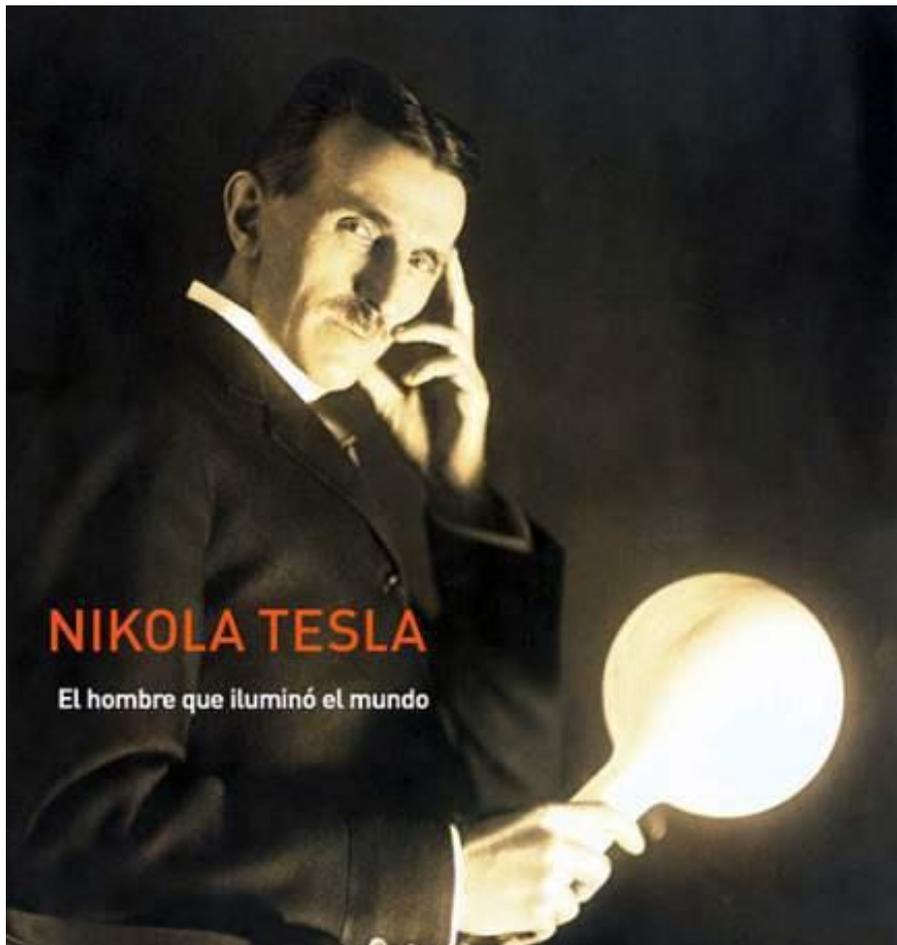
Jesús Fuente Porta

Albert Pedrola

9/12/13

Mare de Déu del Carme

*Compliments from
Nikola Tesla*



“Nuestras virtudes y nuestros defectos son inseparables, como la fuerza y la materia. Cuando se separan, el hombre no existe.”

Nikola Tesla

Agradecimientos

Primero de todo me gustaría agradecer a mis padres por la ayuda económica prestada, ya que me ha servido para poder investigar y disfrutar de un trabajo el cual he disfrutado mucho y me ha servido para poder decidirme que estudiar después de Bachillerato.

Deseo expresar un sincero agradecimiento a Joan Berga Cabello el cuál ha sido una ayuda incondicional para la comprensión y elaboración del proyecto, por el cual he podido disfrutar mucho haciendo este trabajo.

También agradecer a Kevin Navarro Sanahuja todo lo que hizo por mí, especialmente por aclararme una duda en particular.

Agradecer a Paco, por toda la ayuda prestada y aclaración de algunos conceptos.

Finalmente agradecer a mí tutor, Albert Pedrola por guiarme durante la elaboración del trabajo.

ABSTRACT

- In this research we have sought and tested on various areas at the same time , but mostly we focus on wireless energy transfer through various methods, all very similar to each other and with various aspects and fundamentals in common , especially the " Tesla effect . " Specifically, we have made 3 practices, which demonstrate the effect that, except for the second we wanted to demonstrate the effect of the electromagnets, in other words an electric motor.

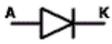
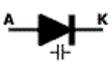
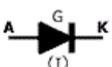
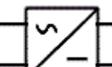
The main reason for motivation and the realization of this project have been the desire to know more deeply the cause of the "Tesla effect" and results specifically in one of the practices in this project, "Tesla Coil" named for its inventor, "Nikola Tesla".

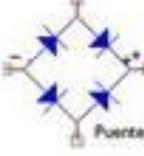
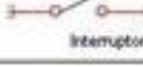
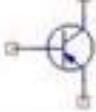
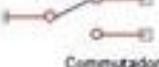
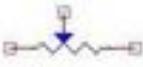
In the practice of the Tesla coil we have seen the amazing effects of magnetic "higher" level field, mainly caused by a specific key, the double resonance, which we will develop in this work. In other words , the " amazing " effect that we have observed and which has let us to the realization of this project have been corona discharges or shock ("spokes") .

Finally, to say that at the end of the construction of the Tesla coil, we wanted to do it including corona discharges with music, which embellished the effect of the Tesla coil and this effect was more beautiful.

LISTA DE SÍMBOLOS

Diodos

	Diodo rectificador		Diodo rectificador
	Diodo rectificador		Diodo zener
	Diodo zener		Diodo zener
	Diodo LED		Diodo zener
	Diodo varicap		Diodo varicap
	Diodo varicap		Diodo Gunn Impatt
	Diodo supresor de tensión		Diodo supresor de tensión
	Diodo de corriente constante		Diodo de recuperación instantánea, Snap
	Diodo túnel		Diodo Schottky
	Diodo rectificador túnel		Fotodiodo de dos segmentos cátodo común PNP
	Fotodiodo		Diodo sensible a la temperatura
	Puente rectificador		Puente rectificador

 Corriente alterna C.A.	 Transformador	 Condensador C	 Ampermetro
 Corriente continua C.C.	 Puente rectificador	 Condensador polarizado	 OHM OHMETRO
 Batería		 Bobina Inductora L	 Voltmetro
 Pulsador	 Cruce de conductores sin conexión	 NPN Transistor	 Termometro
 Interruptor	 Cruce de conductores con conexión	 PNP Transistor	 Toma de tierra
 Conmutador	 Motor de C.C.	 Motor de C.C. 2 velocidades	 Toma de masa
 Conmutador			 Lámpara de incandescencia
 Resistencia R			 Lámpara piloto
 Potenciometro			
 Generador o Alternador			

UNIDADES

Magnitud	Unidad	Símbolo
capacitancia	Faradio	F
carga eléctrica	Culombio	C
conductancia	Siemens	S
densidad de flujo magnético	Tesla	T
energía, trabajo, calor	Julio	J
flujo magnético	Weber	Wb
frecuencia	Hertz	Hz
Intensidad (corriente eléctrica)	Amperio	A
inductancia	Henrio	H
potencia	Vatio	W
Potencial eléctrico, voltaje eléctrico, diferencia de potencial	Voltio	V
resistencia	Ohmio	Ω
Permeabilidad	$4\pi \cdot 10^{-7}$	H/m

1

PALABRAS CLAVE

-Efecto tesla o electricidad inalámbrica, bobina tesla, “Solid State Tesla Coil”, “Spark Gap Tesla Coil”.

¹ Google imágenes (modificada)

Índice

ABSTRACT

LISTA DE SÍMBOLOS

UNIDADES

PALABRAS CLAVE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1. (1ª PRÁCTICA)- EL EFECTO TESLA PARA ENCENDER VARIOS LEDS	2
EN CORRIENTE ALTERNA INALAMBRICAMENTE.....	
1.1. Esquema eléctrico	2
1.2. Explicación detallada del esquema y su realización, problemas surgidos durante la realización y las soluciones a dichos problemas	2
1.3. Explicación detallada de la “fabricación” de ciertos elementos y sus valores medidos empíricamente	6
1.4. Resultados de la 1ª Práctica	9
2. (2ª PRÁCTICA)- APLICACIÓN DE CORRIENTE DOMÉSTICA	9
(CORRIENTE ALTERNA) A UN CIRCUITO CON UN MOTOR	
ELÉCTRICO.....	
2.1. Esquema eléctrico (PSIM)	9
2.2. Explicación detallada del esquema y su realización, problemas surgidos durante la realización y las soluciones a dichos problemas	10
2.3. Explicación de los elementos construidos	14
2.4. Resultados de la 2ª Práctica	14
3. (3ª PRÁCTICA)- BOBINA TESLA (SGTC) y (SSTC).....	15
3.1. Objetivo de esta práctica en particular	15
3.2. Historia de la bobina Tesla	15
3.3. Elementos (SGTC)	16
3.3.1. Esquema básico	16
3.3.2. Como inventó el esquema eléctrico Nikola Tesla	19
3.3.3. Transformador de alta tensión	20
3.3.4. Condensador primario	21

3.3.5. Bobina primaria	21
3.3.6. Bobina secundaria	22
3.3.7. Condensador secundario	22
3.3.8. “Spark Gap” o explosor	23
3.3.9. Toma a tierra	24
3.4. Simulaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de telecomunicación, Universidad Pública de Navarra (SGTC)	25
3.4.1. Circuito simulado y Resultados de la simulación	25
3.5. Cálculos de los elementos (SGTC)	27
3.5.1. Transformador de alta tensión	28
3.5.2. Condensador primario	28
3.5.3. Bobina primaria	29
3.5.4. Bobina secundaria	31
3.5.5. Condensador secundario	35
3.5.6. “Spark Gap” o explosor	38
3.6. Medidas necesarias para el circuito (SGTC)	38
3.6.1. Introducción a la resonancia	39
3.6.1.1. Frecuencia de resonancia (doble circuito resonante)	42
3.6.2. Tensión transformada (circuito secundario)	42
3.6.3. Longitud de la descarga de corona	43
3.6.4. Intensidad del circuito primario	44
3.7. Seguridad y precauciones	44
3.8. Elaboración de una bobina Tesla con música (SSTC)	49
3.8.1. Introducción a la “ <i>Solid State Tesla Coil</i> ” (SSTC).	50
3.8.1.1. Modulación Sigma-Delta ($\Delta\Sigma$)	50
3.8.2. Esquema eléctrico y explicación básica del esquema eléctrico	52
3.8.3. Calibración de la tensión (V_{out}) mediante la frecuencia de transferencia y Diagrama de Bode	55
3.9. Resultados de la práctica	57
4. FUTURAS APLICACIONES DEL EFECTO TESLA.....	58
5. CONCLUSIONES.....	60
6 ANEXOS.....	60
7. BIBLIOGRAFIA	

1. INTRODUCCIÓN

-En este trabajo de investigación hemos buscado y experimentado sobre varios campos al mismo tiempo, pero principalmente nos hemos centrado en la transferencia de energía inalámbrica mediante diversos métodos, todos muy parecidos entre ellos y con varios aspectos y fundamentos en común, especialmente el *efecto Tesla*. Concretamente hemos realizado 3 prácticas, en las cuales se demuestran dicho efecto, excepto la segunda práctica por la que hemos querido demostrar el efecto de los electroimanes, en otras palabras un motor eléctrico.

La motivación principal y el porqué de la realización de este proyecto, han sido las ganas de conocer con mayor profundidad la causa del *efecto Tesla* y sus resultados, concretamente, en una de las prácticas realizadas en este proyecto, la Bobina Tesla llamada así por su inventor, *Nikola Tesla*.

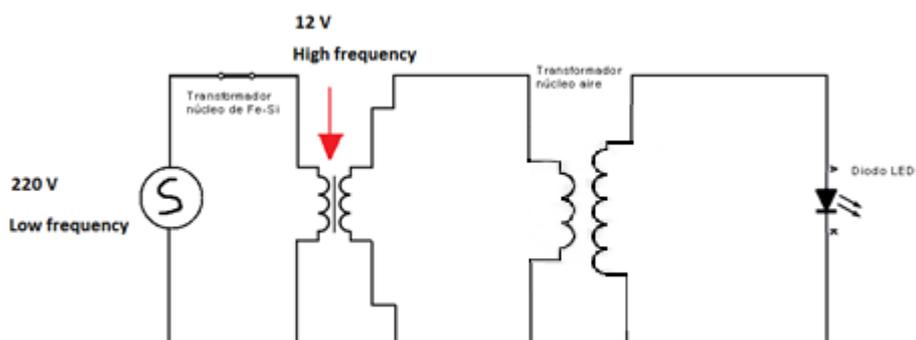
En dicha práctica de la bobina Tesla hemos podido observar los increíbles efectos del campo magnético a niveles “superiores”, provocados principalmente por una clave en concreto, la doble resonancia, la cual vamos a desarrollar en este trabajo. En otras palabras, el efecto más increíble que hemos podido observar y por el cual nos ha encaminado a la realización de este proyecto, han sido las descargas de corona o descargas eléctricas (“rayos”).

Para acabar, decir que al finalizar la construcción de la bobina Tesla, quisimos realizarla incluyendo las descargas de corona con música, el cual embellecía el efecto de la bobina Tesla.

A gusto del lector todas las fotos y videos de los procesos de construcción se encuentran en los anexos, en el pendrive.

1. (1ª PRÁCTICA)- EL EFECTO TESLA PARA ENCENDER VARIOS LEDS EN CORRIENTE ALTERNA INALAMBRICAMENTE

1.1. Esquema eléctrico



1.2. Explicación detallada del esquema y su realización

Como podemos observar, el circuito eléctrico se compone de dos partes, el circuito primario y el circuito secundario. El circuito primario, se compone de dos elementos, un transformador de alta frecuencia y una la bobina primaria, que genera un campo magnético. En el circuito secundario, se compone también de dos elementos, una bobina que recibe el campo magnético y, por lo tanto, se comporta como un transformador de núcleo de aire; y un diodo LED, (solo deja pasar la corriente en un sentido), el cual emite luz blanca.

A continuación vamos a explicar el circuito en sí, y porque funciona, concretamente cuales son las claves para que funcione, porque como ya sabemos, los LED, teóricamente no funcionan en corriente alterna ya que son de corriente continua, por la necesidad de una tensión constante y que no varíe.

Primero de todo, la corriente circula por el circuito primario, 220 V, hasta llegar al transformador, el cual disminuye la tensión hasta 12 V. A continuación, la circulación de intensidad por la bobina del circuito secundario, provoca la generación de un campo magnético, el cual otra bobina, que sería un circuito receptor, recibe el campo magnético y,

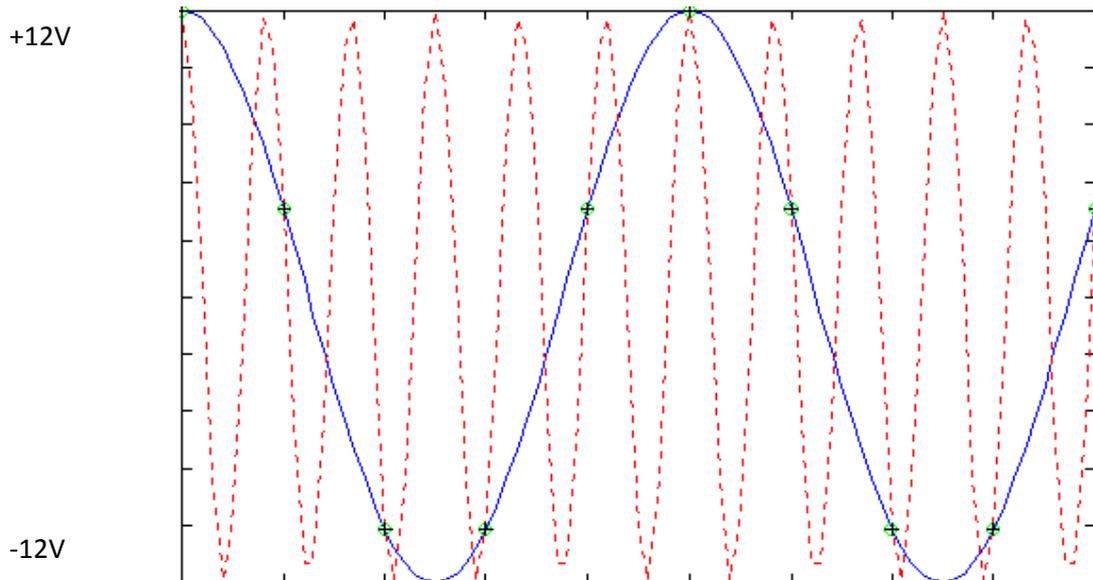
por lo tanto, en dicho circuito se induce una tensión y corriente, los cuales permiten que se encienda el LED, el cual funcionaba a una tensión de 4 V (al ser blancos).

Al hacer la primera prueba, nos dimos cuenta que el LED no se encendía, y estuvimos haciendo pruebas, lo que al final nos hizo ver el problema real del porque no funcionaba o no se encendía el LED, fue cuando estuvimos abriendo y cerrando muy rápido el circuito con el interruptor que había en el circuito primario, entonces nos dimos cuenta que al hacer contacto muy rápido, y por lo tanto, abrir y cerrar muy rápido el circuito, se producía una frecuencia de encendido y apagado muy rápido lo cual causaba el parpadeo del LED, y por conclusión, era un problema de la frecuencia a la que trabaja el circuito. Parpadeaba el LED porque los LEDs solo funcionan cuando se les aplica una tensión y corriente continua, entonces al conectarlos en corriente alterna, como la frecuencia es baja, solamente recibe la tensión necesaria durante un instante muy reducido de tiempo, lo cual produce un ligero parpadeo (esto sucedía cuando se hacía contacto con el interruptor, ya que el LED a una frecuencia de trabajo de 50 Hz ni parpadea), entonces al aumentar mucho la frecuencia de oscilación a la que trabaja el circuito, se llega a producir un efecto de corriente “continua”, lo cual produce que el LED parpadee tan rápido que el ojo humano no pueda percibir ese parpadeo y por lo tanto se enciende perfectamente el LED.

Para solucionar el problema de la alta frecuencia, tuvimos que usar un transformador de lámpara halógena, ya que son de alta frecuencia y trabajan a una tensión de salida de 12 V, y curiosamente, según nos informamos, tienen la característica peculiar, que se autorregulan, lo cual significa que regulan el paso de la corriente, eso en otras palabras, significa que no era necesario poner resistencias para limitar la corriente del circuito a la potencia que está limitado dicho transformador por sus limitaciones físicas, ya sean los cables usados que no soporten mucha intensidad, etc...

Veamos un ejemplo gráfico:

La primera gráfica nos muestra el cambio básico que hace el transformador, con el cual no sería posible encender el LED en corriente alterna, por lo tanto, es la clave principal, el cambio de la frecuencia de 50 Hz, frecuencia doméstica, a una alta frecuencia, con la cual trabajan la lámparas halógenas.

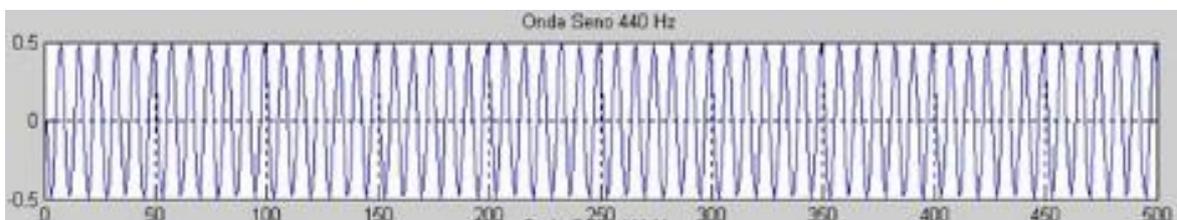


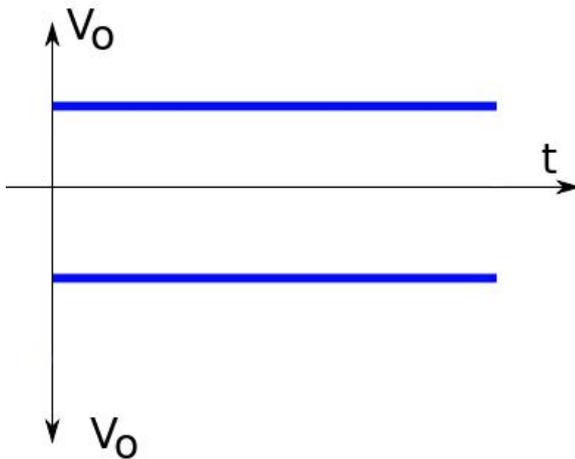
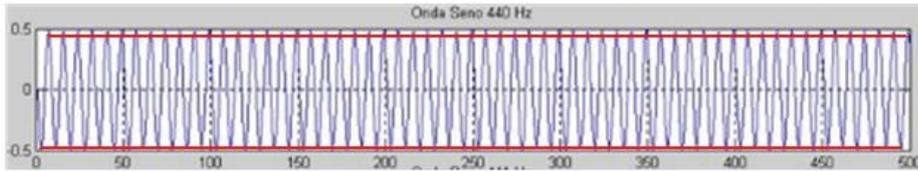
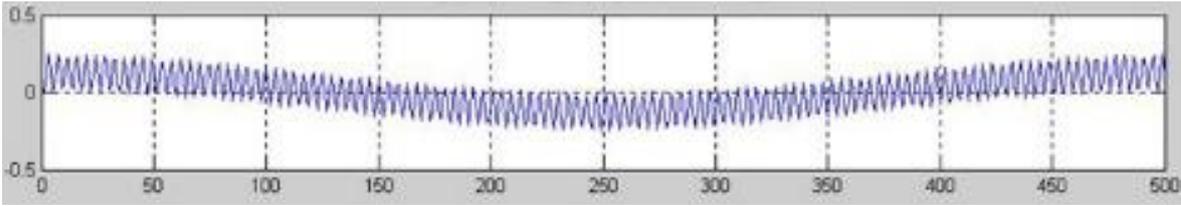
$f_1 = 50 \text{ Hz}$

$f_2 = \text{High frequency}$

Como podemos observar, como habíamos dicho, en la f_2 , hay más instantes de tiempo en los cuales la tensión máxima es de 12 voltios, y por lo tanto el LED parpadea. Ya que en la primera función (azul), al ser una frecuencia de 50 Hz no se puede ni apreciar un ligero parpadeo, por lo tanto, no funciona el LED.

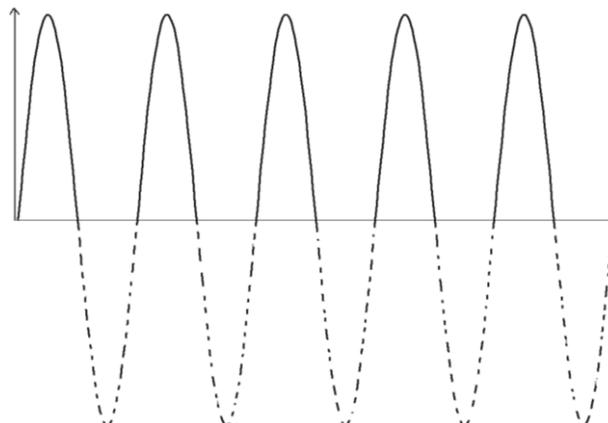
Entonces, si aumentamos aún más la frecuencia, se produce el efecto que habíamos comentado antes, un efecto que al verlo en un electroscopio podríamos definir como una corriente casi constante, y por lo tanto, el LED si funcionaria. Para verlo mejor, vamos a mostrarlo en una gráfica.

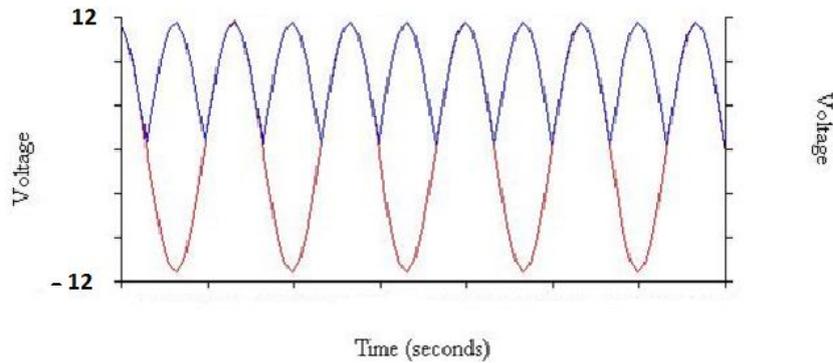




Efectivamente, como podemos apreciar en las gráficas, se produce dicho efecto, el cual aplica una tensión máxima de 12 V tan rápido, que se produce una tensión constante.

Pero, en el circuito secundario se produce otro efecto, ya que el LED, es un tipo de diodo, el que solo deja circular la corriente en un sentido, dicho efecto al ser en alta frecuencia, aumenta el rendimiento del LED, lo cual significa no poder percibir el parpadeo de dicho LED. Vamos a verlo en una gráfica para poder visualizarlo mejor:





$f_1 =$ Corriente alterna

$f_2 =$ Corriente rectificada (corriente continúa)

Como podemos apreciar, al circular la corriente por el diodo LED, la corriente es rectificada a corriente continua, ya que cuando el sentido de la corriente cambia, lo que hace el LED es no dejar el paso de dicha corriente por ese sentido. Por lo tanto, como habíamos mencionado, a mayor frecuencia menor parpadeo.

1.3. Explicación detallada de la “fabricación” de ciertos elementos y sus valores medidos empíricamente

-Para la construcción de ciertos dispositivos, como las bobinas, hemos seguido un procedimiento, el cual al finalizarlo hemos calculado sus medidas reales para poder calcular la inductancia y el campo magnético de dichas bobinas. Todos estos cálculos eran necesarios para poder elaborar el circuito.

Primero de todo construimos la bobina que iba a ir conectada en el circuito primario, la cual construimos usando como base para bobinar, un tubo de tubería de 8cm (radio), el cual, tenía una área de $(0'08^2 * \pi)$ m. La inductancia de dicha bobina la calculamos con la fórmula de un solenoide:

$$L = \mu * \frac{N^2 * A}{l} \rightarrow L_p = 4 * \pi * 10^{-7} * \frac{27^2 * (\pi * (0'08)^2)}{0'01} \rightarrow L_p = 1'95mH$$

En la cual, el número de vueltas, el radio de dicha bobina y la altura, lo calculamos con los objetos de los cuales disponíamos. La “altura” es de 1 cm y la bobina tiene 27 vueltas. (No es del todo correcto usar esa fórmula ya que la altura respecto el diámetro no es lo suficientemente grande, pero para esta práctica ya fue suficiente como para poder acercarnos a un valor bastante bueno. El campo magnético de dicha bobina es de:

Hemos utilizado esta fórmula ya que no es lo suficientemente larga como para poder usar la fórmula del campo magnético creado por un solenoide, el cual dice, que se puede usar esa fórmula si la relación entre la altura del solenoide respecto del radio es mucho más grande.

$$B = \frac{\mu * I}{2 * R}$$

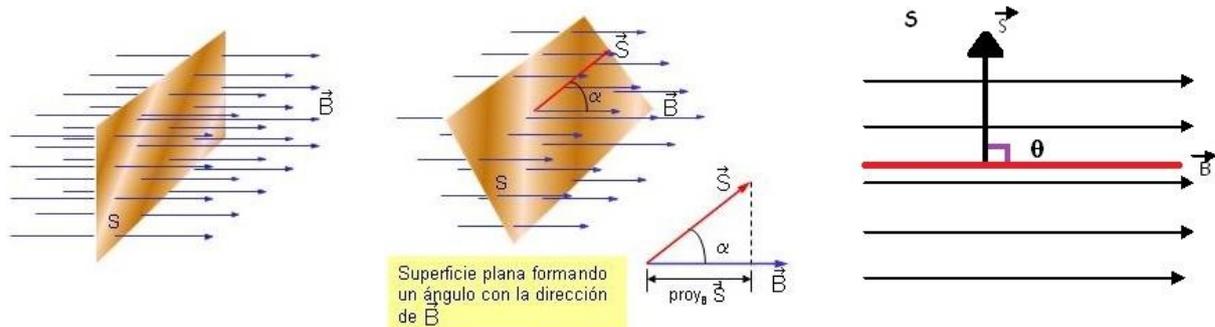
$$B_p = \frac{4 * \pi * 10^{-7} * 5 * 10^{-3}}{2 * 0'08}$$

$$B_p = 38'1 \text{ nT} = 38'1 * 10^{-9} \text{ T}$$

A continuación construimos la bobina receptora, el cual iba a inducir una corriente para poder encender el LED. El conjunto de dichas bobinas, se comportan como un transformador de núcleo de aire, el cual tiene poco factor de acoplamiento. Dicho factor de acoplamiento depende en este caso, de lo similares que sean las bobinas, nosotros hicimos dos bobinas muy similares, de esta manera, teníamos menos pérdidas. También pudimos apreciar que el flujo de dichas bobinas acopladas, era máximo cuando las colocábamos coplanariamente, eso significaba que intentábamos que todos los puntos de la bobina receptora estuvieran o pertenecieran al mismo plano que creaba la bobina primaria. En cambio, cuando colocábamos dichas bobinas perpendicularmente una respecto de la otra, el flujo era nulo y por lo tanto no se inducía corriente. Todo esto se puede demostrar con la fórmula del flujo magnético:

$$\Phi_B = B * S * \cos\theta$$

Esto significa, como habíamos dicho, que cuando el ángulo entre las dos bobinas es de 90°, el flujo es cero, ya que el $\cos 90^\circ = 0$, y de la misma manera, también podemos interpretar, que cuando el ángulo entre las bobinas es de 0°, el flujo es máximo, ya que el $\cos 0^\circ = 1$. La S, es la superficie de la bobina, la cual viene dada por el área del círculo. (En la imagen se representa con un cuadrado, ya que las dos primeras imágenes están obtenidas de internet).



Después de haber aclarado el principio de funcionamiento, vamos a explicar como hicimos la segunda bobina receptora. Dicha bobina la bobinamos usando una pelota de fútbol, la cual dicha pelota, tenía un radio muy similar al de la tubería, la pelota tenía un radio de 10'3 cm. La bobina la hicimos 40 vueltas y una altura de 1'5 cm, lo cual significa que tenía una inductancia de:

$$L = \mu * \frac{N^2 * A}{l} \rightarrow L_p = 4 * \pi * 10^{-7} * \frac{40^2 * (\pi * (0'103)^2)}{0'015} \rightarrow L_s = 4'47 \text{ mH}$$

Por lo tanto, ahora vamos a calcular por los principios de los transformadores la tensión inducida (teórica):

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad P_1 = P_2$$

$$\frac{27}{40} = \frac{12}{V_2} \quad V_2 = 17'78 \text{ voltios (teóricos)}$$

Este resultado es más que teórico, ya que lo comprobamos empíricamente usando un polímetro digital ("tester"), el cual nos daba una tensión en el secundario de 9 voltios aproximadamente. Ya que en el primario al comprobar la tensión de salida con el polímetro nos daba una tensión de 10 voltios aproximadamente. Lo cual significaba que cuando usábamos el tester para saber la tensión de salida del transformador, había una pérdida voltaje, ya que cuando se comprueba empíricamente ese valor, lo que se está midiendo en realidad, es la tensión de salida entre los dos bornes de la bobina y la propia resistencia de dicha bobina.

Esa resistencia es, la resistencia del propio cable y la impedancia. Por otra banda también influye el factor de acoplamiento, ya que si fuera uno, teóricamente deberían inducirse 17'78 voltios.

También hicimos otra bobina más pequeña de un radio de 4'3 cm, los cuales mostraremos los resultados de dicha bobina en fotografías en los anexos y en la presentación.

1.4. Resultados de la 1ª Práctica

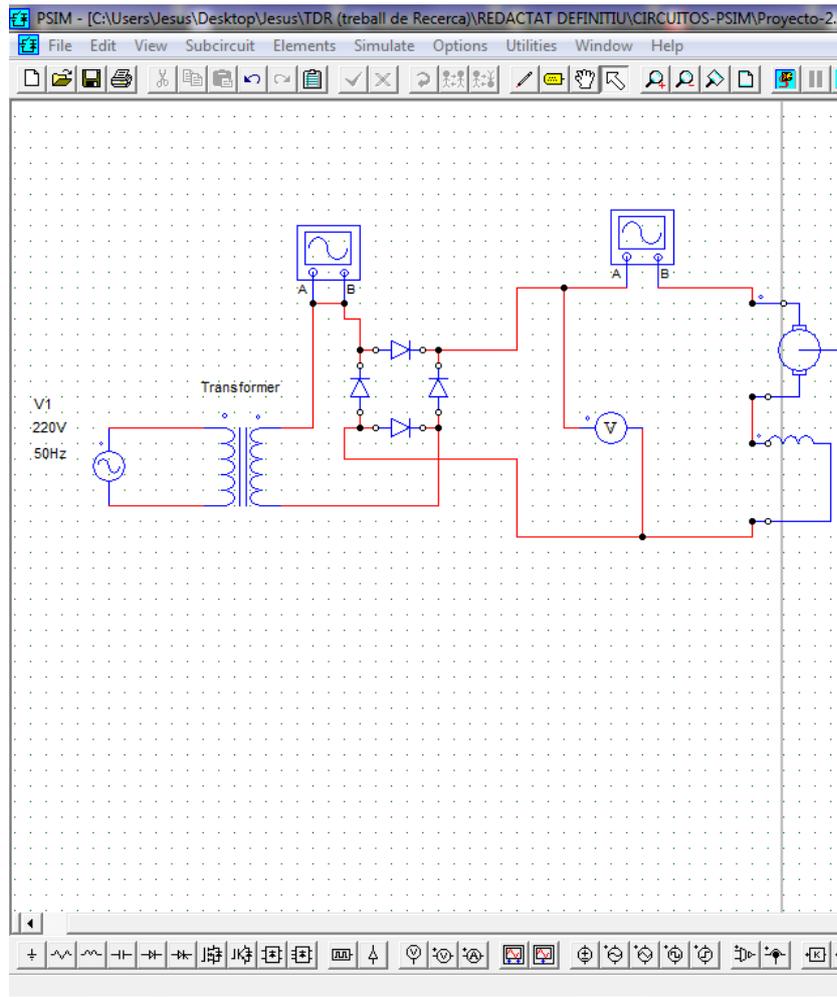
Los resultados de esta práctica fueron bastante buenos. Decimos bastante buenos, ya que al principio tuvimos que investigar sobre los transformadores de lámparas halógenas, para poder solucionar el problema de la frecuencia, a causa de que en la primera prueba tuvimos ese problema y no se encendiera el LED. A pesar de eso, estuvimos bastante satisfechos de los resultados obtenidos. Las fotografías de los elementos, resultados y procedimientos de construcción de esta práctica están en los anexos.



2. (2ª PRÁCTICA)- APLICACIÓN DE CORRIENTE DOMÉSTICA (CORRIENTE ALTERNA) A UN CIRCUITO CON UN MOTOR ELÉCTRICO

2.1. Esquema eléctrico

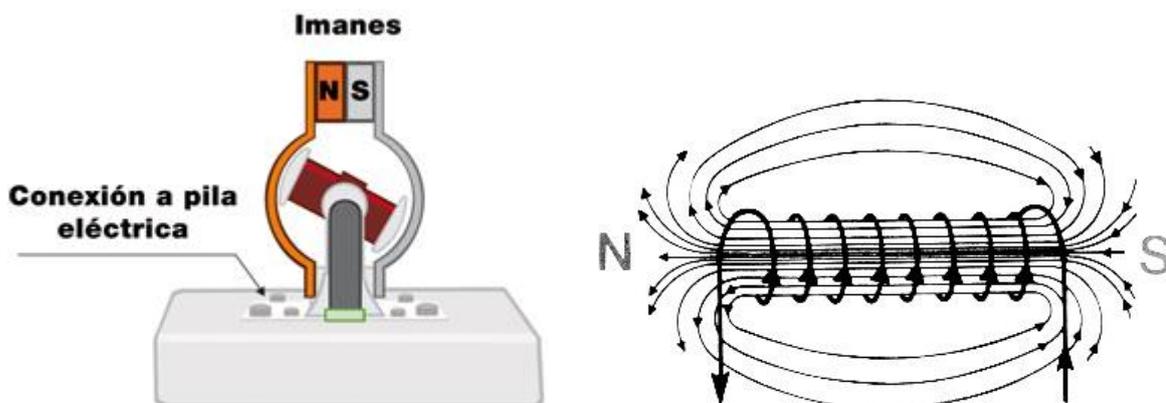
Para hacer en este caso el esquema eléctrico utilizamos el programa PSIM, el cual es idóneo para poder simular un circuito y poder hacerlo para que quede mejor visualmente:



2.2. Explicación detallada del esquema y su realización, problemas surgidos durante la realización y las soluciones a dichos problemas

Este es el circuito que simulamos en el programa PSIM, usando varios osciloscopios, para poder ver como se comportaba el circuito. También incluimos un voltímetro para poder controlar i verificar que la diferencia de potencial entre los dos puntos variaba (mostrados en el circuito). Cabe destacar el resultado obtenido entre el primer osciloscopio, que se sitúa antes del puente de diodos, y el segundo osciloscopio, el cual lo hemos colocado después del puente de diodos. Ya que es la clave para que pueda funcionar el motor eléctrico, ya que un motor eléctrico funciona gracias al efecto de los electroimanes, al circular corriente continua por las bobinas que lleva en su interior, se genera un campo magnético con “polo norte” y “polo sur” que se repelen con el “estátor”, que es imán permanente que rodea el

“rótór”, el “rótor” son los electroimanes que se pueden mover. Al moverse generan un movimiento, el cual nosotros hemos aprovechado para colocar una hélice, con lo que el conjunto, del motor y la hélice forman un “mini ventilador”.



En estas imágenes se puede apreciar muy bien.

Como también colocamos el mismo transformador de la primera práctica, uno de los principales problemas que nos surgieron, era que la velocidad a la que iba el motor, era excesiva, la cual regulamos con resistencias variables, las cuales, fueron extraídas de una placa electrónica de una caldera vieja. Dichas resistencias las pusimos en serie al circuito y en paralelo entre ellas, de esa manera provocábamos poca caída de tensión a causa de que al poner las resistencias en paralelo entre ellas, la resistencia se hacía más pequeña, y por lo tanto, la intensidad del circuito se reducía poco, lo suficiente para reducir lo suficiente la velocidad del motor. En este caso al principio no tuvimos que hacer muchos cálculos, ya que solamente nos aseguramos de que el motor funcionara y de tal manera, que con el transformador que colocáramos no se rompiera el motor, ya que el motor lo cogimos de un coche de radiocontrol, y por lo tanto, no sabíamos si se encontraba en buenas condiciones.

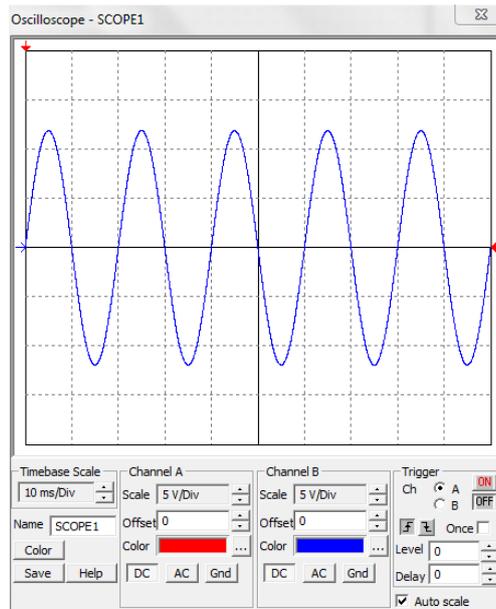
A continuación vamos a explicar el circuito como funciona exactamente, ya que lo que hemos hecho hasta ahora ha sido explicar, los primeros conceptos que había que tener en cuenta.

Primero de todo la corriente doméstica, circula por el circuito, hasta llegar al transformador, cuando llega hasta ese punto, la tensión es disminuida. Al haber limitado la tensión y la corriente (la corriente es limitada por el propio transformador, ya este transformador de lámpara halógena lo compramos para que pudiera auto limitarse). A continuación circula por el puente de diodos, el cual rectifica la corriente, y por lo tanto, una vez ya tenemos

corriente “continua”, ya puede funcionar el motor. (Las resistencias como ya habíamos dicho ralentizaban el motor)

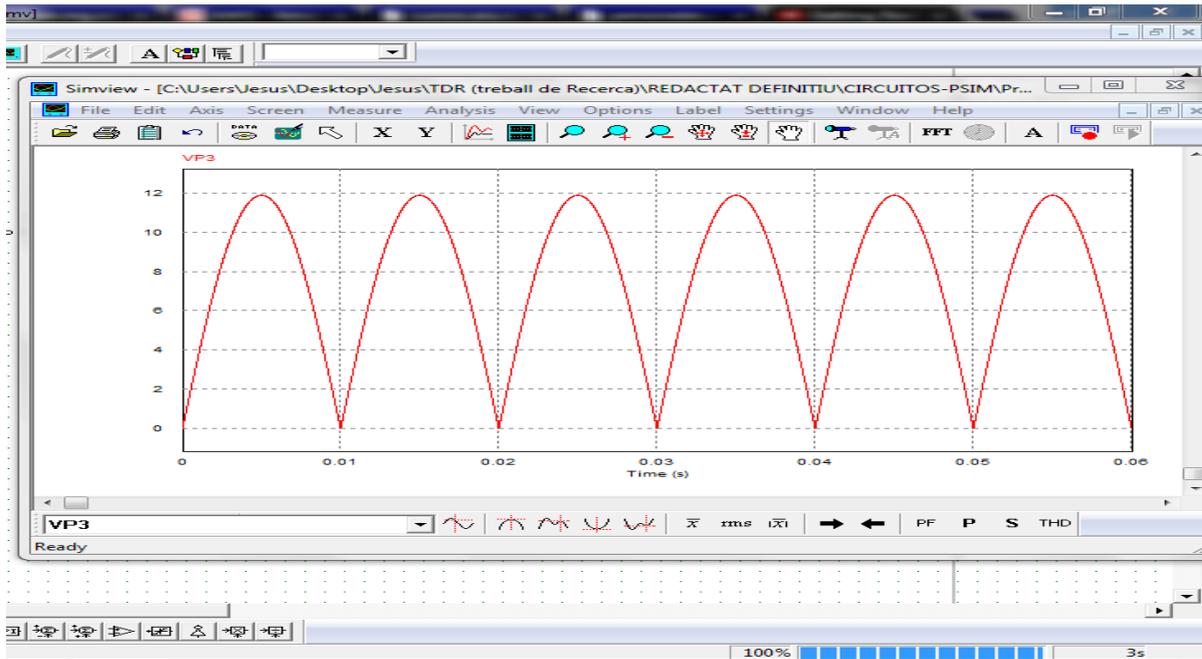
Ahora vamos a ver en gráficas, lo sucedido, aprovechando que hemos usado el programa PSIM, que nos simula dicha práctica:

Primero veamos el comportamiento en el primer osciloscopio y después el voltímetro.



Como podemos observar, la corriente es alterna antes del puente de diodos, y por lo tanto, de esta manera no podría funcionar el motor. Ahora, vamos a ver el voltímetro después del puente de diodos.

Imagen en la siguiente página.



Como podemos observar, al colocar un puente de diodos se aumenta el rendimiento de trabajo del motor, ya que hay más “picos” en los cuales se le aplica una tensión de 12 V. De la otra manera, solo un diodo daría una gráfica así:



Y por lo tanto, el motor eléctrico no iría muy bien. Para realizar dichas gráficas, aparte de usar el PSIM, hemos usado el programa Simview.

2.3. Explicación de los elementos contruidos

Construimos, un puente de diodos a partir de los diodos una placa electrónica de caldera, los cuales soldamos adecuadamente siguiendo la dirección en la cual tenían que ir para formar un puente de diodos. Las resistencias variables también las extraíamos de la placa electrónica de una caldera, dicha resistencia en serie al circuito y en paralelo entre ellas, las soldamos nosotros usando estaño en vez de oro, ya que el oro es excesivamente caro. También hicimos la hélice del motor, usando cable, y la atamos al motor usando cable enrollado alrededor en forma de X. La hélice es pequeña, ya que el motor tampoco es muy potente. En anexos están las fotografías de todos los elementos contruidos.

2.4. Resultados de la 2ª Práctica

Los resultados de esta práctica fueron también bastante buenos, el único inconveniente, es que las resistencias variables, tenían ya unos valores de resistencia, los cuales no aportaban mucha variación de la velocidad de dicho motor, no quisimos comprar unas resistencias variables ya que en la última práctica nos gastamos bastante presupuesto del proyecto. En los anexos se muestran las fotografías de los resultados de dicha práctica. También mostramos la tabla de presupuestos gastados en todas las prácticas (presupuesto aproximado).

3. (3ª PRÁCTICA)- BOBINA TESLA (SGTC) y (SSTC)

3.1. Objetivo de esta práctica en particular

El objetivo principal de esta práctica en particular, tal vez más visual y bonita de este proyecto de fin de curso, es la construcción de una bobina Tesla de tamaño reducido debido al espacio limitado del cual se dispone para la demostración en público, el cual teníamos que tener en cuenta a causa de las descargas eléctricas.

En la primera prueba vamos a construir una *Spark Gap Tesla Coil* (SGTC), llamada así por el spark gap que la caracteriza y es la clave para crear la frecuencia oscilante amortiguada.

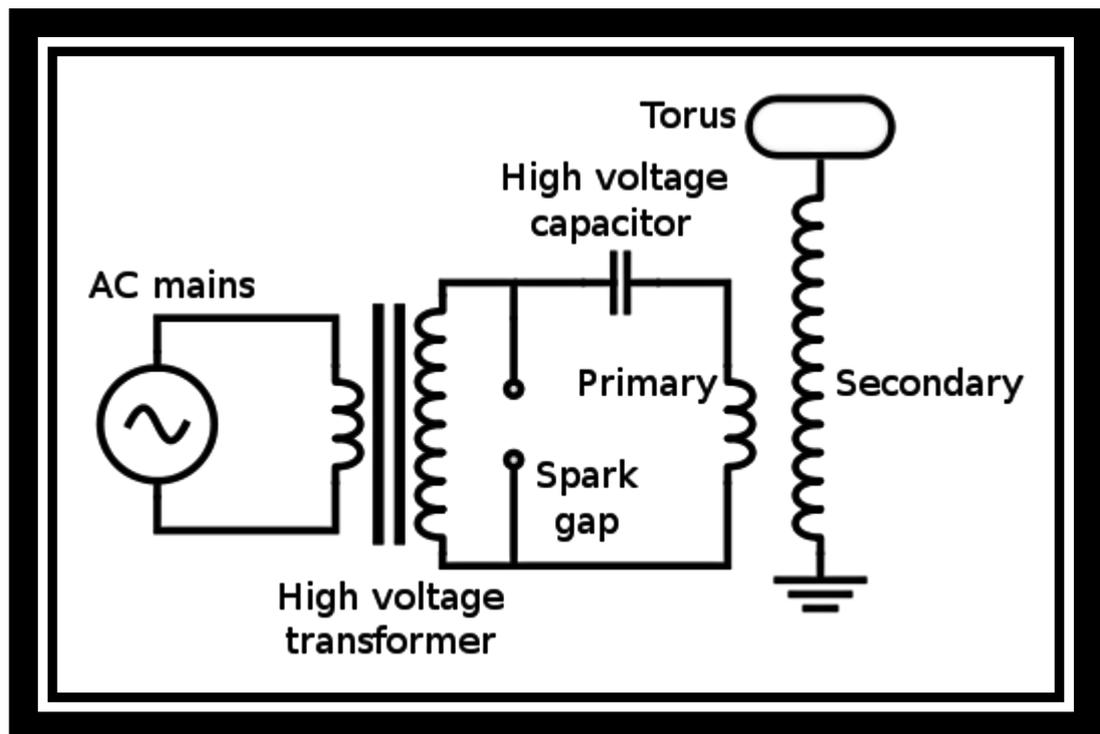
3.2. Historia de la bobina tesla

La Bobina Tesla es un tipo de transformador el cual es capaz de emitir descargas eléctricas que pueden llegar a medir varios metros, dependiendo del tamaño, y emitir luz por medio de generación de pulsos de alta tensión que en nuestro caso se producen en el valor que oscila la frecuencia resonante. Fue inventada por Nikola Tesla el año 1891 la edad de los 35 años. Unos de los múltiples efectos que causa y que la gente desconoce y que se produce en esta práctica que vamos a realizar, es el mito del “*skin effect*”, llamado así por el efecto que se origina en la piel. Dicho efecto se produce cuando la corriente alterna es de **alta frecuencia**. Centrándonos un poco más en el “*skin effect*”, se basa en la **alta frecuencia**, ya que a baja frecuencia la corriente fluye por nuestro cuerpo, intentando circular por las zonas mejor conductoras de nuestro cuerpo, el sistema nervioso o circulatorio. Pero de alguna manera, la corriente a frecuencias superiores a 15 y 20 KHz, no produce una descarga letal para nuestro cuerpo, ya que a altas frecuencias lo que sucede, es que la corriente circula por la superficie de la piel, y al circular por la piel, no produce daños a las zonas más sensibles del cuerpo y además la piel tiene una resistencia mucho mayor a la de otras zonas del cuerpo. Para que la descarga fuera letal, los nervios del sistema nervioso deberían ser activados mediante el flujo de un número significativo de iones que cruzaran la membrana de los nervios antes que la corriente se revierta, ya que la corriente es alterna. Por lo tanto sí que podemos tocar las descargas de corona, pero aun pudiendo tocar dichas descargas, se han demostrado casos,

los cuales han sufrido daños temporales en tejidos, también hormigueo y dolor en articulaciones durante horas e incluso días. Por otra banda, tampoco es muy seguro tocar una descarga de corona, ya que incluso si no nos matara el flujo de la corriente por nuestro cuerpo, algunas bobinas Tesla de tamaño considerable o niveles altos de voltaje (250.000-500.000 voltios), las descargas de corona pueden causar quemaduras que puedan quemar la piel e incluso llegar al hueso en niveles extremos. Por lo tanto, en consecuencia a dichos riesgos, muchos investigadores que han construido una bobina Tesla, han optado por usar medios de protección para poder observar desde bastante cerca dichos efectos de descarga de corona, mediante el uso de una jaula de Faraday o trajes de cota de mallas, para evitar la penetración y el flujo de la corriente por el cuerpo.

3.3. Elementos (SGTC)

3.3.1. Esquema básico

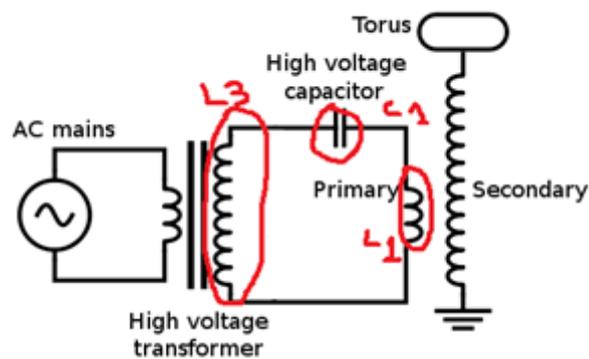


1

Este tipo de esquema lo escogimos por su particular configuración electrónica, a pesar de que durante nuestra investigación de la bobina tesla encontramos multitud de esquemas,

¹ Google imágenes

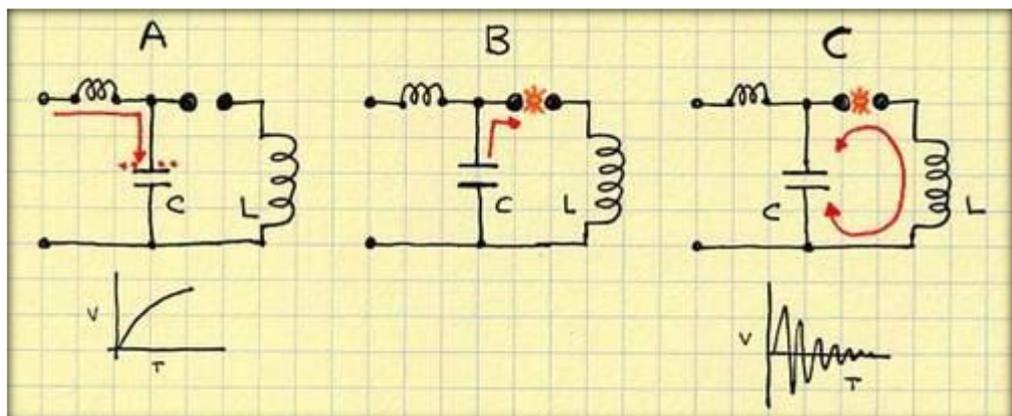
escogimos esta por la posición que ocupaba el spark gap o explosor, ya que nos permitía proteger el transformador primario de las radiofrecuencias (entre 3 KHz y unos 300 GHz) y también al mismo tiempo facilitar los cálculos para poder realizar la doble resonancia que se establece entre el circuito primario y el secundario, que ya explicaremos en el apartado de medidas; ya que si intercambiáramos las posiciones del spark gap y el condensador primario, tendríamos que tener en cuenta la impedancia de la bobina del transformador.



$$L_1 + L_3 = L_{Tp}$$

Por lo contrario a pesar de haber escogido este esquema eléctrico, vamos a mostrarles y explicar las diferentes posibilidades que se nos presentaron. Primero de todo vamos a explicar el esquema principal y básico para la comprensión para después entender el porqué de nuestra elección de entre las múltiples posibles. A continuación les presentamos el circuito con los detalles del proceso:

(Siguiendo página)

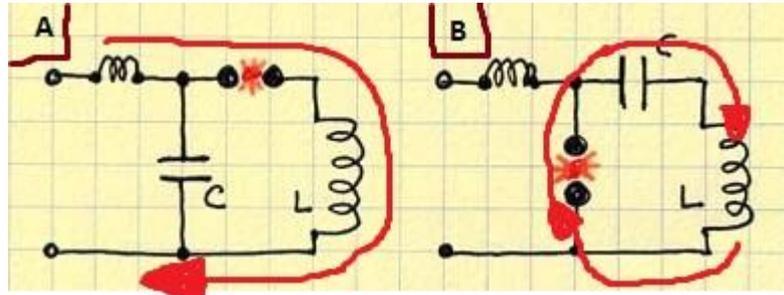


Aquí podemos observar el proceso de carga y descarga del circuito. Primero de todo la corriente que ha sido transformada previamente en el transformador a 10 KV, circula hasta el condensador ya que por el spark gap la corriente no puede circular a causa de que no tiene el voltaje suficiente como para romper la tensión de ruptura del aire; cuando la corriente circula por el condensador y por consiguiente se produce un proceso de carga (mostrada la gráfica en el extremo inferior izquierdo de la imagen), al almacenarse un cierto voltaje, cuando llega al valor mínimo para poder romper la tensión de ruptura del aire en el spark gap, es cuando se produce el cierre del circuito, al cerrarse se genera la frecuencia oscilante amortiguada, (mostrada en el margen inferior derecho de la imagen), con la cual, al ser generada dicha frecuencia, se produce el efecto de resonancia ya que previamente en los cálculos de calibración de la bobina primaria y el condensador primario han sido sintonizados a una determinada frecuencia (133 KHz). A continuación, cuando el circuito se cierra, al circular corriente a una determinada frecuencia, se transmite la corriente a la bobina del circuito secundario y por consiguiente al tener una relación de 5:500 (x:xx, la primera x, es el número de espiras de la bobina primaria, la xx, es el número de espiras de la bobina secundaria) espiras, por el principio de los transformadores sube la tensión y se reduce la intensidad drásticamente. Al subir tanto la tensión del circuito secundario, se producen descargas de corona, causadas por el hecho de que la “corona” o solenoide, al tener tanta tensión se producen efectos parásitos de carga eléctrica por lo cual debe considerarse la capacidad del toroide, y de esta manera podemos ajustar su capacidad para que se produzca otra resonancia en el circuito secundario y de esa manera conseguir una doble resonancia. Para concluir con el proceso, el toroide al comportarse como un condensador y almacenar

² Anilandro pictures

carga eléctrica, al alcanzar una determinada tensión, es cuando se producen las descargas de corona o descargas eléctricas.

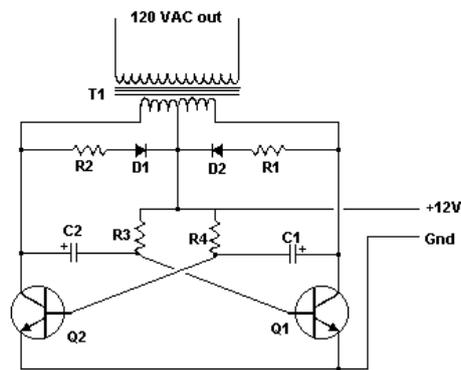
Ahora les presentaremos la variación que hicimos en el cambio del spark gap por el condensador primario:



A primera vista se puede observar una clara diferencia entre el circuito A y el circuito B, al variar la posición del spark gap, cuando se cierra el circuito B (donde el spark gap está cambiado), podemos observar que la corriente circula por un instante por la zona marcada, con lo cual es suficiente para proteger el transformador de las radiofrecuencias, a causa de que la frecuencia generada al ser amortiguada, disminuye lo suficiente para no dañar el transformador, y si además añadimos que el spark se cierra con ciclos o períodos del orden de segundos, podemos decir que la corriente circula prácticamente por la zona marcada y solamente se reinicia el proceso cuando el condensador tiene que volver a cargarse y como ya hemos dicho, igualmente no se daña el transformador por la reducción de la frecuencia.

3.3.2. Como inventó el esquema eléctrico Nikola Tesla

Nikola Tesla un magnífico ingeniero, que para realizar todo el esquema de la bobina Tesla tuvo que inventar previamente varias cosas y solucionó muchos aspectos de los cuales eran inimaginables en esa época. Primero de todo para crear la variación del flujo magnético en las bobinas tuvo que inventar un “aparato” que le transformase la corriente continua a corriente alterna, ejemplo:



3

De esta manera al tener ya corriente alterna tuvo que inventar un sistema que le produjera la frecuencia necesaria para que las bobinas y condensadores resonasen por consiguiente se obtiene muy poca pérdida de potencia, ya que al resonar la impedancias se reducen (en caso ideal a 0) y al reducirse solo “queda” la resistencia de los cables, por lo tanto prácticamente nula; el spark gap era la solución que realizó, un sistema muy ingenioso propio de un genio como él, pero había un problema, para poder hacer que el circuito se cerrase y por lo tanto que el spark gap funcionara, necesitaba algo que elevara la tensión mucho para poder romper la tensión del aire, ya que en aquel entonces el sistema que él inventó para poder transformar la corriente continua a alterna tenía poca tensión de salida y entonces puso un transformador que le crease dicha tensión necesaria. Este fue el racionamiento por el cual hemos investigado y razonado sobre como lo hizo el ingenioso e increíble Nikola Tesla.

3.3.3. Transformador de alta tensión

El transformador de alta tensión es una de las claves de la *Spark Gap Tesla Coil*, ya que eleva la tensión de 220-230 V a tensiones que varían dependiendo de la potencia que se quiera alcanzar en la bobina Tesla, variando desde 8 KV hasta los 20 KV. Esto permite que se produzca o se alcance la tensión necesaria en el proceso de carga de los condensadores para poderse cerrar el circuito mediante el spark gap.

³ Google imágenes

3.3.4. Condensador primario

El condensador primario es una de las piezas más sensibles de este trabajo ya que tiene que soportar tensiones e intensidades muy altas y por consiguiente debe cumplir una serie de necesidades básicas para el correcto funcionamiento al ser una pieza esencial, ya que junto con el spark gap y la bobina primaria tienen que generar los pulsos de alta frecuencia:

1- Tener una alta resistencia dieléctrica, ya que el condensador debe soportar altos voltajes y si el material del condensador no tuviera una buena resistencia dieléctrica podría romperse el condensador.

2- Material dieléctrico por el cual está formado que soporte radiofrecuencias, ya que al estar sometido a radiofrecuencias, el dieléctrico está expuesto a cientos de miles de ciclos por segundo y por lo tanto la energía que circula por el condensador se convierte en calor y eso afecta a la estructura molecular del dieléctrico y por lo tanto que no tenga un comportamiento adecuado respecto la función que debe satisfacer en el circuito.

3.3.5. Bobina primaria

La bobina primaria es un arrollamiento de cable sobre sí mismo, el cual debe de ser de baja inductancia (μH) y gran conductividad eléctrica, al tener poca inductancia y ser un arrollamiento de pocas espiras, al generar el campo magnético y por lo tanto producirse un acoplamiento magnético con la bobina secundaria de cientos de espiras, se eleva mucho la tensión del circuito secundario. La bobina primaria se puede hacer de diferentes formas, forma plana, forma cónica, “invertida e incluso en forma de solenoide que resulta ser de las que suele tener mayor acoplamiento con la bobina secundaria ya que el flujo que atraviesa cubre mucha superficie. Es conveniente usar tubo de fontanería ya que usar cable macizo no vale la pena, a causa del aumento de coste del precio y el efecto *skin* ya que la corriente solo circula por la superficie del conductor.

Para nuestra bobina hemos utilizado 10 vueltas de cobre de 12 mm de diámetro arrollados de forma de espiral cónica invertida para aumentar el factor de acoplamiento entre la bobina

primaria y la secundaria, tampoco hemos querido usar un solenoide a causa de que un factor de acoplamiento (k) superior a 0.3 o 0.4 puede causar arcos entre las dos bobina a causa de la elevada tensión generada y por lo tanto podría darse el caso de quemarse el cable o el barniz de cable especial para bobinar (barnizado especial).

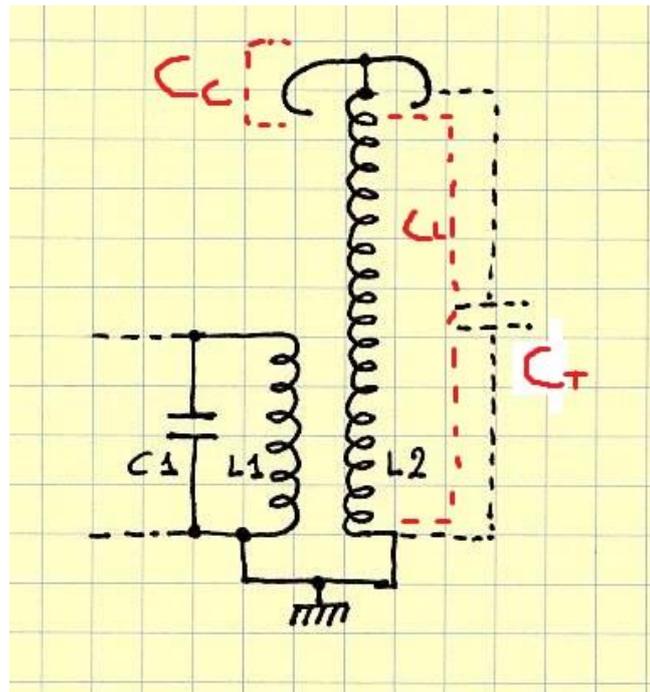
3.3.6. Bobina secundaria

La bobina secundaria junto con la primaria son el segundo transformador o el primer transformador dependiendo del circuito electrónico usado, de la bobina Tesla. La bobina secundaria es un gran solenoide en el cual se generan los altos voltajes y por lo tanto transmiten el voltaje al toroide y producen las descargas eléctricas, que es el objetivo principal de la bobina Tesla, al ionizar el aire, se vuelve conductor y por lo tanto se produce el efecto Tesla. Para construirla hemos usado un tubo de PVC de 0.5 metros de altura, el cual al ser un tubo resistente, de bajo coste y cilíndrico, nos servía para enrollar el cable de cobre sobre el tubo. Dicha bobina se devana con cable de cobre, desde calibres de 0.3 mm hasta 1 mm de diámetro. Para elegir el calibre se deben tener en cuenta diferentes aspectos, las dimensiones deseadas para la bobina y la potencia que habrá en el circuito ya que el cable debe resistir las corrientes que circulan por el circuito.

3.3.7. Condensador secundario

El condensador secundario es una de las partes que deben tenerse en cuenta para la construcción del circuito secundario, ya que nos proporcionarán la frecuencia de resonancia requerida. Para determinar el valor del condensador secundario, hemos de tener en cuenta diferentes aspectos, al circular mucha tensión en el circuito secundario hemos de considerar la capacitancia de la bobina secundaria, ya que al ser bobina igualmente al circular mucha tensión se almacena mucha energía o corrientes parásitas entre espira y espira y por lo tanto tendrá una capacitancia de picofaradios ($pF=1 * 10^{-12}$). También debemos tener cuenta que la descarga del toroide funcionara como un condensador también del orden de picofaradios. Al estar en paralelo estas “capacitancias” deben sumarse $C_1+C_2=C_T$ y nos darán la capacitancia

total. En este caso hemos usado un toroide como terminal superior ya que tienen grandes capacidades por su gran radio de curvatura externo, también gracias al toroide, podemos “jugar” un poco para facilitar las descargas del terminal superior, ya que si el toroide tiene dimensiones estrechas de sección se producen con mayor facilidad las descargas eléctricas. En nuestro caso hemos usado un toroide tubo corrugado ya que disminuye el coste de construcción de un toroide completamente liso y aporta resultados similares, hemos construido un toroide de 10 cm de sección de tubo y 42’649 cm de diámetro exterior.



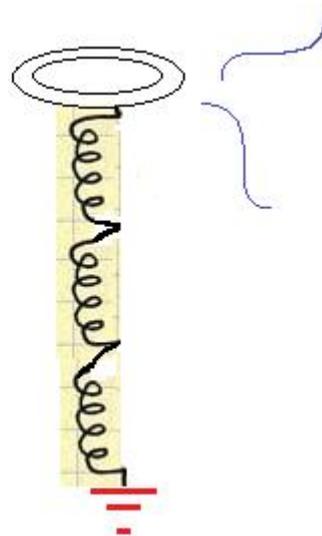
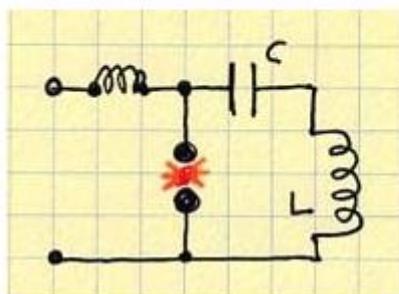
3.3.7. “Spark Gap” o explosor

El *spark Gap* en el circuito tiene varias funciones, genera la frecuencia oscilante amortiguada y al mismo tiempo funciona como un interruptor de alto voltaje del circuito primario, por decirlo de alguna manera más sencilla, es un “interruptor de potencia”. Para nuestro circuito hemos usado un *spark gap* estático, el cual consta de electrodos separados entre sí por una distancia que es directamente proporcional a la distancia de separación entre los dos electrodos y la tensión de ruptura del aire. Este tipo de *spark gap* tenía un inconveniente, que al usarlo muchas veces, las puntas de los electrodos se desgastaban y por lo tanto no

proporcionaban ni una tensión ni una frecuencia de disparo muy regulares, a pesar de eso hemos decidido usar este tipo por la sencillez y en el caso de que se desgastasen comprar nuevos electrodos por su bajo coste económico, ya que si usáramos la otra opción de *spark gap*, el *spark gap* rotatorio, el coste de la bobina Tesla aumenta mucho más al tener que usar un motor para poder girar el *spark gap* a unas determinadas rpm, por lo tanto, es verdad que garantiza un mayor rendimiento del *spark gap* ya que la frecuencia es controlada por la velocidad a la que se juntan los 4 electrodos, pero esto como ya hemos dicho subía mucho el precio.

3.3.9. Toma a tierra

La toma a tierra es la unión física entre el cable de la bobina Tesla ya puede ser del circuito primario como del secundario, con el suelo. La toma a tierra en una bobina Tesla cobra cierta importancia ya que al ser un nodo de voltaje cero, sirve para posibles cortocircuitos y también para que el circuito secundario pueda funcionar ya que son circuitos independientes el primario del secundario y por lo tanto para que funcione necesita un punto cero.

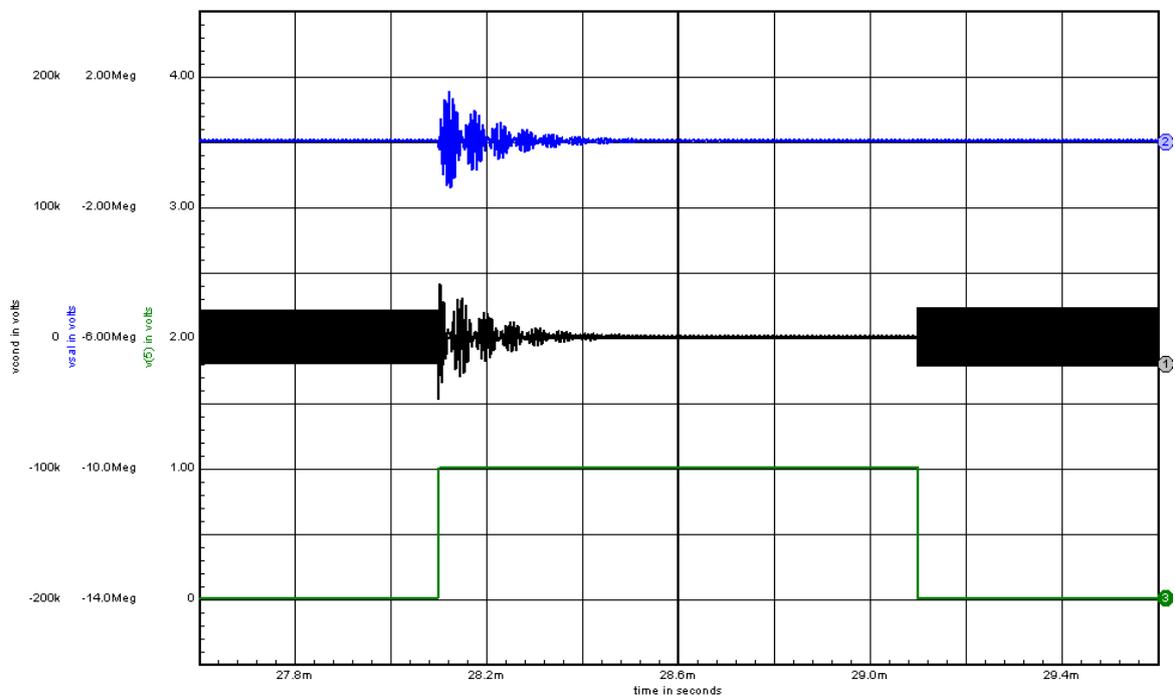


Como podemos observar para que el circuito secundario funcione y por lo tanto este “cerrado” necesita una toma a tierra.

3.4. Simulaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de telecomunicación, Universidad Pública de Navarra (SGTC)

3.4.1. Circuito simulado y Resultados de la simulación

Al no poseer de material para hacer simulaciones hemos optado por extraer las imágenes simuladas del comportamiento de un *spark gap* por la Universidad Pública de Navarra. Estos valores son similares al comportamiento teórico de nuestro *spark gap* pero con valores diferentes. Con estas simulaciones queremos dar a entender el comportamiento básico de un *spark gap*.



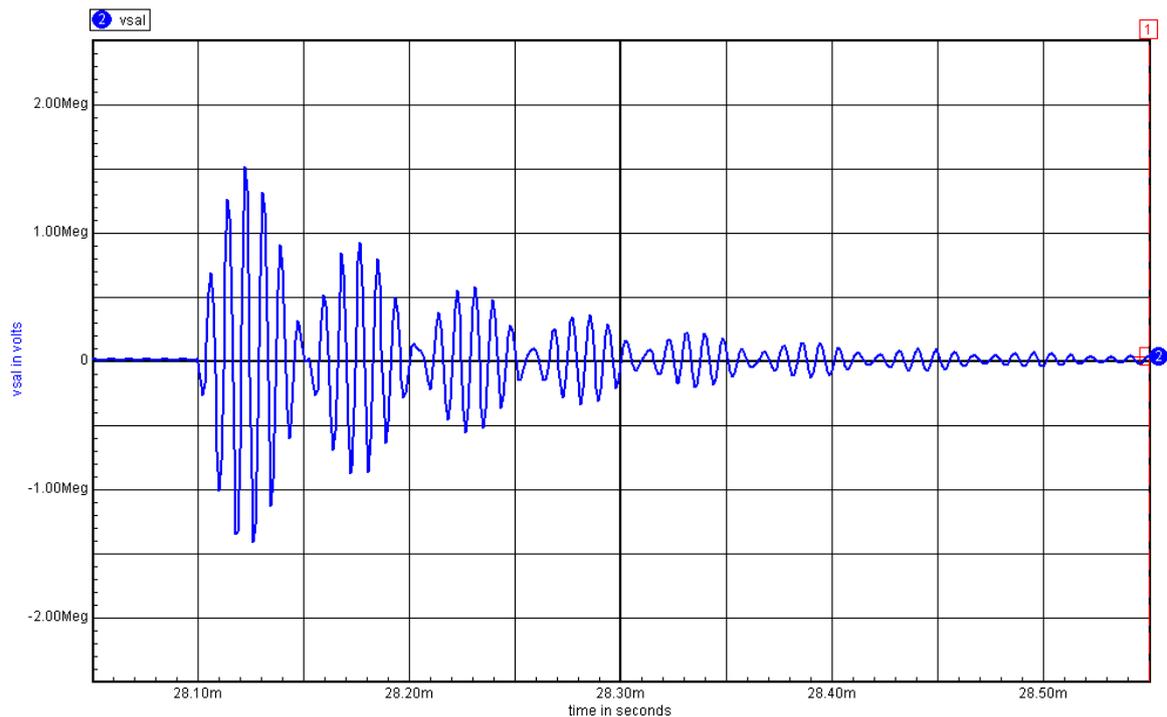
4

Como podemos observar, el *spark gap*, en la primera representación (color azul) genera una frecuencia oscilante amortiguada, ya que disminuye con el tiempo hasta hacerse cero, se hace cero la tensión cuando el *spark gap* abre el circuito, pero la frecuencia no se hace cero en el circuito secundario. En la segunda representación (color negro), ajustan esa frecuencia en ciclos, que empiezan desde cuando se genera hasta cuando se “vuelve prácticamente cero”, decimos prácticamente ya que siempre hay una frecuencia de oscilación en nuestro caso 50 Hz, por lo tanto lo representan con la barra negra. Para finalizar, la última

⁴ Imagen de la Universidad de Navarra

representación (color verde), “transforman” o representan la segunda representación (color negro), como una frecuencia de pulsos, para hacerlo más sencillo, podemos imaginarnos como si fueran 0 y 1, el cual el cero es cuando aún no se ha generado el aumento de frecuencia, y el 1 es cuando se genera y después disminuye hasta hacerse prácticamente nula por lo tanto un 0.

Imagen ampliada:



5

Para poder saberlo teóricamente, usan esta fórmula (esta ecuación proviene después de la aplicación de la ley de Kirchhoff).

$$v_2(t) = \frac{2kV_1}{\sqrt{(1-T)^2 + 4k^2T}} \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \sin\left(\frac{w_2 + w_1}{2} t\right) \sin\left(\frac{w_2 - w_1}{2} t\right)$$

⁵ Imagen de la Universidad de Navarra

“De esta manera podemos observar que en caso ideal que la $w_1=w_2$, las frecuencias que se generaban van desde los 225.000 Hz hasta los 0 Hz, los cuales han sido representados en las gráficas anteriores”⁶

$$\frac{w_2 + w_1}{2} = \frac{225000 + 225000}{2} = 225000Hz$$

$$\frac{w_2 - w_1}{2} = \frac{2250000 - 225000}{2} = 0Hz$$

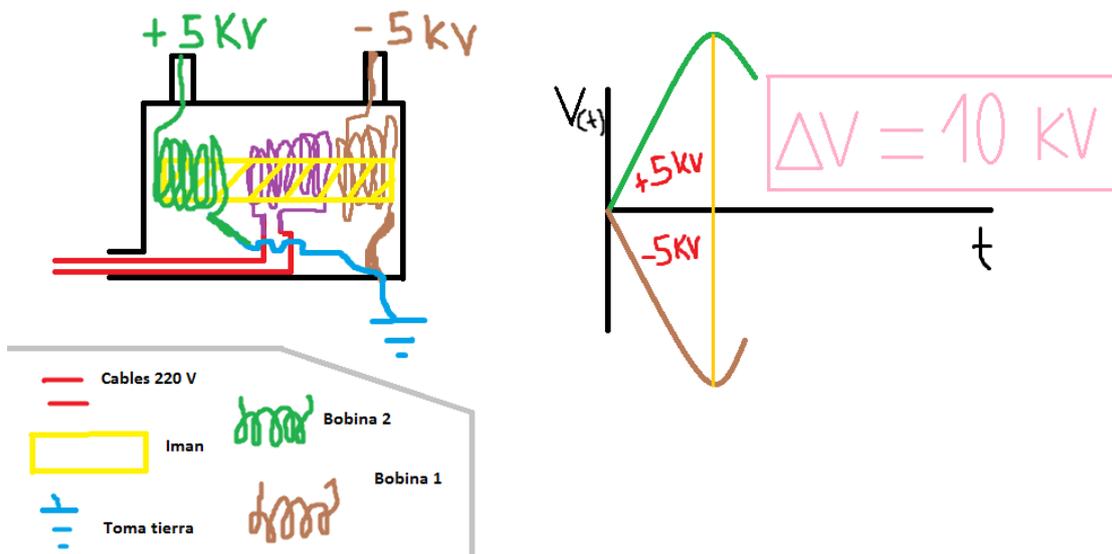
3.5. Cálculos de los elementos (SGTC)

En este apartado explicaré como he hecho cada elemento del circuito y que orden hemos seguido, ya que para poder hacerla, nosotros en nuestro caso seguimos un orden determinado a causa de que ya disponíamos de unos condensadores, lo cual reducía el coste de la construcción de la bobina Tesla. Todos estos cálculos son teóricos ya que realmente para hacerlo más exacto se tendrían que medir empíricamente todos los valores. Primero de todo calculamos la inductancia de la bobina primaria, al mismo tiempo que calculábamos la inductancia también pensamos en tener una alta frecuencia, la cual sería necesaria para la posterior práctica de la bobina Tesla con música (que ya explicaremos en su apartado correspondiente). Después de tener la frecuencia de resonancia, la capacidad del condensador primario y la inductancia de la bobina secundaria, calculamos la capacidad del circuito secundario requerida para que el circuito secundario resonara a la misma frecuencia que el circuito primario, al obtener el valor de la capacidad, calculamos la inductancia de la bobina secundaria para que resonara con dicha capacidad secundaria, al obtener la inductancia, calculamos la capacidad que tenía la bobina secundaria, cuando obtuvimos dicho valor, calculamos la diferencia que había entre la capacidad total y la capacidad del solenoide, dicha diferencia era la capacidad que necesitábamos que tuviera el toroide, entonces ara finalizar calculamos la capacidad del toroide.

⁶ Parágrafo escrito por un alumno de la Universidad de Navarra

3.5.1. Transformador de alta tensión

En nuestro caso escogimos el transformador basándonos en la corriente que podía soportar, dicha corriente era de 20 mA, por lo cual escogimos un transformador de 10 KV. Para tener un margen de seguridad nuestro circuito trabaja a 18 mA, lo cual nos da una potencia de trabajo de 180 W. Esta potencia era la perfecta para la finalidad de nuestro proyecto, ya que nos permitía poder realizar la práctica con público en una clase, la causa principal era porque las descargas de corona no son excesivamente grandes. Ahora vamos a explicar cómo funciona nuestro transformador con un esquema sencillo: Lo que hace es transformar de 220 V a 10 KV, usando este sistema.



De esta manera podríamos incluso solo escoger una salida del transformador y por lo cual obtendríamos una tensión de 5 KV. Como podemos deducir también la corriente que pueda soportar el transformador viene dada por la sección usada en su fabricación.

3.5.2. Condensador primario

El condensador primario lo calculamos usando 6 condensadores en serie entre ellos y en serie al circuito ya que de esa manera reducíamos la capacidad total del circuito primario y dividíamos la tensión que había en cada uno de los condensadores ya que estos tenían que

soportar una tensión total de 20 KV, el doble de tensión de la que daba el transformador 10 KV, como medida de seguridad. Cada condensador de $0.12 \mu\text{F}$ ($1 \cdot 10^{-6}$) soportaba una tensión máxima de 4.400 V y cada condensador de $1 \mu\text{F}$ soportaba una tensión máxima de 3.600 V lo cual nos daba que soportaban en total 24 KV, un valor que nos fue muy bien para evitar problemas.

$$C_t = \frac{1}{\frac{1}{C_T}} \quad C_t = \frac{1}{\left[\left(\frac{1}{0.12\mu\text{F}}\right) * 3\right] + \left[\left(\frac{1}{1\mu\text{F}}\right) * 3\right]}$$

$$C_t = 35'71 \text{ nF}$$

3.5.3. Bobina primaria

Primero de todo escogimos la forma de la bobina primaria y nos decantamos por escoger la bobina cónica invertida de Arquímedes, ya que nos proporcionaba mayor acoplamiento pero tampoco demasiado lo cual decidimos hacerla con un ángulo de 45° . Para determinar la inductancia necesaria lo hicimos a través de la frecuencia de resonancia, nosotros escogimos una frecuencia de resonancia de 132.892 Hz.

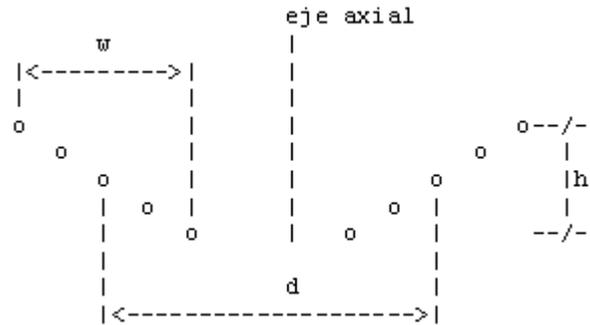
$$f_p = f_s = f = 132.892 \text{ Hz} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 * C_1}}$$

$$L_1 = \frac{1}{[(2\pi * f)^2] * C_1} = \frac{1}{[(2\pi * 132.892)^2] * 35'71 \text{ nF}} =$$

$$L_1 = 40'16 \mu\text{H}$$

Ya determinada la inductancia hay que calcular las dimensiones de la bobina primaria, debido a que la bobina secundaria tenía que ir en el interior de la bobina primaria y tenían que tener un margen como mínimo de 3 cm entre ellas, decidimos usar una bobina de 19 cm de diámetro interior ya que como ya disponíamos de un tubo de PVC de 16 cm de sección para la elaboración de la bobina secundaria, la cual solo debíamos determinar la altura y número de vueltas.

$$L = n^2 * d * \left(\frac{1}{40'8 + \left(112 * \frac{w}{d} \right)} \right)$$



n = Número de vueltas

d = Diámetro medio de la espira [cm]

$d = w + (\text{diámetro interior})$

w = Anchura de las espiras de un lado [cm]

$w = [(\text{diámetro del tubo}) * n] + (\text{separación entre})$

L = Inductancia de la bobina [μH]

$$L_1 = 10^2 * 40 * \left(\frac{1}{40'8 + \left(112 * \frac{21}{40} \right)} \right)$$

$$L_1 = 40'16 \mu H$$

w = 21 cm

d = 40 cm

n = 10 cm

Diámetro del tubo = 1'2 cm

Para acabar de determinar todos los datos que nos faltaban tuvimos que determinar la cantidad de cable que necesitábamos, 7 metros aproximadamente, dejamos un margen de 0.5 metros aproximadamente por si se hubiera dado el caso que después hubiéramos necesitado un poco más de cable.

También fue necesario calcular el valor de la resistencia del cable que iba a ser usado, ya que al trabajar el circuito primario a la frecuencia de resonancia, las reactancias se anulan y por lo tanto solo queda presente el valor de la resistencia del cable, y por lo tanto había que tener en cuenta este factor ya que si no podían generarse corrientes importantes en el circuito y podía suponer un problema.

$$R = \rho * \frac{L}{S}$$

$$R = 1'71 * 10^{-8} * \frac{6'5}{\left[\pi * \left(\frac{0'012}{2} \right)^2 \right]}$$

$$R = 9'83 * 10^{-4} \Omega$$

3.5.4. Bobina secundaria

Para construir la bobina secundaria utilizamos un calibre de cable de 0.723 mm que son 21 AWG. El cable para dicha bobina lo tuvimos que comprar especial para eso, ya que para bobinar necesitábamos cable de “bobinar”, normalmente este tipo de cable es el que se usa para construir transformadores. Después para poder bobinar el cable utilizamos un tubo cilíndrico de PVC que colocamos en un torno para que lo fuera girando a medida que bobinábamos, tardamos entre 2 y 3 horas para hacer solamente el bobinado sin contar el tiempo en que tardamos en hacer el torno, ya que era nuestra primera vez que lo hacíamos. Al finalizar el bobinado, barnizamos la bobina para recubrir de otra “película” la bobina, la cual le garantizaba más protección al cable y lo mantenía unido sin que se moviera. La bobina era de 490 vueltas, de un radio interior de 8 cm y una altura total de 0.5 m con un margen de 0'05 m ya que la bobina realmente tenía 0.35 m de altura.

$$\text{Altura teórica} = \text{Calibre del conductor} * N^{\circ}\text{Espiras}$$

$$\text{Altura teórica} = 0'723\text{mm} * 490 \text{ vueltas}$$

$$\text{Altura teórica} = 0'35427\text{m}$$

Pero antes de saber el número de espiras tuvimos que calcular la inductancia de la bobina secundaria, la cual calculamos con la fórmula desarrollada proveniente de la ley de Ampere la cual la pudimos aplicar ya que la altura de la bobina comparada con el radio era muy larga, con una relación de 4'43 (35'42 cm / 8 cm).

B = Campo magnético [H]

μ = Permeabilidad magnética [$\frac{T*m}{A}$]

N = Número de espiras [m]

A = Sección transversal [m^2]

l = Altura de la bobina solenoidal [m]

$$L = \mu * \frac{N^2 * A}{l}$$

Después de aplicarla:

$$L_2 = (4 * \pi * 10^{-7}) * \frac{(490^2) * [\pi * (0'08^2)]}{0'35}$$

N = 490 espiras

$$L_2 = 53'79 \text{ mH}$$

$$A = \pi * (0'08^2) \text{ m}^2$$

$$A = \pi * r^2$$

$$l = 0'35 \text{ m}$$

Después de calcular la inductancia de la bobina secundaria, tuvimos que calcular la capacidad de esta bobina, con una fórmula que obtuvimos de una Universidad:

$$C = 0'29H + 0'41R + 1'94 \sqrt{\frac{R^3}{H}} \quad ^7$$

H = Altura de la bobina [pulgadas]

R = Radio de la bobina [pulgadas]

$$C_2 = 0'29 * (13'948) + 0'41 * (3'1496) + 1'94 \sqrt{\frac{3'1496^3}{13'948}}$$

$$C_2 = 8'23 \text{ pF}$$

H = 35'427 cm = 13'948 inches

R = 8 cm = 3'1496 inches

Una vez calculamos todo esto, era necesario calcular la cantidad de cable que necesitamos comprar para poder construirla:

$$\text{Longitud} = [(2\pi r) * \text{Numero de espiras}]$$

$$L = [(2\pi * 0.08) * 490]$$

$$L = 246'31 \text{ m}$$

⁷ Fórmula de la Universidad del Valle, en Colombia

Y para acabar de finalizar todos los datos sobre la bobina secundaria, calculamos la resistencia en ohmios:

$$R = \rho * \frac{L}{S}$$

$$R = 1'71 * 10^{-8} * \frac{246'3}{\left[\pi * \left(\frac{0'723 * 10^{-3}}{2} \right)^2 \right]}$$

$$R = 10'26 \Omega$$

$\rho = \text{Resistividad del cable (cobre en este caso)} [\Omega \cdot \text{m}]$

$L = \text{Longitud del cable [m]}$

$S = \text{Sección transversal del cable [m}^2\text{]}$

3.5.5. Condensador secundario

Para poder saber el valor de la capacidad requerida en el circuito secundario, necesitábamos calcularla a través de la igualación de las reactancias, tanto capacitivas como inductivas, que viene a ser como se calcula la frecuencia de resonancia, pero en este caso aislamos la capacidad para saber qué capacidad necesitábamos para que el circuito resonara a la misma frecuencia de resonancia que el circuito primario:

$$f = 132.892 \text{ Hz}$$

$$L_2 = 53'79 * 10^{-3}$$

$$C_1 = \frac{1}{(2\pi f)^2 * L_1}$$

$$C_1 = \frac{1}{(2\pi * 132.892)^2 * 53'79 * 10^{-3}}$$

$$C_1 = 26'67 \text{ pF}$$

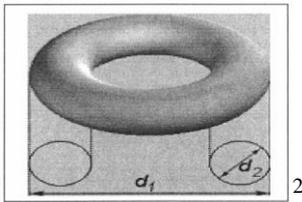
Por lo tanto, después de que calculáramos la capacidad que se necesitaba en el circuito secundario, tuvimos que calcular la capacidad del toroide que necesitavamos para que se estableciera dicha capacidad requerida. Sabiendo que ya teníamos la capacidad del solenoide o bobina primaria solo teníamos que calcular la diferencia entre la capacidad total y la capacidad de la bobina secundaria ($C_{\text{toroide}} = C_T - C_{L2}$). De esa manera nos daba:

$$C_{\text{toroide}} = 26'67 \text{ pF} - 8'24 \text{ pF}$$

$$C_{\text{toroide}} = 18'42 \text{ pF}$$

A continuación tuvimos que calcular la capacidad del toroide usando una fórmula que obtuvimos de un artículo referente a una asignatura de una Universidad:

$$C_{toroide} = 1'4 * \left(1'2781 - \frac{d_2}{d_1}\right) * \sqrt{\pi * d_2 * (d_1 - d_2)} \quad 1$$



d_2 = Sección transversal [pulgadas]

d_1 = Diámetro del toroide [pulgadas]

$$C_{toroide} = 1'4 * \left(1'2781 - \frac{3'937}{16'7910}\right) * \sqrt{\pi * 3'937 * (16'7910 - 3'937)}$$

$$C_{toroide} = 18'42260453 \text{ pF}$$

$$d_1 = 42'649 \text{ cm} = 16'7910 \text{ inches(pulgadas)}$$

$$d_2 = 10 \text{ cm} = 3'937 \text{ inches(pulgadas)}$$

La d_1 y la d_2 las obtuvimos basándonos en el tipo y la cantidad de tubo corrugado del que disponíamos (también teniendo en cuenta el radio que queríamos tener para el toroide). La $d_1 = 2\pi r = 2\pi * 21'3245 = 1'34 \text{ m}$.

Al obtener este valor nos dimos cuenta que existía un error pequeño el cual significaba que no era exacto pero era un valor muy aproximado, este error se debía a que nosotros disponíamos solo de una determinada cantidad de tubo corrugado; a pesar de este error

¹ i ¹⁰ Energía y Computación, Volumen X, N°2-Segundo Semestre de 2001-Edición N°18 (Universidad del Valle)

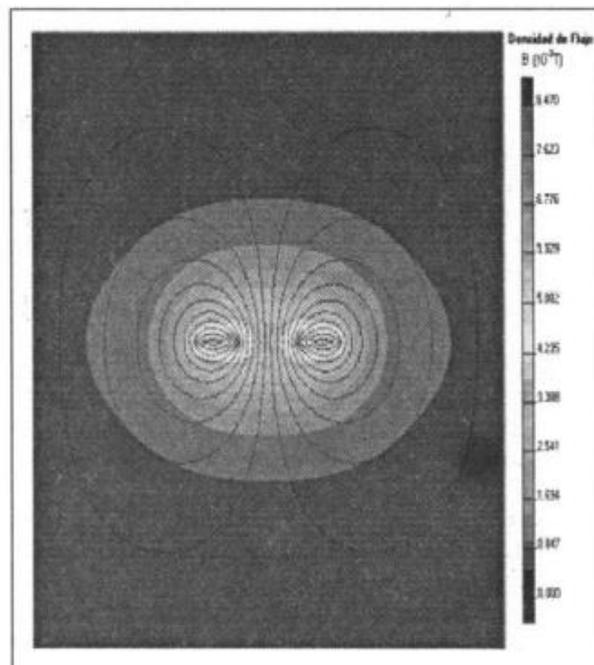
dejamos este valor de capacidad, ya que no iba a afectar prácticamente nada en el resultado de la práctica.

$$Error = 18'422641252 \text{ pF} - 18'42260453 \text{ pF}$$

$$Error = 0'00003672 \text{ pF}$$

En este caso es necesario poner todos los decimales para poder ver claramente el error.

Campo magnético creado por el toroide (ejemplo de toroide, campo magnético representado por el programa “ElCut”):



3

³ Energía y Computación, Volumen X, N°2-Segundo Semestre de 2001-Edición N°18 (Universidad del Valle)

3.5.6. “Spark Gap” o explosor

Para la elaboración del *spark gap* tuvimos que tener en cuenta la tensión que había en el circuito primario y la tensión de ruptura. Primero de todo para poder construir el *spark gap* tuvimos que comprar tornillos que eran los que hacían la función de electrodos, los tornillos los compramos con una “cabeza” de superficie grande ya que a mayor superficie aumenta el rendimiento de disparo del *spark gap* ya que tiene más superficie donde impactar. Después de haber comprado los electrodos calculamos la distancia de separación que tenía que haber entre ellos, sabiendo que la tensión de ruptura del aire seco es de 3.000V/mm:

$$\text{Distancia de separación} = \frac{\Delta V}{\text{Rigidez dieléctrica del aire seco}}$$

$$\text{Distancia de separación} = \frac{10.000}{3.000}$$

$$\text{Distancia de separación} = 3'33 \text{ mm}$$

Para asegurarnos pusimos 2'6 mm de separación ya que la tensión de 10 KV sería en un caso ideal y de esta manera nos aseguramos un correcto funcionamiento.

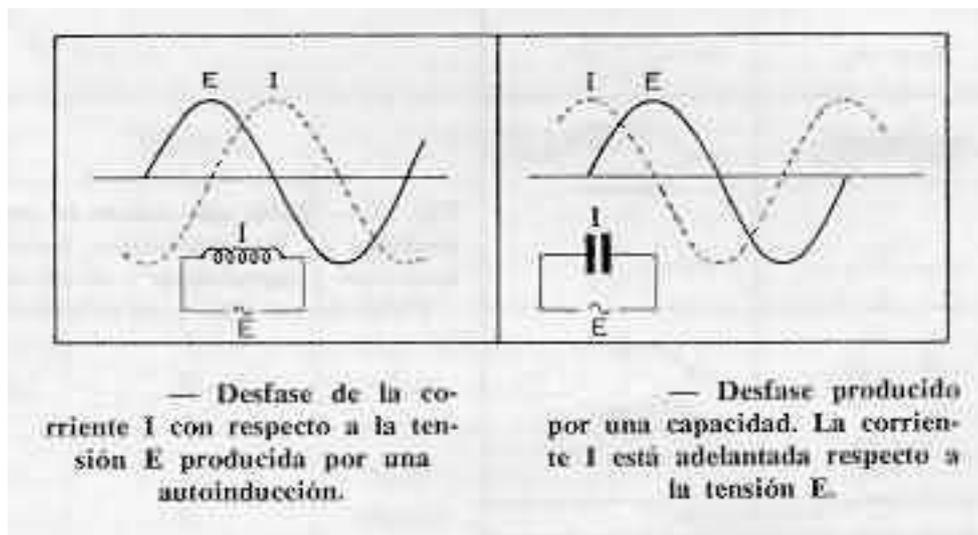
3.6. Medidas necesarias para el circuito (SGTC)

En este apartado vamos a resolver algunos de los datos los cuales no hemos resuelto en otros apartados, ya que eran necesarios saber pero hemos preferido separar para poder explicar mejor de donde provienen y sus funciones y resultados como por ejemplo cuando hemos definido el valor de los condensadores e inductancias a partir de la frecuencia de resonancia la cual no hemos definido de dónde provenía la fórmula y el porqué de su resultado, refiriéndome al resultado de porqué queremos que resuenen los circuitos primario y secundario.

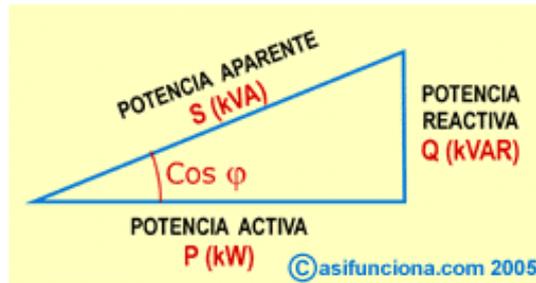
3.6.1. Introducción a la resonancia

(Todos los cálculos están basados en circuito serie RLC, ya que la bobina Tesla en nuestro caso, es un circuito RLC en serie.)

La frecuencia de resonancia de un circuito se establece cuando las impedancias (parte imaginaria) capacitivas e inductivas son iguales. Al poner un circuito resonante ya estableces que haya en el circuito una bobina y un condensador como mínimo, por lo tanto podremos decir que no habrá mucho desfase dependiendo de los cálculos. Cuando hay un condensador y una bobina no se produce ningún tipo de desfase de tensión respecto de la intensidad, lo cual eso garantiza una potencia neta máxima, eso sería en caso ideal porque siempre hay algún tipo de error, ni que sea de muy poco. Los condensadores producen un retraso de la tensión respecto de la corriente y las bobinas producen un adelanto de la tensión respecto de la corriente.



Como podemos observar para que se produjera un rendimiento máximo, la corriente y la tensión tendrían que ir juntos y no desfasados un ángulo de 90° . Esto lo podemos explicar mediante el uso del triángulo de potencias:



$$\cos \theta = \frac{P}{S}$$

Por lo tanto, para que hubiera un rendimiento máximo, no tendría que haber ningún tipo de desfase angular. Para evitar ese tipo de desfase de 90° , lo que se hace es poner una bobina y un condensador juntos para que se igualen y por lo tanto que vayan la corriente y tensión juntos.

Pero hay también otra razón principal, que es en la que se basa el circuito de la bobina Tesla, al resonar, como las reactancias (reactancia = parte imaginaria) capacitivas e inductivas son iguales la “resistencia” de dicha bobina y condensador se vuelve nula y solo queda como resistencia el valor de la resistencia del cable o materiales del condensador. A continuación vamos a demostrar el porqué:

Z = Impedancia	$Z_L = R_L + jX_L$	$Z_L = R_L + j(\omega * L)$
X = Reactancia	$Z_C = R_C + X_C$	$Z_C = R_C - \left(j \frac{1}{(\omega * C)} \right)$
$j = \sqrt{-1}$		

Como podemos observar, como lo que queremos es calcular la impedancia total del circuito RLC en serie, sumamos las reactancias:

$$X_T = X_L + X_C \rightarrow X_T = j(\omega * L) - j \frac{1}{(\omega * C)} \rightarrow X_T = j(\omega * L) - \frac{j}{(\omega * C)}$$

$$X_T = j \left[(\omega * L) - \frac{1}{(\omega * C)} \right] \quad (\omega * L) = \frac{1}{(\omega * C)} \rightarrow Z_T = (R_L + R_C) + (0)$$

$$\boxed{Z_T = (R_L + R_C)}$$

Como lo que queríamos es que el circuito RLC en serie resonara, eso significaba que las reactancias capacitivas e inductivas tenían que ser iguales, por lo tanto, al hacer la diferencia se anulan entre ellas y como habíamos dicho, el valor total de la impedancia pasa a ser la propia resistencia física de los materiales que componen la bobina y el condensador. ¿Pero cómo podemos saber qué capacidad o que inductancia es necesaria poner en un circuito para que este resuene? Porque lo que hemos hecho hasta ahora ha sido demostrar porque se reducen las impedancias hasta su valor mínimo en resistencia, a continuación vamos a demostrar cómo podemos calcular esos valores:

1- Como habíamos dicho para que resonara un circuito las reactancias inductivas y capacitivas debían ser iguales, por lo tanto, lo primero de todo es igualarlas a partir de la reactancia total del circuito que ya hemos calculado previamente y después aislar la frecuencia.

$$X_T = j \left[(w * L) - \frac{1}{(w * C)} \right] \rightarrow X_T = 0 \rightarrow (w * L) - \frac{1}{(w * C)} = 0$$

$$(w * L) = \frac{1}{(w * C)} \rightarrow w = 2\pi f \rightarrow 2\pi f * L = \frac{1}{2\pi f * C} \rightarrow (2\pi f)^2 * L * C = 1$$

$$(2\pi f)^2 = \frac{1}{L * C} \rightarrow \sqrt{(2\pi f)^2} = \sqrt{\frac{1}{L * C}} \quad \boxed{f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L * C}}}$$

De esta manera sabríamos a la frecuencia que resonaría un circuito RLC en serie. Y como ahora podemos observar, para saber el valor de la inductancia o capacitancia requerida solamente tenemos que aislarlas. Siendo como valor final:

$$\boxed{L = \frac{1}{[(2\pi * f)^2] * C} \quad C = \frac{1}{[(2\pi * f)^2] * L}}$$

3.6.1.1. Frecuencia de resonancia (doble circuito resonante)

Cuando estuvimos realizando el estudio del esquema eléctrico de la bobina Tesla, nos dimos cuenta que el circuito estaba dividido en dos, por lo tanto, se transfería la frecuencia del circuito primario al secundario y por lo tanto al haber una frecuencia en el circuito primario que provocara la resonancia, en el circuito secundario también habían una bobina y un condensador, con lo que si no estaban sintonizados a la misma frecuencia iban a haber pérdidas de potencia en el circuito. Por lo tanto, para aumentar el rendimiento de “trabajo” de los dos circuitos, tuvimos que hacer los cálculos para que en el circuito secundario tuviera la misma frecuencia de resonancia que en el circuito primario y por lo tanto muy pocas pérdidas, ya que todos los cálculos son en casos ideales, con eso queremos dar a entender que por ejemplo al construir el toroide siempre pueden fallar mm de radio, o también que en el *spark gap* falten unos pocos mm de separación entre bornes, etc...

Simplemente se tendría que igualar las frecuencias de resonancia del circuito primario y secundario y luego hacer lo mismo que en el punto anterior, como ya hemos dicho:

$$f_p = f_s = 132.892 \text{ Hz}$$

3.6.2. Tensión transformada (circuito secundario)

Como hemos podido estar observando en los primeros apartados de la bobina Tesla, hay dos circuitos, en el primario, hay un transformador que eleva la tensión de 220 V hasta 10.000 V.

En el secundario se produce el mismo principio pero con más pérdidas, ya que el transformador es de núcleo de aire y no hay mucho factor de acoplamiento (entre 0'1 y 0'2 K (se le designa esta letra al factor de acoplamiento)), con lo cual hay muchas pérdidas. En todo caso, nosotros quisimos saber la tensión máxima que iba a ser inducida en el circuito secundario en un caso ideal.

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad P_1 = P_2$$

$$\frac{10}{490} = \frac{10.000}{V_2} = \frac{I_2}{18mA}$$

$$\begin{aligned} V_2 &= 490.000 \text{ voltios} & P_1 &= 180 \text{ W} \\ I_2 &= 0'37 \text{ mA} & P_2 &= 180 \text{ W} \end{aligned}$$

Al ser en caso ideal, no se suponen ningún tipo de pérdidas y también suponiendo que el transformador tiene un factor de acoplamiento 1, como podemos entender son casos demasiado ideales. Lo cual consideraremos de esos 490 KV la mitad, (también siguen siendo valores ficticios, pero es una manera de tener una idea de cuanta tensión habrá en el circuito secundario, ya que no vamos a medir por razones de seguridad ya que es nuestra primera bobina Tesla y no queremos arriesgarnos tanto).

3.6.3. Longitud de la descarga de corona

La longitud de las descargas de corona viene dada por la relación intensidad y tensión, lo que viene a ser la potencia. Para poder saber una longitud aproximada de las descargas eléctricas se puede aplicar esta fórmula:

$$L = 1'7\sqrt{P^1}$$

Esta es una fórmula que proporciona una medida aproximada, la longitud resultante de esta fórmula es en pulgadas, por lo tanto en nuestro caso nos daba una longitud de:

$$L = 1'7\sqrt{180}$$

¹ Fórmula de internet, en muchos foros vimos esta fórmula, no podemos asegurar que sea del todo correcto, simplemente la hemos usado para ver qué valor teórico nos proporcionaba.

$$L = 22'81 \text{ inches} = 57'937 \text{ cm}$$

Como ya hemos dicho en caso ideal. También hay que tener en cuenta que cuando se produce una descarga de corona *“esto forma una “raíz” de plasma caliente muy conductora, llamada chispa directora que se proyecta hacia el exterior del toroide. El plasma en esta “conductora” está considerablemente más caliente que una descarga de corona, y es considerablemente más conductora. De hecho, tiene propiedades similares a un arco eléctrico. La conductora se bifurca en miles de descargas mucho más finas, similares a cabellos, llamadas streamers.”*²

3.6.4. Intensidad del circuito primario

En este caso la intensidad del circuito primario no iba a suponer mucho problema ya que el circuito antes de que llegaran a haber intensidades considerables, se “fugaban” por el secundario en forma de descarga de corona. Cabe decir que en realidad sí que tuvimos algún problema la primera vez que la probamos pero bastó con limitar la corriente añadiéndole alguna capacidad más. Tampoco le dimos mucha importancia ya que después en la bobina Tesla con música era más fácil de controlar este problema, ya que con el puente en H (se explica en su correspondiente apartado) se pueden controlar más este tipo de problemas.

3.7. Seguridad y precauciones

Dado que había que trabajar con altas tensiones y fuertes campos magnéticos, tuvimos que tener en cuenta bastantes aspectos de seguridad:

- Colocar los cables a una cierta distancia, ya que, por ejemplo, los cables del circuito primario tienen una diferencia de potencial de 10 KV, lo cual si están bastante pueden comportarse como dos placas con una diferencia de potencial, el cual significa, que

² Wikipedia (Bobina Tesla)

crean un campo eléctrico y por consecuencia una fuerza eléctrica:

$$\Delta V = E * d \quad E = \frac{\Delta V}{d}$$

En nuestro caso, al ser corriente alterna, se producen $\Delta V = 10 \text{ KV}$ y si además están a una distancia de 10 cm:

$$E = \frac{10.000}{0'1} \quad E = 100.000 \frac{N}{C}$$

Como podemos ver, el campo eléctrico es muy fuerte y por lo tanto imaginémonos si ese campo estuviera ejercido sobre un electrón ($q_e = 1'602 * 10^{-19} \text{ C}$):

$$F_E = E * q \quad F_E = 100.000 * 1'602 * 10^{-19}$$

$$F_E = 1'602 * 10^{-14} \text{ N}$$

Si consideramos que la intensidad era de 18 mA y en un tiempo de 5 segundos: (1 Culombio = $6'241509 * 10^{18} e^-$)

$$I = \frac{q}{t} \quad \longrightarrow \quad q = I * t$$

$$q = 18 * 10^{-3} * 5$$

$$q = 0'09 \text{ Culombios} = 5'62 * 10^{17} e^-$$

Con lo cual si ahora consideramos la fuerza eléctrica sobre los 0'09 Culombios, la fuerza sería de:

$$F_E = 100.000 * 5'62 * 10^{17}$$

$$F_E = 5'62 * 10^{22} \text{ N}$$

De esta forma ya podemos apreciar más el valor de la fuerza causada entre dos conductores a una distancia de 3 mm. También tener en cuenta si hay algún cable que no está bien aislado, ya que la tensión de ruptura del aire seco de 3.000V/mm y por lo tanto los cables tendrían que tener un mínimo de separación ya que si no podrían estar dos cables no aislados muy juntos, ya que podrían saltar arcos voltaicos.

Lo mismo sucede también con el campo magnético, ya que al circular una corriente por un conductor se crea un campo magnético, el cual podremos saber la fuerza magnética que ejerce el campo magnético en un punto, a partir de la ley de Lorentz:

$$\vec{F}_B = q * \vec{v} \times \vec{B} \quad ^3$$

A continuación vamos a aplicar dicha ley en un conductor rectilíneo, el cual también sabremos la dirección del campo magnético por la ley de la mano derecha:

$$I = \frac{dq}{dt}$$

$$\vec{v} = \frac{d\vec{l}}{dt}$$

Consideramos que todos los electrones van a la misma velocidad.

Sustituimos la carga.

$$d\vec{F}_B = dq * \vec{v} \times \vec{B} = I * dt * \vec{v} \times \vec{B} = I * d\vec{l} \times \vec{B}$$

Si suponemos que el campo magnético y la intensidad son constantes:

$$\vec{F}_B = \int d\vec{F}_B = \int I * d\vec{l} \times \vec{B} = I * \vec{l} \times \vec{B}$$

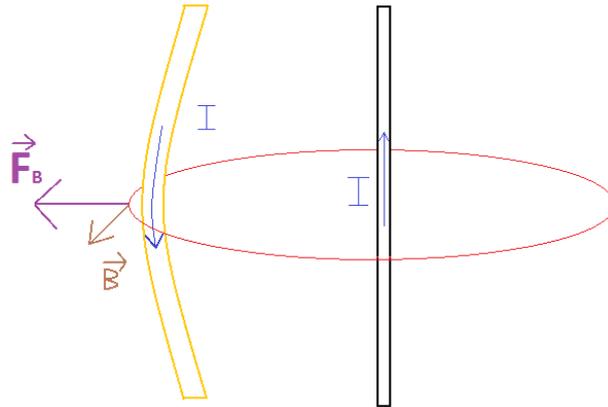
Con lo cual obtenemos:

$$\vec{F}_B = I * \vec{l} \times \vec{B} \longrightarrow F_B = I * l * B * \sin\theta$$

Ahora que ya podemos saber la fuerza que van a ejercer los conductores:

³ "Projecte La Casa del Saber – Física 2 BATXILLERAT – Tema 4 (El camp magnètic)"

En esta imagen no consideramos el campo magnético creado por el otro cable, ya que se crea el mismo efecto, por lo tanto, realmente también se doblaría el otro cable.



Por lo tanto imaginemos, que en nuestra bobina tesla tenemos los cables del circuito primario y los cables que vienen de la bobina secundaria hacia la toma tierra, si estos estuvieran a una distancia por ejemplo de 10 cm y circulara una corriente a través del conductor de 18 mA.

El campo magnético creado por un conductor es (consideramos como permeabilidad magnética la del vacío):

$$B = \frac{\mu}{2\pi} * \frac{I}{d} \qquad B = \frac{4\pi * 10^{-7}}{2\pi} * \frac{18 * 10^{-3}}{0'1}$$

$$B = 3'6 * 10^{-8} T$$

Con lo cual la fuerza ejercida sobre el cable (consideramos una longitud de cable de 10 cm) es de:

Suponemos que el ángulo entre el campo y el cable es de 90°.

$$F_B = I * l * B * \sin\theta$$

$$F_B = 18 * 10^{-3} * 0'1 * 3'6 * 10^{-8}$$

$$F_B = 6'48 * 10^{-11} N$$

Comparado con la fuerza generada por el campo eléctrico, la fuerza generada por el campo magnético es mucho menor.

CONSEJOS:

- Cuando se apague la bobina, los condensadores pueden quedar cargados, así que como medida de precaución, habría que descárgalos con alguna resistencia en paralelo el cual se pueda conectar con algún interruptor.
- No se debe mirar directamente a las chispas del *spark gap* ya que su alta intensidad lumínica puede provocar lesiones en los ojos e incluso la pérdida parcial o total de la visión.
- Cuando la bobina Tesla esté en funcionamiento, no se debe acercarse a nadie ya que, por ejemplo, un aparato electrónico al estar expuesto a las radiofrecuencias puede sufrir daños y por lo tanto romperse.
- **MUY IMPORTANTE:** Las descargas eléctricas del toroide ionizan el oxígeno del aire produciendo **ozono**, el cual es tóxico. Por lo tanto, es conveniente esperar un rato antes de acceder en la zona donde se han producido las descargas eléctricas, por lo tanto, tampoco hay que tener mucho rato encendida la bobina Tesla.

3.5.6. “Spark Gap” o explosor

Para la elaboración del *spark gap* tuvimos que tener en cuenta la tensión que había en el circuito primario y la tensión de ruptura. Primero de todo para poder construir el *spark gap* tuvimos que comprar tornillos que eran los que hacían la función de electrodos, los tornillos los compramos con una “cabeza” de superficie grande ya que a mayor superficie aumenta el rendimiento de disparo del *spark gap* ya que tiene más superficie donde impactar. Después de haber comprado los electrodos calculamos la distancia de separación que tenía que haber entre ellos, sabiendo que la tensión de ruptura del aire seco es de 3.000V/mm:

$$\text{Distancia de separación} = \frac{\Delta V}{\text{Rigidez dieléctrica del aire seco}}$$

$$\text{Distancia de separación} = \frac{10.000}{3.000}$$

$$\text{Distancia de separación} = 3'33 \text{ mm}$$

Para asegurarnos pusimos 2'6 mm de separación ya que la tensión de 10 KV sería en un caso ideal y de esta manera nos aseguramos un correcto funcionamiento.

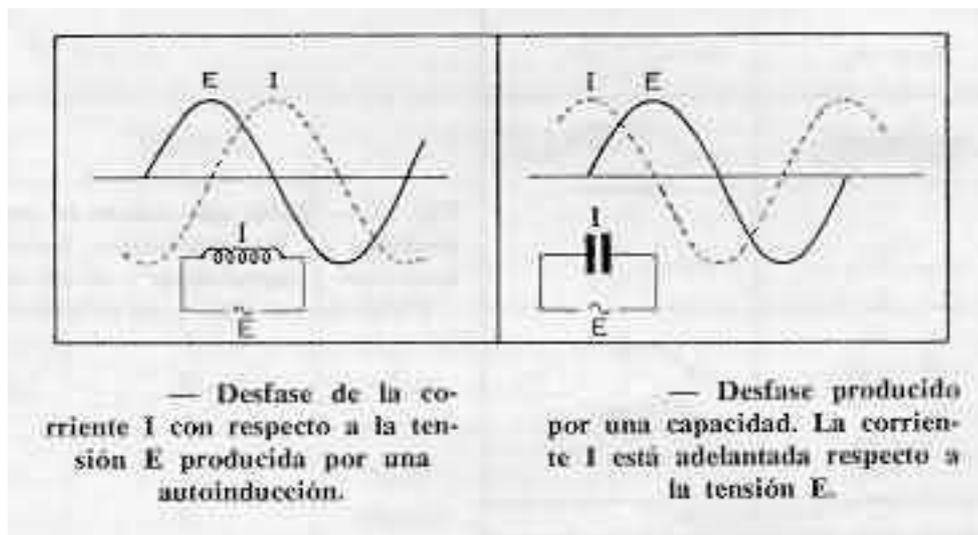
3.6. Medidas necesarias para el circuito (SGTC)

En este apartado vamos a resolver algunos de los datos los cuales no hemos resuelto en otros apartados, ya que eran necesarios saber pero hemos preferido separar para poder explicar mejor de donde provienen y sus funciones y resultados como por ejemplo cuando hemos definido el valor de los condensadores e inductancias a partir de la frecuencia de resonancia la cual no hemos definido de dónde provenía la fórmula y el porqué de su resultado, refiriéndome al resultado de porqué queremos que resuenen los circuitos primario y secundario.

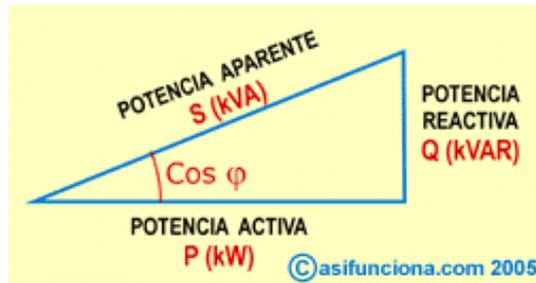
3.6.1. Introducción a la resonancia

(Todos los cálculos están basados en circuito serie RLC, ya que la bobina Tesla en nuestro caso, es un circuito RLC en serie.)

La frecuencia de resonancia de un circuito se establece cuando las impedancias (parte imaginaria) capacitivas e inductivas son iguales. Al poner un circuito resonante ya estableces que haya en el circuito una bobina y un condensador como mínimo, por lo tanto podremos decir que no habrá mucho desfase dependiendo de los cálculos. Cuando hay un condensador y una bobina no se produce ningún tipo de desfase de tensión respecto de la intensidad, lo cual eso garantiza una potencia neta máxima, eso sería en caso ideal porque siempre hay algún tipo de error, ni que sea de muy poco. Los condensadores producen un retraso de la tensión respecto de la corriente y las bobinas producen un adelanto de la tensión respecto de la corriente.



Como podemos observar para que se produjera un rendimiento máximo, la corriente y la tensión tendrían que ir juntos y no desfasados un ángulo de 90° . Esto lo podemos explicar mediante el uso del triángulo de potencias:



$$\cos\theta = \frac{P}{S}$$

Por lo tanto, para que hubiera un rendimiento máximo, no tendría que haber ningún tipo de desfase angular. Para evitar ese tipo de desfase de 90°, lo que se hace es poner una bobina y un condensador juntos para que se igualen y por lo tanto que vayan la corriente y tensión juntos.

Pero hay también otra razón principal, que es en la que se basa el circuito de la bobina Tesla, al resonar, como las reactancias (reactancia = parte imaginaria) capacitivas e inductivas son iguales la “resistencia” de dicha bobina y condensador se vuelve nula y solo queda como resistencia el valor de la resistencia del cable o materiales del condensador. A continuación vamos a demostrar el porqué:

Z = Impedancia	$Z_L = R_L + jX_L$	$Z_L = R_L + j(\omega * L)$
X = Reactancia	$Z_C = R_C + X_C$	$Z_C = R_C - \left(j \frac{1}{(\omega * C)}\right)$
$j = \sqrt{-1}$		

Como podemos observar, como lo que queremos es calcular la impedancia total del circuito RLC en serie, sumamos las reactancias:

$$X_T = X_L + X_C \rightarrow X_T = j(\omega * L) - j \frac{1}{(\omega * C)} \rightarrow X_T = j(\omega * L) - \frac{j}{(\omega * C)}$$

$$X_T = j \left[(\omega * L) - \frac{1}{(\omega * C)} \right] \quad (\omega * L) = \frac{1}{(\omega * C)} \rightarrow Z_T = (R_L + R_C) + (0)$$

$$\boxed{Z_T = (R_L + R_C)}$$

Como lo que queríamos es que el circuito RLC en serie resonara, eso significaba que las reactancias capacitivas e inductivas tenían que ser iguales, por lo tanto, al hacer la diferencia se anulan entre ellas y como habíamos dicho, el valor total de la impedancia pasa a ser la propia resistencia física de los materiales que componen la bobina y el condensador. ¿Pero cómo podemos saber qué capacidad o que inductancia es necesaria poner en un circuito para que este resuene? Porque lo que hemos hecho hasta ahora ha sido demostrar porque se reducen las impedancias hasta su valor mínimo en resistencia, a continuación vamos a demostrar cómo podemos calcular esos valores:

1- Como habíamos dicho para que resonara un circuito las reactancias inductivas y capacitivas debían ser iguales, por lo tanto, lo primero de todo es igualarlas a partir de la reactancia total del circuito que ya hemos calculado previamente y después aislar la frecuencia.

$$X_T = j \left[(\omega * L) - \frac{1}{(\omega * C)} \right] \rightarrow X_T = 0 \rightarrow (\omega * L) - \frac{1}{(\omega * C)} = 0$$

$$(\omega * L) = \frac{1}{(\omega * C)} \rightarrow \omega = 2\pi f \rightarrow 2\pi f * L = \frac{1}{2\pi f * C} \rightarrow (2\pi f)^2 * L * C = 1$$

$$(2\pi f)^2 = \frac{1}{L * C} \rightarrow \sqrt{(2\pi f)^2} = \sqrt{\frac{1}{L * C}} \quad \boxed{f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L * C}}}$$

De esta manera sabríamos a la frecuencia que resonaría un circuito RLC en serie. Y como ahora podemos observar, para saber el valor de la inductancia o capacitancia requerida solamente tenemos que aislarlas. Siendo como valor final:

$$\boxed{L = \frac{1}{[(2\pi * f)^2] * C} \quad C = \frac{1}{[(2\pi * f)^2] * L}}$$

3.6.1.1. Frecuencia de resonancia (doble circuito resonante)

Cuando estuvimos realizando el estudio del esquema eléctrico de la bobina Tesla, nos dimos cuenta que el circuito estaba dividido en dos, por lo tanto, se transfería la frecuencia del circuito primario al secundario y por lo tanto al haber una frecuencia en el circuito primario que provocara la resonancia, en el circuito secundario también habían una bobina y un condensador, con lo que si no estaban sintonizados a la misma frecuencia iban a haber pérdidas de potencia en el circuito. Por lo tanto, para aumentar el rendimiento de “trabajo” de los dos circuitos, tuvimos que hacer los cálculos para que en el circuito secundario tuviera la misma frecuencia de resonancia que en el circuito primario y por lo tanto muy pocas pérdidas, ya que todos los cálculos son en casos ideales, con eso queremos dar a entender que por ejemplo al construir el toroide siempre pueden fallar mm de radio, o también que en el *spark gap* falten unos pocos mm de separación entre bornes, etc...

Simplemente se tendría que igualar las frecuencias de resonancia del circuito primario y secundario y luego hacer lo mismo que en el punto anterior, como ya hemos dicho:

$$f_p = f_s = 132.892 \text{ Hz}$$

3.6.2. Tensión transformada (circuito secundario)

Como hemos podido estar observando en los primeros apartados de la bobina Tesla, hay dos circuitos, en el primario, hay un transformador que eleva la tensión de 220 V hasta 10.000 V.

En el secundario se produce el mismo principio pero con más pérdidas, ya que el transformador es de núcleo de aire y no hay mucho factor de acoplamiento (entre 0'1 y 0'2 K (se le designa esta letra al factor de acoplamiento)), con lo cual hay muchas pérdidas. En todo caso, nosotros quisimos saber la tensión máxima que iba a ser inducida en el circuito secundario en un caso ideal.

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad P_1 = P_2$$

$$\frac{10}{490} = \frac{10.000}{V_2} = \frac{I_2}{18mA}$$

$$V_2 = 490.000 \text{ voltios} \quad P_1 = 180 \text{ W}$$

$$I_2 = 0'37 \text{ mA} \quad P_2 = 180 \text{ W}$$

Al ser en caso ideal, no se suponen ningún tipo de pérdidas y también suponiendo que el transformador tiene un factor de acoplamiento 1, como podemos entender son casos demasiado ideales. Lo cual consideraremos de esos 490 KV la mitad, (también siguen siendo valores ficticios, pero es una manera de tener una idea de cuanta tensión habrá en el circuito secundario, ya que no vamos a medir por razones de seguridad ya que es nuestra primera bobina Tesla y no queremos arriesgarnos tanto).

3.6.3. Longitud de la descarga de corona

La longitud de las descargas de corona viene dada por la relación intensidad y tensión, lo que viene a ser la potencia. Para poder saber una longitud aproximada de las descargas eléctricas se puede aplicar esta fórmula:

$$L = 1'7\sqrt{P^1}$$

Esta es una fórmula que proporciona una medida aproximada, la longitud resultante de esta fórmula es en pulgadas, por lo tanto en nuestro caso nos daba una longitud de:

$$L = 1'7\sqrt{180}$$

¹ Fórmula de internet, en muchos foros vimos esta fórmula, no podemos asegurar que sea del todo correcto, simplemente la hemos usado para ver qué valor teórico nos proporcionaba.

$$L = 22'81 \text{ inches} = 57'937 \text{ cm}$$

Como ya hemos dicho en caso ideal. También hay que tener en cuenta que cuando se produce una descarga de corona *“esto forma una “raíz” de plasma caliente muy conductora, llamada chispa directora que se proyecta hacia el exterior del toroide. El plasma en esta “conductora” está considerablemente más caliente que una descarga de corona, y es considerablemente más conductora. De hecho, tiene propiedades similares a un arco eléctrico. La conductora se bifurca en miles de descargas mucho más finas, similares a cabellos, llamadas streamers.”*²

3.6.4. Intensidad del circuito primario

En este caso la intensidad del circuito primario no iba a suponer mucho problema ya que el circuito antes de que llegaran a haber intensidades considerables, se “fugaban” por el secundario en forma de descarga de corona. Cabe decir que en realidad sí que tuvimos algún problema la primera vez que la probamos pero bastó con limitar la corriente añadiéndole alguna capacidad más. Tampoco le dimos mucha importancia ya que después en la bobina Tesla con música era más fácil de controlar este problema, ya que con el puente en H (se explica en su correspondiente apartado) se pueden controlar más este tipo de problemas.

3.7. Seguridad y precauciones

Dado que había que trabajar con altas tensiones y fuertes campos magnéticos, tuvimos que tener en cuenta bastantes aspectos de seguridad:

- Colocar los cables a una cierta distancia, ya que, por ejemplo, los cables del circuito primario tienen una diferencia de potencial de 10 KV, lo cual si están bastante pueden comportarse como dos placas con una diferencia de potencial, el cual significa, que

² Wikipedia (Bobina Tesla)

crean un campo eléctrico y por consecuencia una fuerza eléctrica:

$$\Delta V = E * d \quad E = \frac{\Delta V}{d}$$

En nuestro caso, al ser corriente alterna, se producen $\Delta V = 10 \text{ KV}$ y si además están a una distancia de 10 cm:

$$E = \frac{10.000}{0'1} \quad E = 100.000 \frac{N}{C}$$

Como podemos ver, el campo eléctrico es muy fuerte y por lo tanto imaginémonos si ese campo estuviera ejercido sobre un electrón ($q_e = 1'602 * 10^{-19} \text{ C}$):

$$F_E = E * q \quad F_E = 100.000 * 1'602 * 10^{-19}$$

$$F_E = 1'602 * 10^{-14} \text{ N}$$

Si consideramos que la intensidad era de 18 mA y en un tiempo de 5 segundos: (1 Culombio = $6'241509 * 10^{18} e^-$)

$$I = \frac{q}{t} \quad \longrightarrow \quad q = I * t$$

$$q = 18 * 10^{-3} * 5$$

$$q = 0'09 \text{ Culombios} = 5'62 * 10^{17} e^-$$

Con lo cual si ahora consideramos la fuerza eléctrica sobre los 0'09 Culombios, la fuerza sería de:

$$F_E = 100.000 * 5'62 * 10^{17}$$

$$F_E = 5'62 * 10^{22} \text{ N}$$

De esta forma ya podemos apreciar más el valor de la fuerza causada entre dos conductores a una distancia de 3 mm. También tener en cuenta si hay algún cable que no está bien aislado, ya que la tensión de ruptura del aire seco de 3.000V/mm y por lo tanto los cables tendrían que tener un mínimo de separación ya que si no podrían estar dos cables no aislados muy juntos, ya que podrían saltar arcos voltaicos.

Lo mismo sucede también con el campo magnético, ya que al circular una corriente por un conductor se crea un campo magnético, el cual podremos saber la fuerza magnética que ejerce el campo magnético en un punto, a partir de la ley de Lorentz:

$$\vec{F}_B = q * \vec{v} \times \vec{B} \quad ^3$$

A continuación vamos a aplicar dicha ley en un conductor rectilíneo, el cual también sabremos la dirección del campo magnético por la ley de la mano derecha:

$$I = \frac{dq}{dt}$$

$$\vec{v} = \frac{d\vec{l}}{dt}$$

Consideramos que todos los electrones van a la misma velocidad.

Sustituimos la carga.

$$d\vec{F}_B = dq * \vec{v} \times \vec{B} = I * dt * \vec{v} \times \vec{B} = I * d\vec{l} \times \vec{B}$$

Si suponemos que el campo magnético y la intensidad son constantes:

$$\vec{F}_B = \int d\vec{F}_B = \int I * d\vec{l} \times \vec{B} = I * \vec{l} \times \vec{B}$$

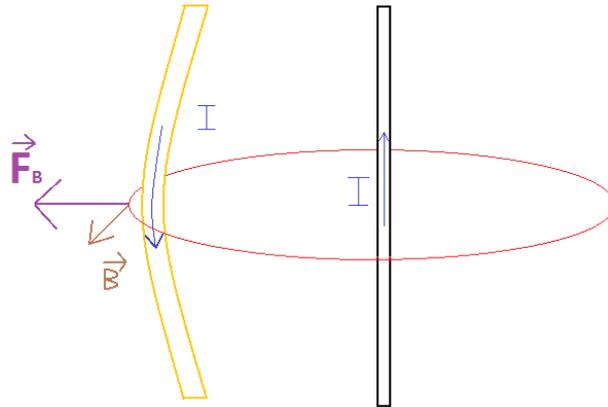
Con lo cual obtenemos:

$$\vec{F}_B = I * \vec{l} \times \vec{B} \longrightarrow F_B = I * l * B * \sin\theta$$

Ahora que ya podemos saber la fuerza que van a ejercer los conductores:

³ "Projecte La Casa del Saber – Física 2 BATXILLERAT – Tema 4 (El camp magnètic)"

En esta imagen no consideramos el campo magnético creado por el otro cable, ya que se crea el mismo efecto, por lo tanto, realmente también se doblaría el otro cable.



Por lo tanto imaginemos, que en nuestra bobina tesla tenemos los cables del circuito primario y los cables que vienen de la bobina secundaria hacia la toma tierra, si estos estuvieran a una distancia por ejemplo de 10 cm y circulara una corriente a través del conductor de 18 mA.

El campo magnético creado por un conductor es (consideramos como permeabilidad magnética la del vacío):

$$B = \frac{\mu}{2\pi} * \frac{I}{d} \qquad B = \frac{4\pi * 10^{-7}}{2\pi} * \frac{18 * 10^{-3}}{0'1}$$

$$B = 3'6 * 10^{-8} T$$

Con lo cual la fuerza ejercida sobre el cable (consideramos una longitud de cable de 10 cm) es de:

Suponemos que el ángulo entre el campo y el cable es de 90°.

$$F_B = I * l * B * \sin\theta$$

$$F_B = 18 * 10^{-3} * 0'1 * 3'6 * 10^{-8}$$

$$F_B = 6'48 * 10^{-11} N$$

Comparado con la fuerza generada por el campo eléctrico, la fuerza generada por el campo magnético es mucho menor.

CONSEJOS:

- Cuando se apague la bobina, los condensadores pueden quedar cargados, así que como medida de precaución, habría que descárgalos con alguna resistencia en paralelo el cual se pueda conectar con algún interruptor.
- No se debe mirar directamente a las chispas del *spark gap* ya que su alta intensidad lumínica puede provocar lesiones en los ojos e incluso la pérdida parcial o total de la visión.
- Cuando la bobina Tesla esté en funcionamiento, no se debe acercarse nadie ya que, por ejemplo, un aparato electrónico al estar expuesto a las radiofrecuencias puede sufrir daños y por lo tanto romperse.
- **MUY IMPORTANTE:** Las descargas eléctricas del toroide ionizan el oxígeno del aire produciendo **ozono**, el cual es tóxico. Por lo tanto, es conveniente esperar un rato antes de acceder en la zona donde se han producido las descargas eléctricas, por lo tanto, tampoco hay que tener mucho rato encendida la bobina Tesla.

Hay más de una forma de que se produzca la ionización, pero en nuestro caso vamos a analizar la ionización desde el punto de vista de la física:

“En los procesos físicos se suelen separar los electrones de una molécula neutra. Para lograrlo hay que aportar la energía necesaria: energía de ionización. Esto es posible calentando hasta una elevada temperatura (se suele formar un plasma), mediante irradiación ionizante (por ejemplo, luz ultravioleta, rayos X o radiactividad alfa, beta o gamma), aplicando campos eléctricos fuertes, o bombardeando una muestra con partículas. Se genera de esta forma una partícula con carga positiva (cación) además de un electrón libre.

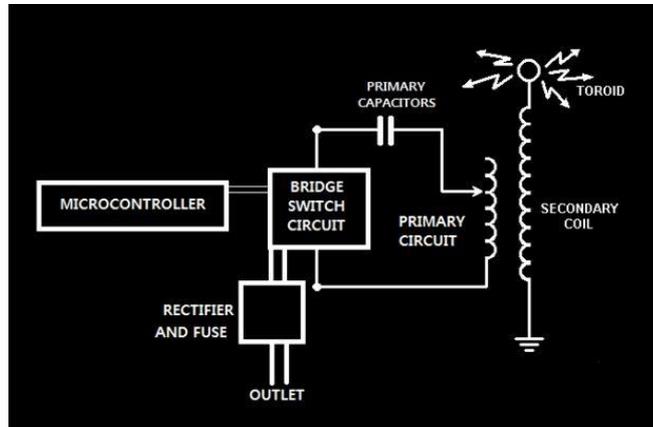
Los procesos de ionización están implicados en la formación del rayo durante las tormentas, en la generación de luz en las pantallas de plasma, en las lámparas fluorescentes y son la base de la espectroscopia de masas.”

- No colocar la placa electrónica cerca de la bobina Tesla, como ya habíamos dicho los aparatos electrónicos se estropean.

3.8. Elaboración de una bobina Tesla con música (SSTC)

En los siguientes apartados les vamos a mostrar como planteamos la elaboración de una bobina Tesla con música, vamos a mostrarles por un nivel superficial pero suficiente para poder manejar o controlar la potencia de trabajo de la bobina Tesla, todo esto mediante la función de transferencia y el cambio de variables de Laplace, junto con un diagrama de Bode, el cual nos mostraba la gráfica de la frecuencia de resonancia, el cual representaba los dB por década en función de la frecuencia, todo esto en valores absolutos.

3.8.1. Introducción a la “Solid State Tesla Coil” (SSTC)



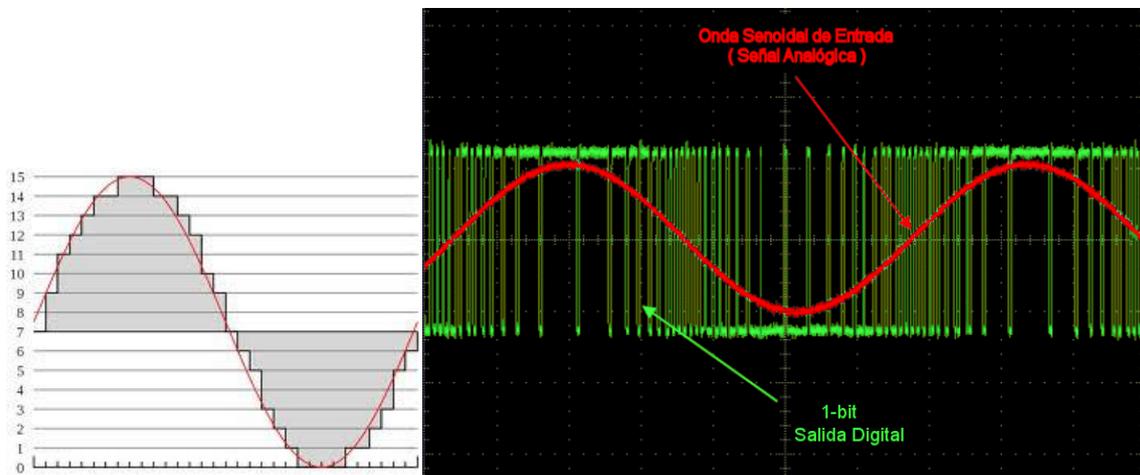
Este no es el esquema eléctrico, simplemente es una leve introducción, para que pueda ser más visual y perceptivo para el lector, de tal manera que podemos ver las principales diferencias entre la bobina Tesla sin música y la bobina Tesla con música. Primero de todo si nos fijamos, tenemos un micro controlador, el cual nos genera la frecuencia deseada de trabajo, con lo cual hemos quitado el *spark gap* que nos generaba la frecuencia de oscilación amortiguada, y por lo tanto, sería extremadamente complicado saber a la frecuencia real que trabaja el circuito, ya que se superpondrían ambas frecuencias y por lo tanto no solucionamos nada, ya que nosotros queremos generar una determinada frecuencia, que dicha frecuencia es a la que suena la música. Si nos hemos fijado, el nombre de la bobina cambia un poco, en este caso, pasa a llamarse, “Solid State Tesla Coil” (SSTC), en vez de, “Spark Gap Tesla Coil” (SGTC), y rápidamente podemos saber a qué es debido ese cambio de nombre, a la eliminación del *spark gap*, y por lo tanto, se le añaden las placas electrónicas con los correspondientes componentes electrónicos, y por eso se le llama como *Solid State Tesla Coil*.

3.8.1.1. Modulación Sigma-Delta ($\Delta\Sigma$)

En este apartado vamos a explicar en que se basa dicha modulación, pero no vamos a ser muy concretos, dado que nosotros nos informamos de dicha modulación a causa de que la placa electrónica que íbamos a hacer, iba a tener incorporada dicha modulación. Escogimos

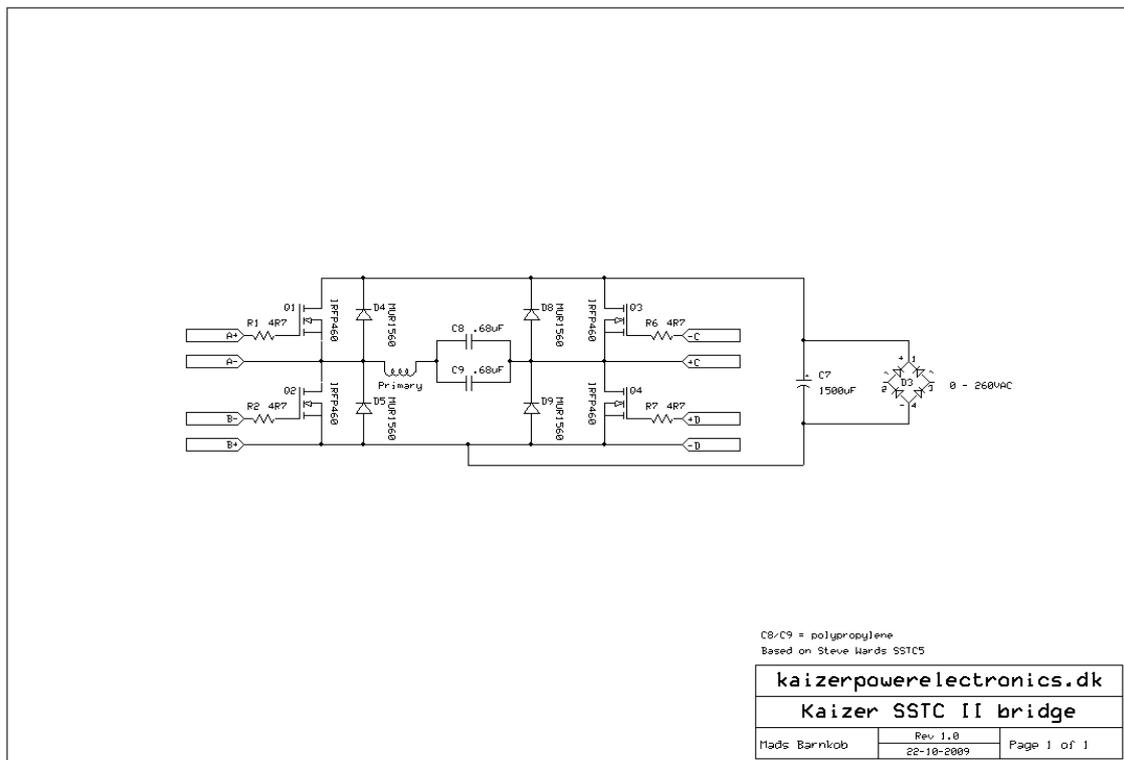
este tipo de modulación porque de esta manera, podíamos tener una canción en función sinusoidal en cambio de tener una de MIDI (por ejemplo, las canciones de las felicitaciones navideñas), lo cual era mejor.

Primero de todo vamos a definir que es: “La modulación Sigma-Delta ($\Delta\Sigma$) es un tipo de conversión analógica a digital o digital a analógica.” En nuestro caso de analógica a digital, ya que nosotros en vez de utilizar un micro controlador, el cual teníamos que haber comprado y programado, utilizamos nuestro ordenador para generar la frecuencia de la música. Lo que hace dicha modulación, es transformar la señal de salida del ordenador en pulsos. Vamos a ver un ejemplo:

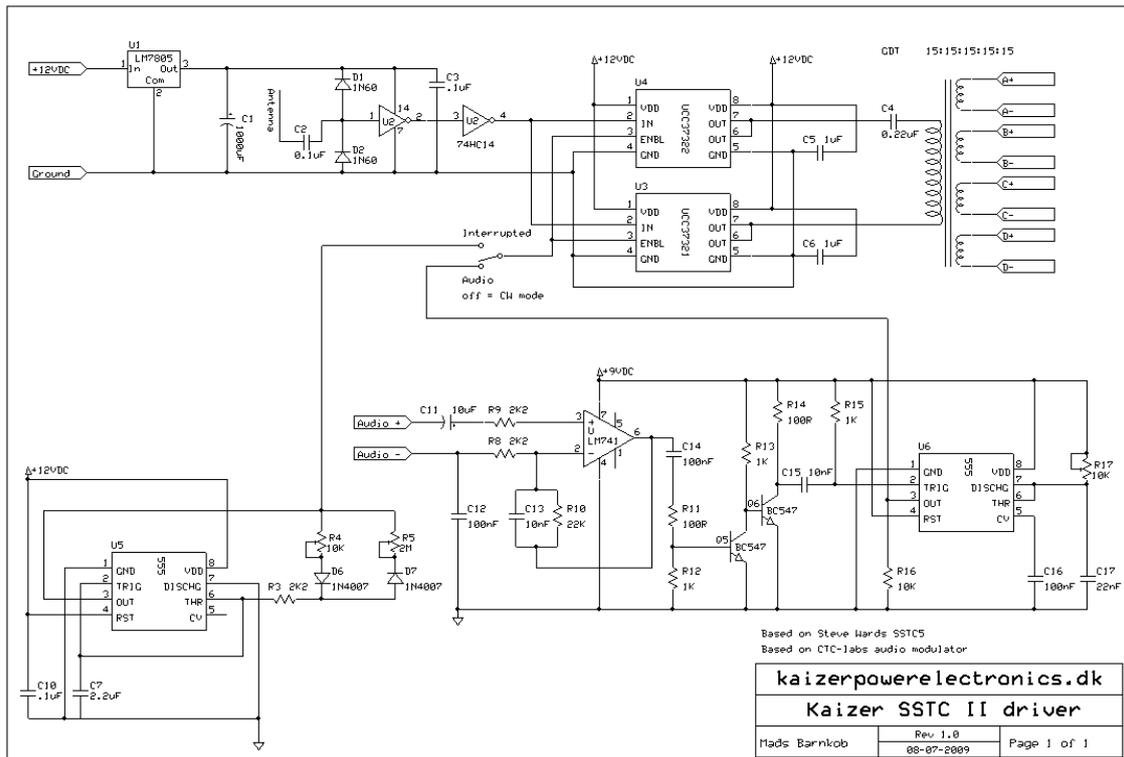


Como podemos observar, modulación se basa, en la transformación de pulsos por ejemplo, a la señal sinusoidal, y como podemos ver lo que hace es usar pulsos muy pequeños para ajustarse lo más posible y por lo tanto ser más preciso. Es como por ejemplo, para verlo mejor, cuando hacemos la derivada de una función encontramos el pendiente de esa función en ese determinado punto, el cual, el pendiente es una recta tangente a la función, pues contra más derivadas tengas mejor podrás definir tu función con rectas tangentes a la función, y el resultado del conjunto de todas las derivadas, nos va a dar como resultado la función original. Pues con los pulsos parecidos, cuanto más pequeños y en más cantidad haya mejor se podrá definir la función.

3.8.2. Esquema eléctrico y explicación básica del esquema eléctrico



(Segunda parte del circuito, en la siguiente página)



Vamos a explicar las funciones básicas, ya que es la base de la placa para que funcione. Hay que tener en cuenta que no vamos a explicar todo, ya que esta placa ya estaba diseñada, y hay gente que incluso se pasa años intentando perfeccionar dichas placas. Por lo tanto, explicaremos en que se basan.

Primero de todo, vamos a aclarar que puede tener dos posiciones dicha placa. El modo interrumpido, que es la parte de arriba del circuito, conmutada con el circuito inferior de la izquierda. Este modo se llama así porque simplemente el “555” apaga o enciende el circuito por lo tanto, podemos ver que hay más control que en la Bobina Tesla con *Spark Gap*. La otra posición, es conmutar el circuito de arriba con el circuito inferior de la derecha, como vemos en este caso, el control se establece con la música del ordenador.

Hay que aclarar que de la parte superior no funcionaría “solo” (sin estar conmutado con los dos posibles circuitos de la parte inferior), ya que si nos fijamos la parte que se conmuta, está conectada al ENABLE del UCC37322 (driver), por lo tanto, para que funcione el circuito de la parte superior, los drivers tienen que estar activados y estos no se activan solamente introduciendo una diferencia de potencial entre la entrada y salida, sino que la “patita” de ENABLE = HABILITAR, también tiene que estar activada.

Después de esto, vamos explicar donde conectamos el ordenador y la continuación a dicho proceso:

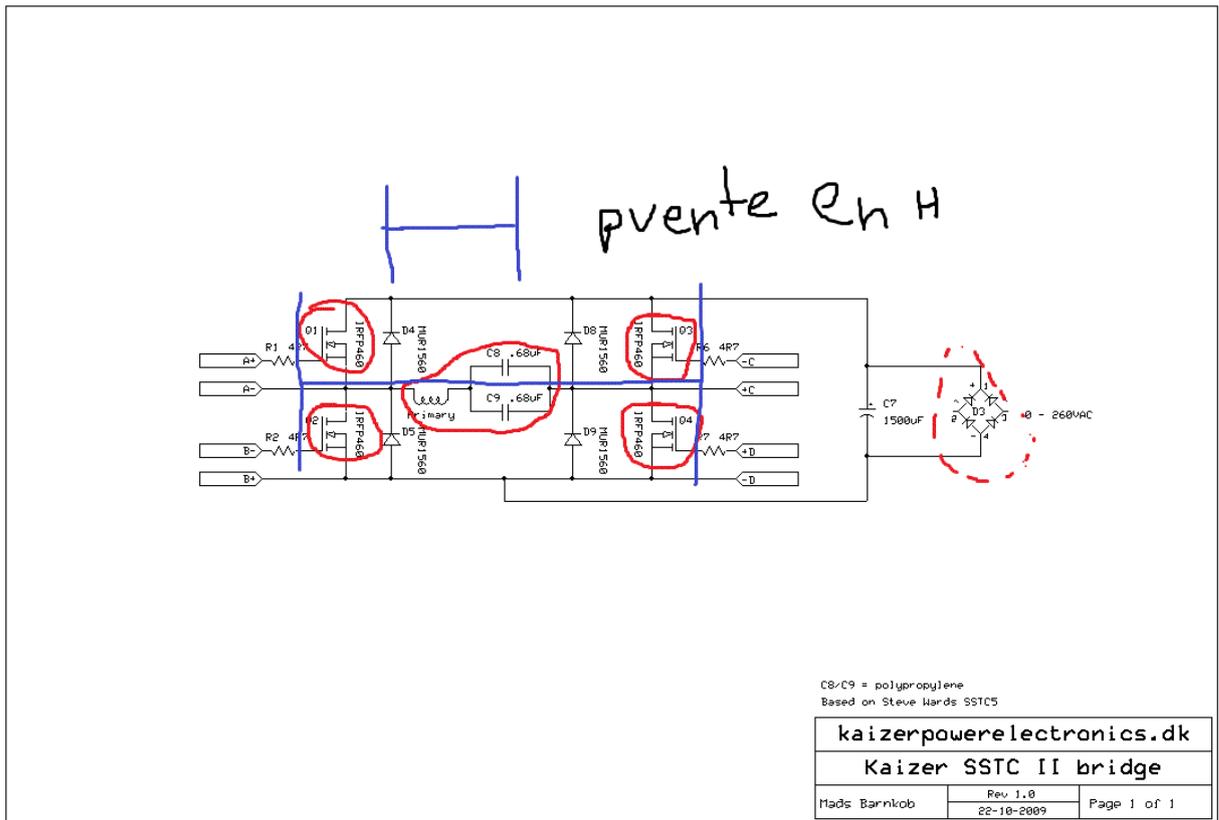
Conectamos el ordenador en las entradas de audio + y audio menos -, que es la masa del circuito, todo esto lo conectamos en la “clavija del ordenador de audio”.

Primero de todo, como vemos la corriente y tensión es aumentada por el driver LM741, a continuación después de aumentar la potencia de la señal de salida del ordenador, la corriente es modulada por el microchip de modulación Sigma-Delta, que es el 555.

Como vemos después la corriente sube hasta el interruptor, entonces los drivers UCC37322, aumentan la potencia del circuito, estos drivers se usan porque son más apropiados para activar los transistores de potencia, que se sitúan en el segundo esquema, A, B, C, D; estas son las salidas del segundo circuito eléctrico y por lo tanto, la entrada del primer circuito eléctrico. Los transistores son de potencia como ya habíamos dicho y se activan en corriente continua, por eso, se coloca el puente de diodos. Como vemos los transistores están colocados como interruptores del puente en H, y en su interior, se sitúa la bobina primaria y el correspondiente condensador, sin el *spark gap*, ya que eso como ya habíamos dicho, superponía ambas frecuencias.

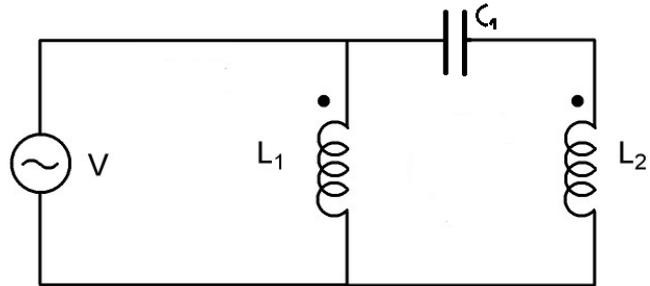
La antena del circuito primario, no la explicaremos ya que “se nos iba demasiado de las manos”, lo único que tenemos que añadir sobre dicha antena, es que sirve, por si el cálculo de la frecuencia de resonancia o si hay algún error y por lo tanto el circuito trabajara a otra frecuencia que no fuera la de resonancia, la antena calibra dicho error, con lo que se auto calibra y autoalimenta a partir de las frecuencias emitidas por la bobina Tesla.

Ahora les vamos a mostrar el esquema eléctrico del puente en H para que se vea mejor:



3.8.3. Calibración de la tensión (V_{out}) mediante la frecuencia de transferencia

La tensión de dicho circuito la calibramos con la función de transferencia y el diagrama de Bode. Primero de todo vamos a explicar de dónde obtenemos la función de transferencia:



Consideramos este circuito:

La función de transferencia relaciona la tensión de salida con la tensión de entrada:

$$H = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

Con la fórmula del divisor de tensión:

$$V_{out} = V_{in} * \frac{R}{R + R_T}$$

Por lo tanto:

$$V_{out} = V_{in} * \frac{L_2(s)}{(L_1 + L_2) * (s) + \frac{1}{C * (s)}}$$

La s es el cambio de variables que hizo Laplace: $S = j * w$.

Aislando, la V_{out} y la V_{in} , obtenemos dicha relación, la función de transferencia:

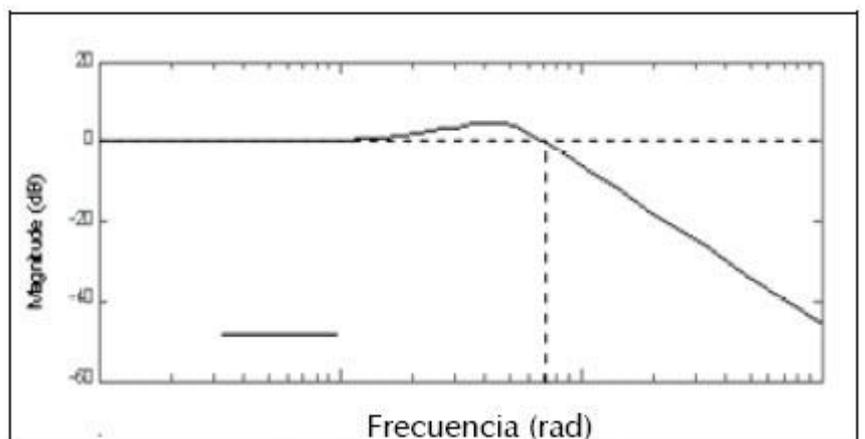
$$H = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{L_2(s)}{(L_1 + L_2) * (s) + \frac{1}{C * (s)}}$$

$$H = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{\frac{L_2}{(L_1 + L_2)} * s^2}{s^2 + \frac{1}{(L_1 + L_2) * C}}$$

Igualando el denominador y el numerado, obtendremos cuando se va a infinito dicha gráfica y cuando es igual a cero. Primero de todo, vamos a aclarar que el denominador se le llama cero, y el denominador se le llama polo, cuando, el polo es igual a 0, el límite cuando el

denominador es cero, tiende a infinito y cuando el cero es igual a cero, la función es cero. Cada S del numerador y del denominador, se le llamara o un polo o un cero.

Para representarla de forma aproximada, diremos que cada cero, la gráfica cuyo nombre recibe diagrama de Bode, “sube” 20 dB/década, y cada polo, “baja” 20 dB/década; y al tener el extremo donde la gráfica tiene el punto máximo, se hace una aproximación de los dB/década, en nuestro diagrama de Bode, ocurre una cosa extraña, la función tienen mayor rendimiento a altas frecuencias ya que la gráfica de Bode es así:

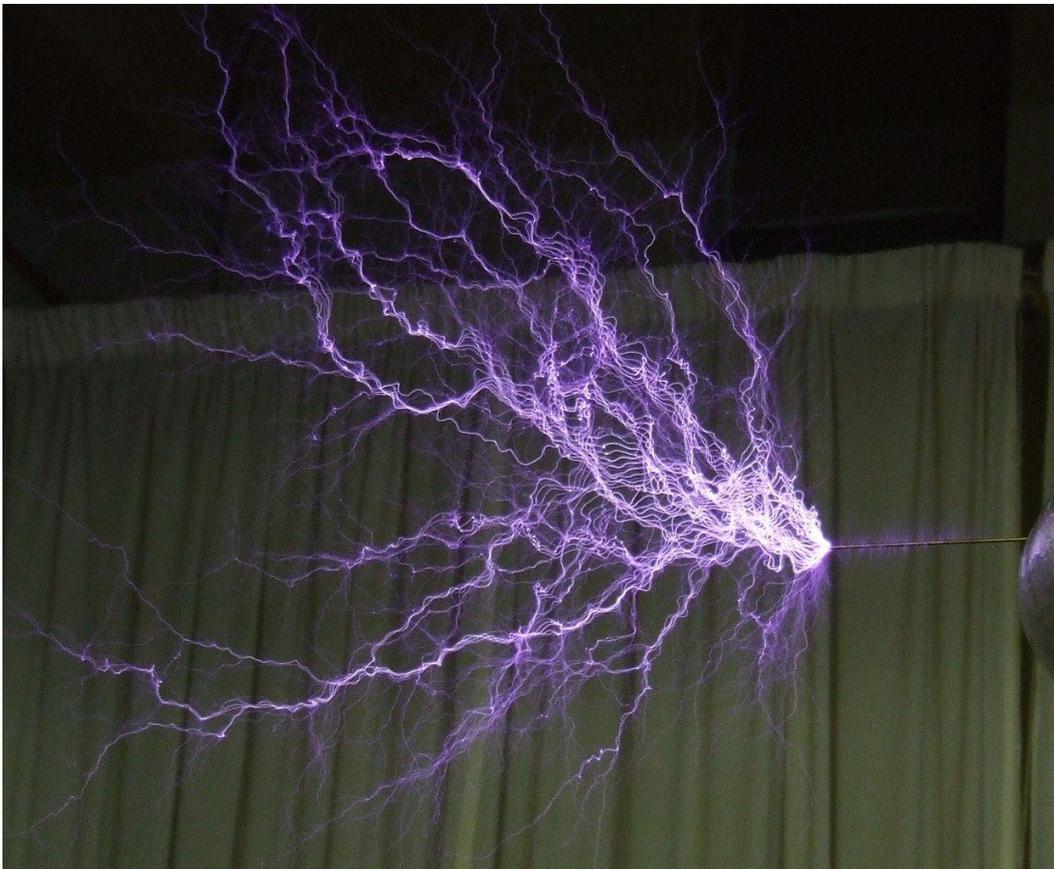
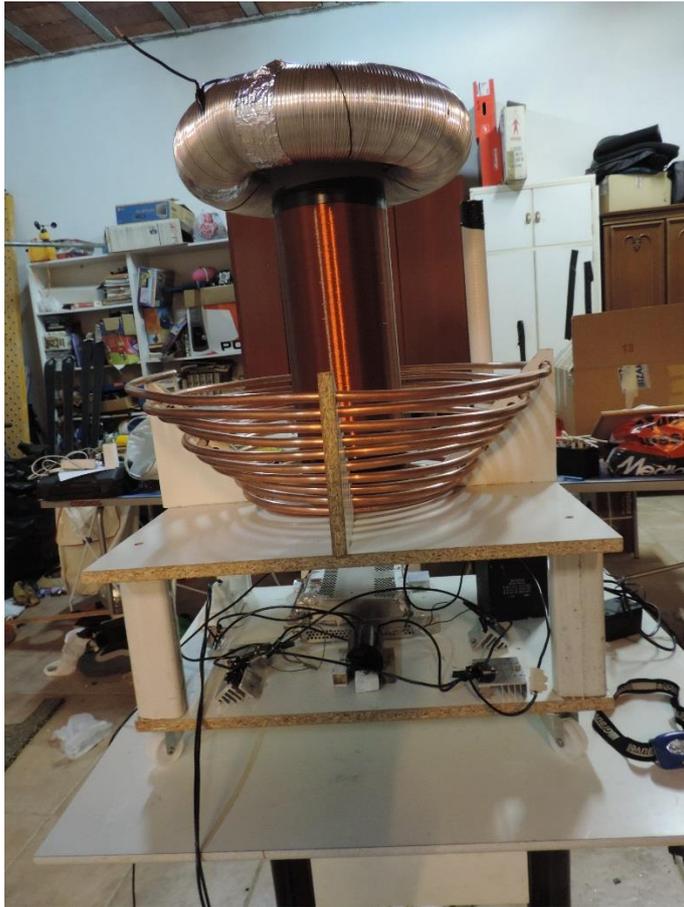


Por lo tanto, el eje de las Y, son los dB/dec y es el valor de la tensión; con dicho valor, es con el que jugamos para ajustar la potencia que iba a circular por el circuito primario. No pondremos dicho valor para poder demostrarlo en la presentación, de esta manera enseñaremos como lo ajustamos.

3.9. Resultados de la práctica

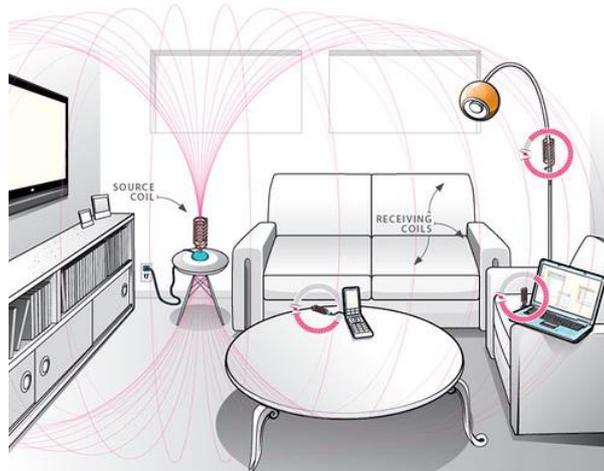
El resultado de dicha práctica, lo mostraremos en la presentación, solo añadir que fue bastante bueno el resultado.

¹ Google imágenes



4. FUTURAS APLICACIONES DEL EFECTO TESLA

El efecto Tesla ya ha sido probado en la actualidad, como por ejemplo, para cargar coches eléctricos, el único inconveniente, es que aún no se ha investigado suficiente y no está muy desarrollado. Veamos varios ejemplos:





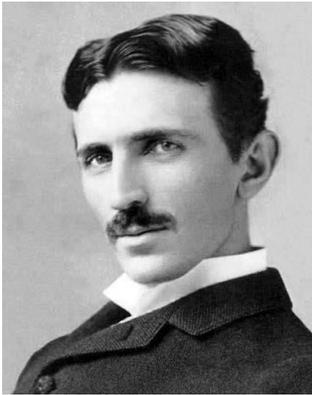
5. CONCLUSIONES

En este trabajo, hemos podido observar de primera mano, el efecto Tesla, además construyendo la bobina Tesla hemos podido observar el curioso efecto de las descargas eléctricas. En efecto creemos que en un futuro podremos ver este efecto, por ejemplo, para cargar coches, no usar cables en nuestras casas, y este tipo de cosas. Cabe destacar que a pesar de todas las dificultades que nos hemos ido encontrado, desde aprender cómo hacer algunos cálculos teóricos hasta la construcción de algunas partes de la bobina Tesla i las otras prácticas, en definitiva creemos que uno de los mayores problemas al hacer proyectos de este tipo, por ejemplo, que incluyan placas electrónicas, muchas de las veces nos llegó a suceder que cuando no nos funcionaba era difícil saber si nos habíamos equivocado en los cálculos o era algún problema de haber hecho alguna soldadura “fría” y que no hicieran bien contacto los puntos de unión. Pero al final con paciencia, yendo “pasito a pasito” íbamos descartando posibles errores. Así que en resumen, este tipo de proyectos se complican a causa de la parte práctica de construcción. (En los anexos hay fotos de la bobina, la placa, etc...)

6. ANEXOS

EMINENCIAS Y CONTRIBUCIONES

Nikola Tesla



Nikola Tesla, o su nombre real en cirílico Никола Тесла, nació el 10 de julio de 1856 en Smiljan (Croacia) y murió en Nueva York el 7 de enero de 1943. Fue un inventor, ingeniero mecánico, ingeniero electricista y físico de origen serbio. Fue famoso por sus invenciones en el campo del electromagnetismo, desarrolladas a finales del siglo XIX y principios del siglo XX.

Todo el trabajo y las patentes de Nicola Tesla son las bases de los sistemas modernos de potencia eléctrica por corriente alterna, entre ellos se incluye el sistema polifásico de distribución eléctrica y el motor de corriente alterna, dichos elementos contribuyeron a la Revolución Industrial que empezó a principios 1850 y 1870 y finalizó entre 1914 y 1917 en países no europeos como Estados Unidos o Japón.

Nicola Tesla fue un genio en muchos campos y fue reconocido como uno de los más grandes ingenieros electricistas de los Estados Unidos de América, al haber demostrado la comunicación inalámbrica por medio de ondas de radio en 1894 y haber ganado la guerra de las corrientes. La mayoría de sus inventos fueron pioneros de la ingeniería eléctrica moderna y fueron de suma importancia.

Al final, como todo genio, Tesla era inigualable en esa época, ni el grande Edison consiguió hundirlo, y debido a su excéntrica personalidad y sus afirmaciones inverosímiles sobre nuevas innovaciones científicas y tecnológicas, Tesla fue finalmente considerado como un

científico loco. Con el paso del tiempo, Tesla empezó a no prestar atención a sus finanzas y cuando murió a la edad de los 86 años, murió empobrecido.

En honor a Nicola Tesla, la unidad de medida del campo magnético (B) del Sistema Internacional de Unidades es el *Tesla*, como también el proceso de transmisión inalámbrica de energía a dispositivos electrónicos (que Tesla demostró con la lámpara incandescente), llamado como *efecto Tesla*, que Tesla quería hacer a escala industrial para la transmisión intercontinental de energía, a pesar de todo no pudo acabar con su proyecto llamado “*la Wardenclyffe*”.

Tesla como ya habíamos dicho, avanzó e inventó en diversos campos, como por ejemplo, en el electromagnetismo e ingeniería electromecánica, pero aparte de eso Tesla también contribuyó en el desarrollo de la robótica, el control remoto, el radar, la balística, las ciencias de la computación, la física nuclear y la física teórica; como ya habíamos dicho era un genio. También en el 1943, la Corte Suprema de los Estados Unidos lo acreditó como el inventor de la radio.

A lo largo de su carrera, cabe destacar su rivalidad y enemistad hacia Thomas Edison, ya que en un principio Tesla trabajaba para Edison, pero con el paso del tiempo Edison prometió a Tesla que si le ayudaba en la mejora de los diseños de corriente continua, iban a compartir dichos éxitos junto con el dinero y además, le iba a subir el sueldo. Pero mientras Tesla iba propiciando a Edison de mejoras y nuevos inventos, Edison se iba apropiando de las patentes como exclusivamente suyas y además todo el dinero se lo acabó quedando él, y por si era poco, no le subió ni el sueldo. Al final, como era de esperar, Tesla se acabó separando de Edison, en el cual, después de esa separación, fue cuando empezó la guerra de las corrientes.

El sistema de Edison, que utilizaba la corriente continua (CC), era poco adecuado para responder a estas nuevas demandas. El problema del transporte era aún más difícil, puesto que la transmisión interurbana de grandes cantidades de CC en 110 voltios era muy costosa y sufría enormes pérdidas por disipación en forma de calor.

En 1886, George Westinghouse, un rico empresario pero un recién llegado en el negocio eléctrico, fundó Westinghouse Electric para competir con General Electric de Edison. El sistema de la primera se basó en los descubrimientos y las patentes de Nikola Tesla, quien creyó apasionadamente en la superioridad de la corriente alterna (CA). Su argumento se

basaba en que las pérdidas en la transmisión de electricidad dependían de la intensidad de la corriente ($P=I^2 \cdot R$) que circulaba por la línea. Para la misma transmisión de potencia y siendo este producto de la intensidad por el voltaje ($P=V \cdot I$), a mayor voltaje, menor intensidad de corriente es necesaria para transmitir la misma potencia y por lo tanto, menores pérdidas. Y a diferencia de la CC, el voltaje de la CA se puede elevar con un transformador para ser transportado largas distancias con pocas pérdidas en forma de calor. Entonces, antes de proveer energía a los clientes, el voltaje se puede reducir a niveles seguros y económicos.

Edison se alarmó por la aparición de la tecnología de Tesla, que amenazaba sus intereses en un campo que él mismo había creado. Nikola Tesla terminó cediendo las patentes a Westinghouse para poder continuar con sus proyectos.

Edison y Tesla se enfrentaron en una batalla de relaciones públicas –que los periódicos denominaron “la guerra de las corrientes”– para determinar qué sistema se convertiría en la tecnología dominante. Harold Brown (empleado de Edison) colaboró en la invención de la silla eléctrica de CA y electrocutó a perros, gatos y hasta un elefante para demostrar que la corriente alterna era peligrosa. La electrocución de la elefante Topsy quedó registrada en una película filmada en 1903.

Para neutralizar esta iniciativa, Nikola Tesla se expuso a una CA que atravesó su cuerpo sin causarle ningún daño. Ante esta prueba, Edison nada pudo hacer y su prestigio quedó momentáneamente erosionado.

Durante la Feria Mundial de Chicago de 1893, Tesla tuvo su gran oportunidad. Cuando Westinghouse presentó un presupuesto por la mitad de lo que pedía General Electric, la iluminación de la Feria le fue adjudicada y Tesla pudo exhibir sus generadores y motores de CA.

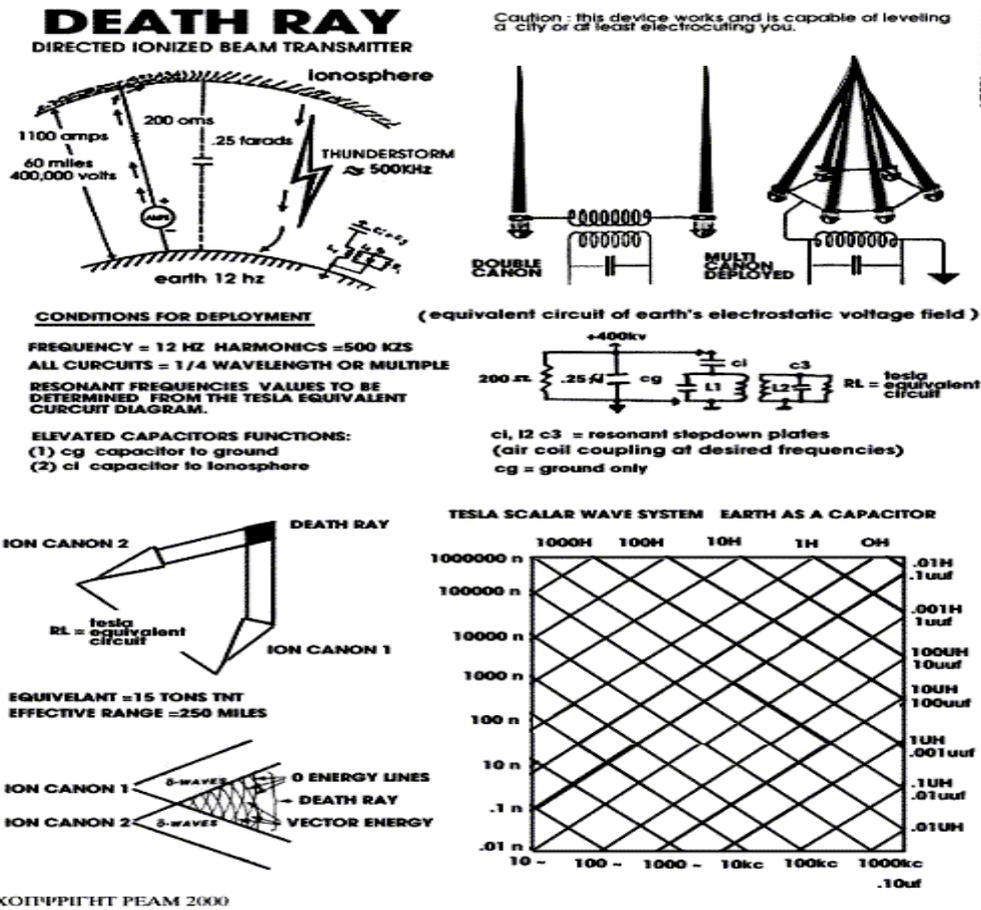
Más tarde, la Niagara Falls Power Company encargó a Westinghouse el desarrollo de su sistema de transmisión. Fue el final de la “guerra de las corrientes”.

Se especula también que ideó un sistema de transmisión de electricidad inalámbrico, el cual la energía podría ser llevada de un lugar a otro mediante ondas de naturaleza no hertzianas. Dicho sistema se basaría en la capacidad de la ionosfera para conducir electricidad, la potencia se transmitiría a una frecuencia de 6 Hz con una enorme torre llamada Wardenclyffe Tower, para valerse de la resonancia Schumann como medio de transporte.



La Torre Wardencliff, también conocida como la Torre Tesla, fue una torre-antena de telecomunicaciones inalámbricas pionera diseñada para la telefonía comercial transatlántica, retransmisiones de radio y para demostrar la transmisión de energía sin cables conectores entre los años 1901 y 1917.

Hoy día se sabe que la frecuencia Schumann es de 7,83 Hz y no de 6, aunque realmente varía desde 7,83 Hz a 12 Hz, según la actividad solar y el estado de la ionosfera. En los últimos años muchos son los que han intentado repetir el experimento, con poco o ningún éxito.



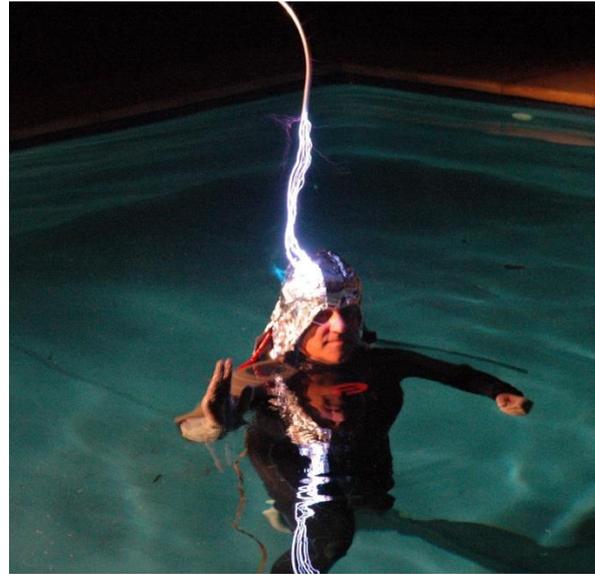


La Resonancia Schumann es un conjunto de picos en la banda de frecuencia extremadamente baja (ELF, son la frecuencias comprendidas entre 3 Hz y 300 Hz) del espectro radioelétrico de la Tierra.

Esto es porque el espacio entre la superficie terrestre y la ionosfera actúa como una guía de onda. Las dimensiones limitadas terrestres provocan que esta guía de onda actúe como cavidad resonante para las ondas electromagnéticas en la banda ELF. La cavidad es excitada de forma natural por los relámpagos, y también, dado que su séptimo sobre tono se ubica aproximadamente en 60 Hz, influyen las redes de transmisión eléctrica de los territorios en que se emplea corriente alterna de esa frecuencia.

Para finalizar, decir que Nikola Tesla patentó la bobina Tesla (llamada así en su honor) a la edad de los 35 años, la bobina Tesla es un tipo de transformador resonante.

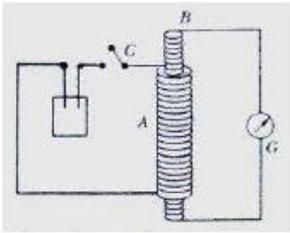
Actualmente Tesla es considerado un héroe de las energías libres.



Michael Faraday



Michael Faraday fue un físico, químico británico, estudió el electromagnetismo y la electroquímica. Nació el 22 de septiembre de 1791 en Londres y murió el 25 de agosto de 1867 (75 años). Fue discípulo del químico Humphry Davy, pero principalmente es conocido por su ley de la inducción electromagnética, ya que eso le permitió la construcción de generadores y motores eléctricos junto con las leyes de la electrólisis por lo que es considerado el verdadero fundador del electromagnetismo y de la electroquímica.



Inducción electromagnética:

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Esto significa que dicha inducción se produce cuando hay una variación del flujo magnético respecto del tiempo, que ya explicaremos más detalladamente en su correspondiente apartado.

En 1831, Michael Faraday trazó el campo magnético alrededor de un conductor por el que circulaba una corriente eléctrica y ese mismo año demostró la inducción de una corriente por otra e introdujo el concepto de líneas de fuerza para representar los campos magnéticos.

Durante este mismo periodo, investigó sobre la electrólisis y descubrió las dos leyes fundamentales que llevan su nombre: masa = equivalente electroquímico, por la intensidad y por el tiempo ($m = C * I * t$); y las masas de distintas sustancias liberadas por la misma cantidad de electricidad son directamente proporcionales a sus pesos equivalentes.

Faraday descubrió en 1845 la desviación del plano de polarización de la luz como resultado de un campo magnético, al atravesar un material transparente como el vidrio. Se trataba del primer caso conocido de interacción entre el magnetismo y la luz.

También descubrió la capacitancia, cuya unidad es el faradio (F), en honor a él, la unidad de capacidad eléctrica del SI de unidades se le llama así.

Pierre Simon Laplace



Pierre-Simon nació el 28 de marzo de 1749 en Beaumont-en-Auge (Normandía) y murió el 5 de marzo de 1827 en París. Fue astrónomo, físico y matemático francés que inventó y desarrolló la transformada de Laplace y la ecuación de Laplace.

En electrónica, su mayor contribución fue que gracias a la transformada de Laplace, y el cambio de variables de la impedancia (por ejemplo: $Z = R + jX_L \rightarrow X_C = w * L \rightarrow s = j * w$), simplificó mucho los cálculos.

“La función de transferencia de un sistema lineal e invariante en el tiempo (LTI), se define como el cociente entre la transformada de Laplace de la salida y la transformada de Laplace de la entrada, bajo la suposición de que las condiciones iniciales son nulas.”

Esto significa, que la función de transferencia en función de s , relaciona la tensión de salida con la tensión de entrada:

$$H(s) = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

En su correspondiente apartado estará explicada con mayor detalle y desarrollo de dicha función, y la aplicación que se le ha dado en este trabajo.

Heinrich Friedrich Emil Lenz



Heinrich Friedrich Emil Lenz nació el 12 de febrero de 1804 y murió el 10 de febrero de 1865, su nombre en ruso Ленц, Эмилий Христианович, fue un alemán del Báltico conocido por formular la Ley de Lenz en 1833:

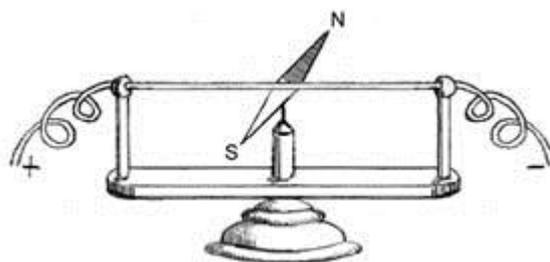
“El sentido de las corrientes o fuerza electromotriz inducida es tal que se opone siempre a la causa que la produce, es decir, a la variación del flujo.”

Cabe destacar que gracias al estudio del electromagnetismo de Heinrich Friedrich Emil Lenz, Michael Faraday pudo determinar la fórmula de la inducción electromagnética, por eso en muchos sitios, no se le llama la ley de Faraday, sino que se le llama la Ley de Faraday-Lenz.

Tras completar su educación secundaria en 1820, Lenz estudió química y física en la Universidad de Tartu. Viajó con Otto von Kotzebue en su tercera expedición alrededor del mundo desde 1823 hasta el 1826. Durante el viaje Lenz estudió las condiciones climáticas y las propiedades físicas del agua del mar.

Después del viaje, Lenz comenzó a trabajar en la Universidad de San Petersburgo, donde posteriormente fue Decano de Matemática y Física desde 1840 a 1863.

Joseph Henry



² Google imágenes(experimento de Oersted)

Joseph Henry nació 17 de diciembre de 1797 y murió 13 de mayo de 1878. Fue un físico estadounidense conocido por su trabajo acerca del electromagnetismo, en electroimanes y relés.

Las vidas de M. Faraday y Joseph Henry tienen muchos elementos en común. Los dos provenían de familias muy humildes y se vieron obligados a trabajar desde muy jóvenes por lo que no pudieron seguir sus estudios. Henry fue aprendiz de relojero a los trece años (Faraday lo sería de encuadernador también a esa misma edad).

Como Faraday, Henry se interesó por el experimento de Oersted (experimento sobre la desviación que sufre una aguja magnética situada en las proximidades de un conductor eléctrico) y, en 1830, descubrió el principio de la inducción electromagnética, pero tardó tanto tiempo en publicar su trabajo que el descubrimiento se le concedió a Faraday.

En 1831, Henry inventó el telégrafo y, en 1835, perfeccionó su invento para que se pudiese usar a muy largas distancias, pero a pesar de todo no lo patentó. Fue Samuel Morse quien, ayudado personalmente por Henry, puso en práctica el primer telégrafo en 1839 entre Baltimore y Washington, después de conseguir ayuda financiera del Congreso de los Estados Unidos.

A la unidad de inductancia se le llamó Henrio en su honor.

Gustav Robert Kirchhoff



Gustav Robert Kirchhoff, nació el 12 de marzo de 1824 y murió en Berlín el 17 de octubre de 1887. Fue un físico prusiano cuyas principales contribuciones científicas estuvieron en el campo de los circuitos eléctricos, la teoría de placas, la óptica, la espectroscopia y la emisión de radiación de cuerpo negro.

Inventó el espectroscopio y junto con Robert Bunsen, descubrió el rubidio y el cesio por métodos espectrales. Identificó la raya D del espectro solar como la producida por sodio vaporizado. Descubrió las leyes generales que rigen el comportamiento de un circuito eléctrico. Se dedicó al estudio de la termodinámica y realizó investigaciones sobre la conducción del calor. Estudió los espectros del Sol, de las estrellas y de las nebulosas, confeccionando un atlas del espacio y demostró la relación existente entre la emisión y la absorción de la luz por los cuerpos incandescentes.

Kirchhoff propuso el nombre de radiación de cuerpo negro en 1862. Es responsable de dos conjuntos de leyes fundamentales, en la teoría clásica de circuitos eléctricos y en la emisión térmica.

Primera Ley de Kirchhoff, también llamada ley de los nudos (o nodos): *“La suma de corrientes que entran a un nudo es igual a la suma de las que salen (Todas las corrientes entrantes y salientes en un nudo suman 0). Para un metal, en el que los portadores de carga son los electrones, la anterior afirmación equivale a decir que los electrones que entran a un nudo en un instante dado son numéricamente iguales a los que salen. Los nudos no acumulan carga (electrones).”*

$$\sum_{k=1}^n V_k = V_1 + V_2 + V_3 \dots + V_n = 0$$

LA ELECTRICIDAD

En este apartado vamos a explicar qué es la electricidad, cuándo surgió, qué dos tipos principales hay de corriente, los elementos básicos que puede haber en un circuito, la diferencia entre electrónica y electricidad; y para finalizar, un poco acerca del electromagnetismo y los imanes.

3.1. Historia

El estudio de la electricidad en reposo recibe el nombre de electrostática y el estudio de la electricidad en movimiento se llama electrodinámica.

La palabra electricidad, deriva de la palabra griega “ἤλεκτρον” (électron) que significa ámbar. Toda sustancia se compone de pequeñísimas partículas denominadas átomos.

Ahora que ya hemos explicado un poco por encima la electricidad, vamos a definir la corriente eléctrica:

La corriente eléctrica es un flujo de electrones que se desprenden de los átomos, dicha corriente es sometida a una fuerza, la cual depende de la cantidad y la velocidad de los electrones. Un flujo de miles de millones de éstos apenas produce una corriente leve.

No habrá corriente eléctrica en un circuito a menos que haya exceso de electrones en un extremo y deficiencia de ellos en el otro. Esto se llama diferencia de potencial y se mide en voltios.

La corriente alterna se genera al desplazarse los electrones por su alambre, primero son atraídos en una dirección, luego en la contraria, de acuerdo con la razón de cambio del campo magnético del imán del generador

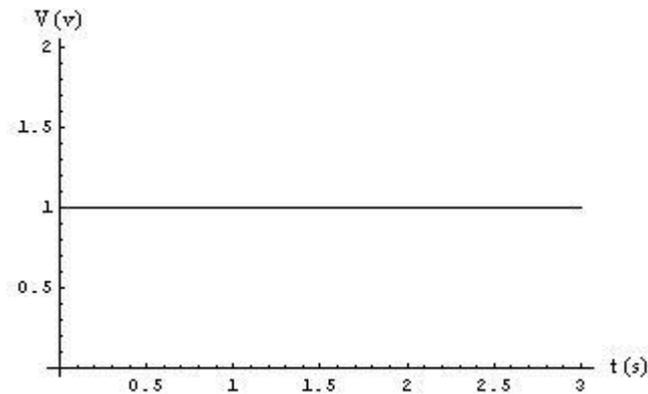
De manera convencional, se dice que la corriente fluye del polo positivo al negativo, como si la carga empujara a la electricidad hacia donde no la hay. Esta convención se estableció antes de que los científicos supieran que los electrones fluyen hacia la carga positiva.

Tipos de corriente (continua y alterna)

Existen dos tipos de corriente, la continua y la alterna, la corriente continua (CC o DC) se genera a partir de un flujo continuo de electrones (cargas negativas) siempre en el mismo sentido, el cual es desde el polo negativo de la fuente al polo positivo. Al desplazarse en este sentido los electrones, los huecos o ausencias de electrones (cargas positivas) lo hacen en sentido contrario, es decir, desde el polo positivo al negativo.

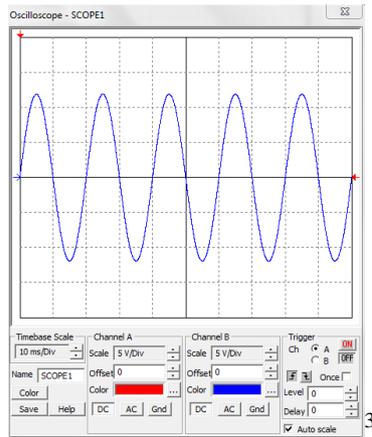
Pero por convenio, se escoge como corriente eléctrica al flujo de cargas positivas, aunque éste es a consecuencia del flujo de electrones, por tanto el sentido de la corriente eléctrica es del polo positivo de la fuente, al polo negativo y por lo tanto, contrario al flujo de electrones.

La corriente continua se caracteriza por su tensión, porque, al tener un flujo de electrones prefijado pero continuo en el tiempo, proporciona un valor fijo de ésta (de signo continuo), y en la gráfica V-t (tensión tiempo) se representa como una línea recta de valor V. Vamos a mostrarles una gráfica para poder visualizarlo mejor:

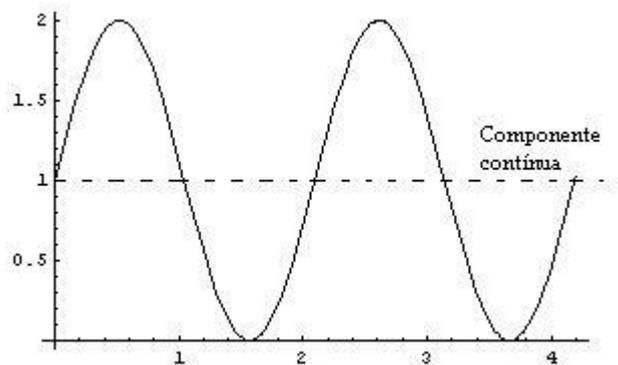


Por lo contrario, la corriente alterna no tiene un flujo de electrones en un sentido constante, sino que va cambiando de sentido y por tanto de signo continuamente, con tanta rapidez como frecuencia de oscilación tengan los electrones.

En la gráfica V-t, la corriente alterna se representa como una curva u onda, que puede ser de diferentes formas (cuadrada, sinusoidal, triangular, etc...) pero siempre caracterizada por su amplitud (tensión de cresta positiva a cresta negativa de onda), frecuencia (número de oscilaciones de la onda en un segundo) y período (tiempo que tarda en dar una oscilación). Vamos a mostrarles una gráfica de corriente alterna a 50 Hz:



Pero también podemos ver este tipo de gráfica sinusoidal de otra manera, vamos a verlo mejor en otra gráfica:



Frecuencias eléctricas (50 o 60 Hz)

La determinación de la frecuencia más conveniente vino debida a la necesidad de ir superando los problemas tecnológicos que iban apareciendo en la expansión de la energía eléctrica por todo el mundo.

Así, en los primeros años la energía eléctrica se utilizaba casi exclusivamente para la iluminación pública, hoteles, bancos y casas de personas más bien pudientes y para evitar los efectos estroboscópicos por las frecuencias utilizadas, que eran altas.

Cando se introdujo la energía eléctrica dentro de los procesos fabriles y el consumo de la energía debía de ir destinado, no solo a iluminación, sino a potencia se redujo la frecuencia de ésta hasta los valores actuales.

³ Esta gráfica la hicimos nosotros para la segunda práctica, en el programa PSIM.

El porqué de 50 Hz en Europa y de 60 Hz en EE.UU. fue la posición de preponderancia de AEG (Asociación General de Electricidad) en Europa y de GE (General Electric) en EE.UU., cuyos ingenieros se decantaron en su momento por una determinada frecuencia u otra.

Básicamente por el tipo de construcción de los motores eléctricos que generaban corriente alterna, cuya construcción venía determinada por un factor bastante importante, el número de polos necesarios para generar una determinada tensión, y por lo tanto, al tener bajas frecuencias facilitaba dicha construcción y reducía significativamente su coste.

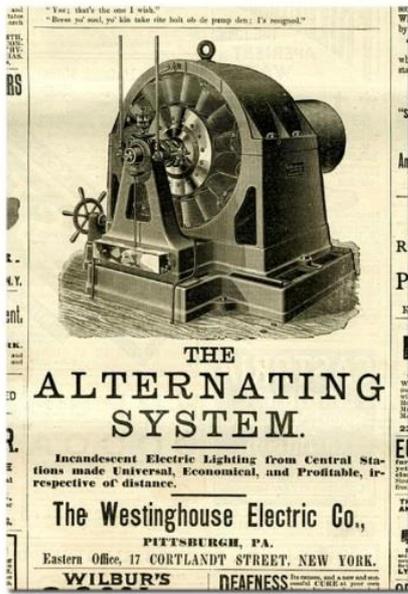
$$f = (p * n) / 120$$

f = frecuencia en Hz

p = número de polos

n = velocidad de giro del alternador en rpm

Por ejemplo, si necesitaban máquinas que trabajaban a unas 80 rpm, se requerían motores eléctricos de 200 polos alimentados a $133\frac{1}{3}$ Hz. Este problema, del elevado número de polos, no aparecía en Europa puesto que ya se trabajaba con 40 Hz, y por lo tanto se requerían generadores de 60 polos. Por eso al final acabaron usando las frecuencias de 50 Hz y 60 Hz.



Elementos principales y funciones

En este apartado vamos a poder ver los conceptos básicos de los circuitos eléctricos, los cuales nos servirán para más adelante, también veremos los elementos básicos que normalmente componen un circuito y los explicaremos, también que pueden provocar en un circuito en concreto. Veremos más detalladamente algunos de los conceptos a tener en cuenta, como por ejemplo, la inductancia y el campo magnético que puede tener y generar una bobina.

Fórmulas básicas

Vamos a mostrar las fórmulas básicas a tener en cuenta en un circuito, pero no por ser básicas son menos importantes, al contrario, nos sirven de mucho y son fundamentales.

- Empezaremos definiendo con fórmulas cómo definimos intensidad y voltaje:

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad i \quad \Delta V = \frac{E}{Q}$$

“La intensidad de corriente eléctrica es la cantidad de carga eléctrica Q que circula por la sección transversal de un conductor por unidad de tiempo.”

“La diferencia de potencial, se define como la energía suministrada por el generador E (joules), dividida entre la carga eléctrica Q que circula por el conductor.”

- La famosa ley de Ohm:

$$V = I * R \quad \text{o también} \quad V_{out} = V_{in} * \frac{R}{R + R_T}$$

Dicha fórmula nos muestra la caída de tensión entre dos puntos de un circuito. La R , es la resistencia que queremos calcular y la R_T , la resistencia total del circuito.

- Para poder saber la intensidad total que circula por un circuito:

$$I = \frac{V}{R_T}$$

- Para saber la potencia que hay en un circuito sin que tenga ningún tipo de desfase angular (el desfase es provocado por elementos pasivos como las bobinas y condensadores):

$$P = V * I \quad \text{o también la potencia en función de la resistencia} \quad P = I^2 * R$$

- Las inductancias y campos magnéticos, los consideraremos en el apartado 4. .
- Ley de Kirchhoff de los nodos y las mallas:

$$\sum I = 0 \quad \sum \varepsilon = \sum I * R$$

Dichas leyes significan, que “*la suma de las intensidades en cada nodo deben ser cero*” y “*en cada malla, la suma de las subidas de potencial provocadas por los generadores es igual a la suma de las caídas de tensión provocado por las resistencias*”.

- Valores eficaces de la tensión e intensidad en corriente alterna, ya que al ser corriente alterna dichos valores varían respecto del tiempo.

$$V_e = \frac{V_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}} \quad i \quad I_e = \frac{I_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}}$$

Conductores eléctricos

“Un conductor eléctrico es un material que ofrece poca resistencia al movimiento de carga eléctrica, lo que quiere decir que puede conducir corrientes eléctricas. Los materiales más típicos usados para hacer conductores es el cobre, el oro, el hierro y el aluminio, y sus aleaciones, aunque existen otros materiales no metálicos que también poseen la propiedad de conducir la electricidad, como el grafito o las disoluciones y soluciones salinas (por ejemplo, el agua de mar) o cualquier material en estado de plasma. La conductividad del material conductor más usado a 20 °C es igual a 58.0 MS/m.2, y es el del cobre.”

Los conductores también tienen una resistencia a pesar de ser conductores, la cual podemos calcular a partir de esta fórmula:

$$R = \rho * \frac{L}{S}$$

Donde la ρ es la resistividad del material usado como conductor, la L es la longitud del conductor y la S es la sección transversal del conductor.

También podemos diferenciar los conductores por su sección, para poder dividirlos se usan unas medidas estándar, por ejemplo en EE.UU., son tabuladas por “American Wire Gauge” (AWG) es un conjunto estándar de EE.UU. de tamaños de conductores de cable. Como ya habíamos dicho, el "calibre" está relacionado con el diámetro del alambre.

El estándar AWG incluye cobre, aluminio y otros materiales de alambre. Por ejemplo, en nuestra bobina Tesla, el calibre de cable usado en la bobina secundaria, es de 21 AWG = 0,723 mm de diámetro.

AWG	Diam. mm	Area mm ²	AWG	Diam. mm	Area mm ²
1	7.35	42.40	16	1.29	1.31
2	6.54	33.60	17	1.15	1.04
3	5.86	27.00	18	1.024	0.823
4	5.19	21.20	19	0.912	0.653
5	4.62	16.80	20	0.812	0.519
6	4.11	13.30	21	0.723	0.412
7	3.67	10.60	22	0.644	0.325
8	3.26	8.35	23	0.573	0.259
9	2.91	6.62	24	0.511	0.205
10	2.59	5.27	25	0.455	0.163
11	2.30	4.15	26	0.405	0.128
12	2.05	3.31	27	0.361	0.102
13	1.83	2.63	28	0.321	0.0804
14	1.63	2.08	29	0.286	0.0646
15	1.45	1.65	30	0.255	0.0503

Los conductores también se pueden clasificar según el amperaje que puedan soportar, la cual depende de la sección del conductor:

Sección del conductor de cobre según IRAM 2183 S (mm ²)	Corriente máxima admisible I (A)
1	9,6
1,5	13
2,5	18
4	24
6	31
10	43
16	59
25	77
35	96
50	116
70	148
95	180

Algunas de las aplicaciones de los conductores pueden ser:

- Conducir la electricidad de un punto a otro (pasar electrones a través del conductor; los electrones fluyen debido a la diferencia de potencial).

-Todas las fotos y videos están en un pendrive.

- Crear campos electromagnéticos al constituir bobinas y electroimanes.
- Modificar el voltaje al constituir transformadores.

3.3.3. Resistencias

-Las resistencias son componentes que ofrecen resistencia al paso de la corriente y las podemos clasificar, vamos a dar algunos ejemplos de resistencias:

- “Resistencias de hilo bobinado: Fueron de los primeros tipos en fabricarse, y aún se utilizan cuando se requieren potencias algo elevadas de disipación. Están constituidas por un hilo conductor bobinado en forma de hélice o espiral (a modo de rosca de tornillo) sobre un sustrato cerámico.”



- “Resistencias de carbón prensado: Estas fueron también de las primeras en fabricarse en los albores de la electrónica. Están constituidas en su mayor parte por grafito en polvo.”



- “Resistencias de película de carbón: Este tipo es muy habitual hoy día, y es utilizado para valores de hasta 2 vatios. Se utiliza un tubo cerámico como sustrato sobre el que se deposita una película de carbón.”



- “Resistencias de película de óxido metálico: Son muy similares a las de película de carbón en cuanto a su modo de fabricación, pero son más parecidas, eléctricamente hablando a las de película metálica. Se hacen igual que las de película de carbón, pero sustituyendo el carbón por una fina capa de óxido metálico (estaño o latón). Estas resistencias son más caras que las de película metálica, y no son muy habituales. Se utilizan donde se requiera gran fiabilidad, porque la capa de óxido es muy resistente a daños mecánicos y a la corrosión en ambientes húmedos.”



- “Resistencias de película metálica: Este tipo de resistencia es el que mayoritariamente se fabrica hoy día. Tienen un coeficiente de temperatura muy pequeño, del orden de 50 ppm/°C (partes por millón y grado Centígrado). También soportan mejor el paso del tiempo, permaneciendo su valor en ohmios durante un mayor período de tiempo. Se fabrican este tipo de resistencias de hasta 2 vatios de potencia, y con tolerancias del 1% como tipo estándar.”



- “Resistencias de metal vidriado: Son similares a las de película metálica, pero sustituyendo la película metálica por otra compuesta por vidrio con polvo metálico. Como principal característica cabe destacar su mejor comportamiento

ante sobrecargas de corriente, que puede soportar mejor por su inercia térmica que le confiere el vidrio de su composición. Como contrapartida, tiene un coeficiente térmico peor, del orden de 150 a 250 ppm/°C. Se dispone de potencias de hasta 3 vatios.”



- También hay las llamadas resistencias inductivas, las cuales consisten, en poner en un circuito una bobina como elemento de resistencia, normalmente, si se pone dicha resistencia inductiva, viene precedida por un condensador en resonancia a la frecuencia de trabajo de dicha bobina, para no provocar un desfase angular de la tensión respecto de la intensidad. Ya que una bobina en caso ideal, sin considerar ninguna resistencia en el circuito, provocaría un adelanto de 90° de la tensión respecto de la intensidad. En el caso de considerar la resistencia del circuito, provocaría otro ángulo de desfase, que como podemos deducir, considerando solamente la resistencia puramente imaginaria, lo que viene a ser la reactancia, provoca una desfase angular de 90°, pero en realidad, al tener una resistencia real e imaginaria, eso provoca que el ángulo de desfase varíe. Pero se debe tener cuidado, porque una resistencia en un circuito no provoca ningún tipo de desfase, solamente cuando se combina con una reactancia, ya sea inductiva o capacitiva, por lo tanto, una parte imaginaria con una real.

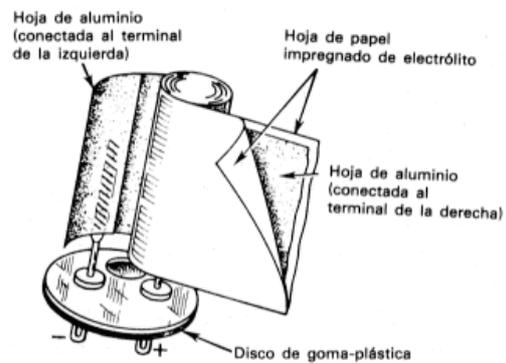
Dicha resistencia inductiva, depende de la frecuencia de trabajo del circuito, ya que la impedancia depende de la frecuencia: $Z = R + X_L$ $X_L = w * L$ $w = 2\pi f$

3.3.4. Condensadores

-“Un condensador o capacitor es un dispositivo formado por dos conductores o armaduras, generalmente en forma de placas o láminas, separadas por un material dieléctrico, que dichas placas, están sometidas a una diferencia de potencial, lo que causa,

que dichas placas adquieran una determinada carga eléctrica. Esa propiedad de almacenamiento de carga se denomina capacidad, y en el Sistema Internacional de unidades se mide en Faradios (F), siendo un faradio la capacidad de un condensador en el que, sus placas o armaduras, están sometidas a una diferencia de potencial de 1 voltio, las cuales adquieren una carga eléctrica de 1 culombio.”

$$C = \frac{Q}{\Delta V}$$



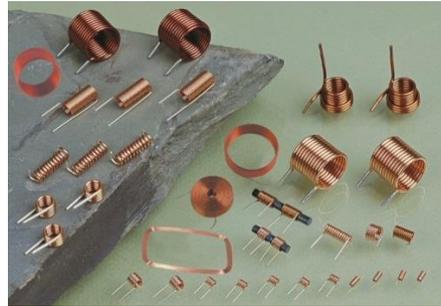
Los condensadores provocan un desfase angular teórico, y por lo tanto ideal, de 90°, dicho desfase, es del atraso de la tensión respecto de la intensidad.

3.3.5. Bobinas

-Una bobina es un elemento pasivo de un circuito, las cuales a causa del fenómeno de autoinducción almacenan energía forma de campo magnético, dicha energía se puede calcular mediante esta fórmula: $E = \frac{1}{2} * L * I^2$

También podemos saber la diferencia de potencial entre sus dos bornes: $\Delta V = L * \frac{di}{dt}$

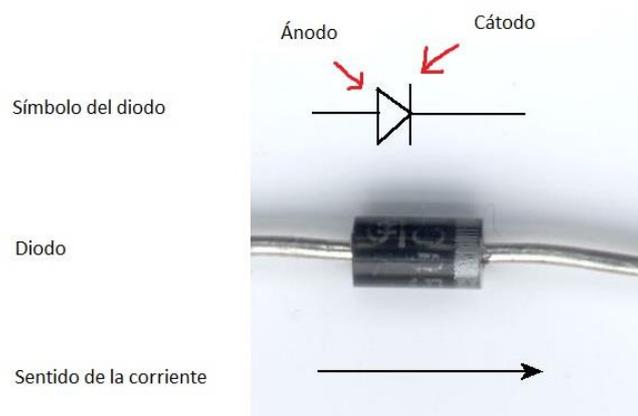
Las bobinas provocan un desfase angular teórico, y por lo tanto ideal, de 90° , dicho desfase, es del adelanto de la tensión respecto de la intensidad.



3.3.6. Diodos

-Un diodo es un elemento o componente electrónico el cual consta de dos bornes, los cuales solo permiten la circulación de la corriente en un solo sentido, esto se debe a que el diodo, cuando está sometido a diferencias de potencial negativas, se comporta como un circuito abierto, y por lo tanto no circula corriente, y cuando el diodo está sometido a diferencias de potencial positivas, se comporta como un circuito cerrado, y por lo tanto, circula corriente.

El diodo se compone de dos partes, el ánodo y el cátodo, los cuales tienen que ir en el sentido el cual va a ir la corriente para que circule corriente eléctrica.



2.3.6.1. LED

-En este apartado nos vamos a limitar a explicar que es un LED, ya que podría ser un tema bastante profundo. Los LED, son un tipo de diodo, también llamados como, diodos LED. Exactamente son diodos luminosos. Algunas de la ventajas de dichos diodos es que los LED de poca potencia, son relativamente más baratos que un bombilla, y por lo tanto, son más asequibles dependiendo del tipo de iluminaciones.

Uno de los inconvenientes que se han descubierto es que los LED que emiten una luz muy azul pueden provocar daño a la vista. Por último, decir que los LED de interior, al ser de alta potencia, son bastante caros, y en este caso, es más recomendable, comprar bombillas.

3.4. Diferencias entre electricidad y electrónica

-La diferencia principal entre electricidad y electrónica, es que la electricidad usa la circulación de corriente para transformarla en otro tipo de energía, como puede ser, mover las aspas de un ventilador, encender una bombilla, etc...

En cambio, la electrónica, es verdad que es muy parecida por algunos aspectos en común, pero la diferencia principal, es que la electrónica, usa la corriente eléctrica para el procesamiento de información, para entenderlo mejor, por ejemplo, la electrónica se usa para los ordenadores, para “tablets”, etc...

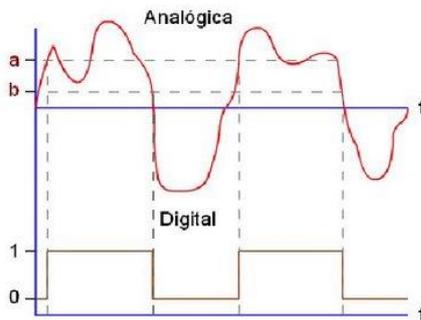
2.1.1. Electrónica (digital y analógica)



1

-La electrónica analógica se diferencia principalmente de la electrónica digital, porque en la digital, se usan números más exactos, en cambio, la electricidad analógica, estudia los sistemas cuyos valores mayoritariamente son con decimales y cuya precisión puede variar dependiendo de los sistemas usados para la medición, normalmente eso pasa a causa de los posibles errores, como por ejemplo, en un componente pasivo como puede ser una bobina en corriente alterna, los valores cambian respecto al tiempo.

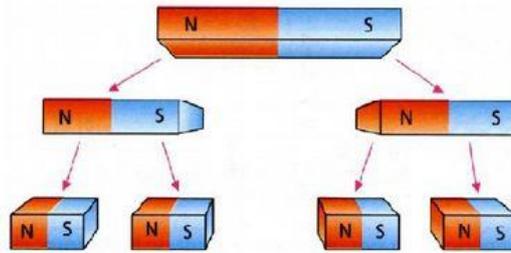
“Por lo tanto, la digital, usa como sistema de numeración el código binario (0,1) el cual codifica el voltaje con uno de esos dos estados (0,1) y la analógica hay una infinidad de estados de información que codifican el valor del voltaje.



3.5. Los imanes y los electroimanes

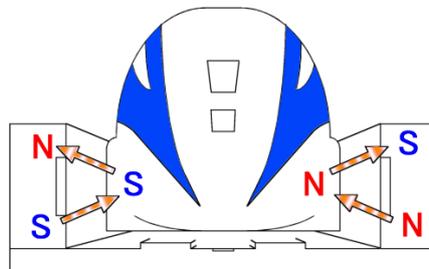
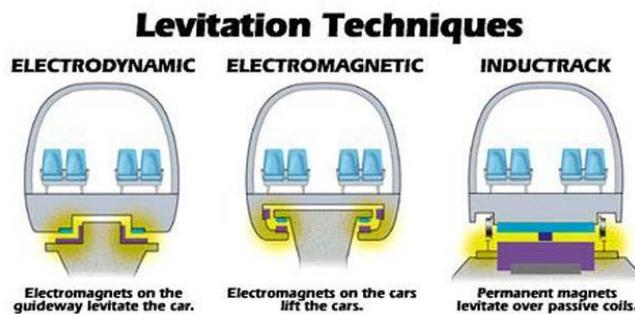
-Los imanes, están formados por átomos, dichos átomos son como por así decirlo, “pequeños imanes”. En algunas sustancias dichos átomos están ordenados, y por lo tanto, todo el conjunto, forma un lo que llamamos imán permanente ya que están ordenados por sí solos.

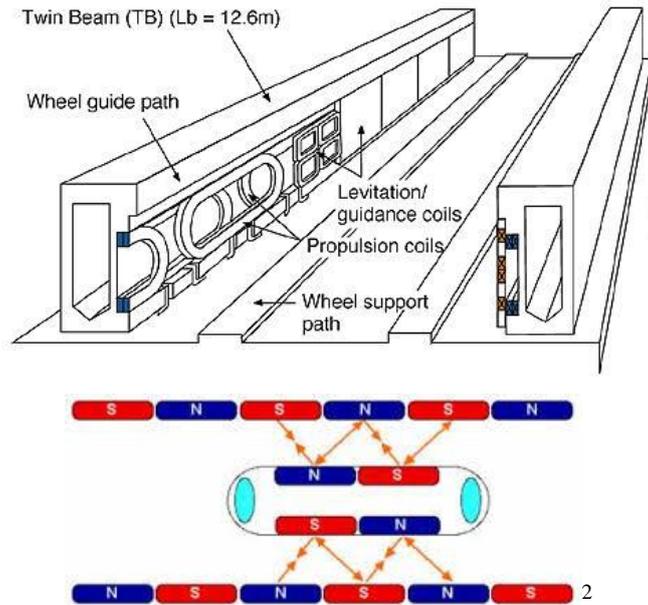
¹ Google Imágenes



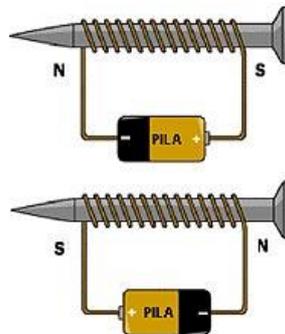
Hay tres maneras de clasificar la materia según cómo reaccionan al estar expuesta al campo magnético de un imán:

- Ferromagnética: Sustancia que se imanta fácilmente y mantiene las propiedades magnéticas durante mucho tiempo.
- Paramagnéticas: Sustancias que son atraídas por un imán, pero las propiedades magnéticas no perduran por mucho tiempo.
- Diamagnéticas: Sustancias que los imanes repelen ligeramente, un ejemplo de para qué se pueden usar dichas sustancias, es por ejemplo, en Japón, los trenes de alta velocidad funcionan sin tocar los raíles, por lo tanto, se desplazan de este modo más rápido gracias a que se mantiene el tren en el aire por los imanes. Para verlo con un poco más de claridad, vamos a mostrarles unas imágenes:





También existen los electroimanes, los cuales solamente, existen cuando circula corriente por la sustancia, como por ejemplo, una bobina, es un electroimán, ya que se produce campo magnético solo cuando circula corriente por su interior. Por lo tanto, un motor eléctrico, está compuesto por los electroimanes, que normalmente forman el rotor, y un imán permanente que es el estator; por lo que provoca un movimiento.



² Google imágenes

http://www.google.es/imgres?imgurl=http://3.bp.blogspot.com/-PoBPoe1hr80/TjXido7V_jl/AAAAAAAAABI/yleD01W6YB0/s1600/unidadelectri.gif&imgrefurl=http://jobspapa.com/tabla-medidas-electricas.html&h=515&w=514&sz=20&tbnid=3IDDIYhxWwbNYM:&tbnh=90&tbnw=90&zoom=1&usq= mj3PQhEWt 8h7QwVON4 V8FsORE=&docid=C0Wt5zaTtilnEM&sa=X&ei=HYqXUp3aMI-p7Aa7pYG4CQ&sqi=2&ved=0CD8Q9QEwBQ

https://www.google.es/search?q=simbolos+electricos&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ei=iYqXUp6_EKOR0AXCl4HwCg&ved=0CAcQ_AUoAQ&biw=1366&bih=680

<https://sites.google.com/site/anilandro/02600-bobina>

<http://www.aaroncake.net/circuits/inverter.asp>

<http://www.forosdeelectronica.com/attachment.php?attachmentid=3821&d=1192025544>

<http://veritasconexion.blogspot.com.es/2013/04/la-energia-libre-de-nikola-tesla-es.html>

<http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/1797/577027.pdf?sequence=1>

http://es.wikipedia.org/wiki/Leyes_de_Kirchhoff

<http://kaizerpowerelectronics.dk/tesla-coils/kaizer-sstc-ii/>

http://es.wikipedia.org/wiki/Bobina_de_Tesla

<http://www.youtube.com/watch?v=pfMc7gasD78>

http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_factor_potencia/ke_factor_potencia_4.htm

<http://es.wikipedia.org/wiki/Ionizaci%C3%B3n>

https://www.google.es/search?q=flujo+magn%C3%A9tico+perpendicular&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ei=6bGhUvOCO4GX1AWF2oCYCA&ved=0CAcQ_AUoAQ&biw=1366&bih=680#q=campo+magn%C3%A9tico+perpendicular+a+la+superf%C3%ADcie&tbn=isch&facrc= &imgdii= &imgrc=P01zkZHCKehP9M%3A%3BIUd-xUkz7yn4mM%3Bhttp%253A%252F%252Feducativa.catedu.es%252F44700165%252Faula%252Farchivos%252Frepositorio%252F%252F2750%252F2956%252Fhtml%252Fcampo_2.bmp%3Bhttp%253A%252F%252Feducativa.catedu.es%252F44700165%252Faula%252Farchivos%252Frepositorio%252F%252F2750%252F2956%252Fhtml%252F13_flujo_magntico.html%3B302%3B245

http://issuu.com/oreales90/docs/informe_capacitores_en_serie_y_paralelos_1

[https://www.google.es/search?q=Modulaci%C3%B3n+Sigma-](https://www.google.es/search?q=Modulaci%C3%B3n+Sigma-Delta&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=CqSkUqniJePM0QXPmYGQCg&ved=0CAcQ_AUoAQ&biw=1366&bih=680#facrc=&imgdii=&imgrc=qjRi_lgfzxZewM%3A%3BpLcQPNg0ks7_cm%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.huarpe.com%252Felectronica2%252Fcapitulo%252Fcapitulo12%252Fhtml%252Fimages%252FoscoscopioDS.gif%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.huarpe.com%252Felectronica2%252Fcapitulo%252Fcapitulo12%252Fhtml%252Fsigmadelta.html%3B689%3B451)

[Delta&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=CqSkUqniJePM0QXPmYGQCg&ved=0CAcQ_AUoAQ&biw=1366&bih=680#facrc=&imgdii=&imgrc=qjRi_lgfzxZewM%3A%3BpLcQPNg0ks7_cm%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.huarpe.com%252Felectronica2%252Fcapitulo%252Fcapitulo12%252Fhtml%252Fimages%252FoscoscopioDS.gif%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.huarpe.com%252Felectronica2%252Fcapitulo%252Fcapitulo12%252Fhtml%252Fsigmadelta.html%3B689%3B451](https://www.google.es/search?q=Modulaci%C3%B3n+Sigma-Delta&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=CqSkUqniJePM0QXPmYGQCg&ved=0CAcQ_AUoAQ&biw=1366&bih=680#facrc=&imgdii=&imgrc=qjRi_lgfzxZewM%3A%3BpLcQPNg0ks7_cm%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.huarpe.com%252Felectronica2%252Fcapitulo%252Fcapitulo12%252Fhtml%252Fimages%252FoscoscopioDS.gif%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.huarpe.com%252Felectronica2%252Fcapitulo%252Fcapitulo12%252Fhtml%252Fsigmadelta.html%3B689%3B451)

<http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?IdArticulo=196>

http://html.rincondelvago.com/corriente-electrica_5.html

[http://es.wikipedia.org/wiki/Tensi%C3%B3n_\(electricidad\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Tensi%C3%B3n_(electricidad))

http://mx.selecciones.com/contenido/a2299_que-es-la-electricidad

http://kaizerpowerelectronics.dk/wp-content/gallery/2009_03_15_-_kaizer_SSTC_II/KaizerSSTCIIbridge.gif

http://webs.ono.com/mariadoloresmarin/PDF/F2b_32_IEM_CM.pdf

<http://www.frino.com.ar/simbologia.htm>

<http://bibliotecadigital.univalle.edu.co:8000/bitstream/10893/1392/1/Diseno%20y%20construccion%20de%20una%20bobina%20tesla.pdf>

http://www.portaleso.com/portaleso/trabajos/tecnologia/ele.yelectro/t4_electromagnetismo.pdf

<http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/3esofisicaquimica/impresos/quincena11.pdf>

http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2007/baillarie_p/sources/baillarie_p.pdf

<http://answers.yahoo.com/question/index?qid=20060714160552AA3MqsK>

http://es.wikipedia.org/wiki/Electr%C3%B3nica_anal%C3%B3gica

http://kaizerpowerelectronics.dk/wp-content/gallery/2009_03_15_-_kaizer_SSTC_II/KaizerSSTCIIdriver.gif

<http://kaizerpowerelectronics.dk/tesla-coils/kaizer-sstc-ii/>

<http://www.entuxia.com/financiacion/wp-content/uploads/MODELO-DE-NEGOCIO-CANVAS-EJEMPLO.pdf>

<http://www.youtube.com/watch?v=2TVqrX17ULc>

<http://www.youtube.com/watch?v=XM2B-Lp6iTY>

http://www.youtube.com/watch?v=n2F_PeggyKk

<http://www.youtube.com/watch?v=7PDeK6rprA4>

<http://www.youtube.com/watch?feature=endscreen&NR=1&v=cgdhTouEPjk>

<http://identidadgeek.com/haciendo-musica-con-bobinas-de-tesla/2011/05/>

<http://www.youtube.com/watch?v=P75Z7AN6GkA>

<http://html.rincondelvago.com/formulas-en-fisica-general.html>

http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/fis/magnet.pdf

<http://proyectofisica10b.blogspot.com.es/>

<http://www.youtube.com/watch?NR=1&v=0vVoyXsVavc&feature=endscreen>

<http://www.youtube.com/watch?NR=1&v=Hwv4I0-Xx1M&feature=endscreen>

<http://www.youtube.com/watch?v=MFohadroheM>

<http://www.youtube.com/watch?v=IE3I-lfWPI8>

<http://www.youtube.com/watch?v=moO-XhyGG8M>

http://www.youtube.com/watch?v=cFots_wnThM

<http://www.youtube.com/watch?v=L9t-55QvuyQ>

<http://www.youtube.com/watch?v=VY47I0d3axA>

<http://www.youtube.com/watch?v=gDgsGL3D-l4>

<http://www.youtube.com/watch?v=HAJkBKiUjxk>

<http://www.youtube.com/watch?v=1-wks2dj14A>

<http://www.youtube.com/watch?v=QMQqnaWUA98>

<http://www.youtube.com/watch?v=pxLw0YU3pXg>

<http://www.youtube.com/watch?v=ugGIL-KL5rc>

<http://www.youtube.com/watch?v=X2PrPHgOy04>

http://www.youtube.com/watch?v=uU7qhnUG_Co

<http://www.youtube.com/watch?NR=1&v=vcaFWg-FvbQ&feature=endscreen>

<http://www.youtube.com/watch?v=nbyRptrYbBo>

http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2007/baillarie_p/sources/baillarie_p.pdf

http://www.youtube.com/watch?v=Zif-Y8L8y_w

<http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/3esofisicaquimica/impresos/quincena11.pdf>

<http://www.3djuegos.com/foros/tema/3677482/0/el-tesla-la-electricidad-inalambrica/>

<http://tecnologia-en-tu-mano.blogspot.com.es/2011/10/nikola-tesla.html>

http://www.viasatelital.com/proyectos_electronicos/capacitores.htm

<http://www.youtube.com/watch?v=I3162qbeRYw>

<http://ca.wikipedia.org/wiki/Explosor>

<http://www.slideshare.net/kaznar/cmo-hacer-una-bobina-tesla>

<http://www.youtube.com/watch?v=peSi6XWITtY>

<http://www.taringa.net/posts/info/1121019/Construi-tu-propia-bobina-Tesla.html>

<http://es.wikihow.com/hacer-una-bobina-de-Tesla>

<http://www.neoteo.com/witricity-la-venganza-de-nikola-tesla>

<http://www.youtube.com/watch?v=GTHU9L1j9GE>

http://www.portaleso.com/portaleso/trabajos/tecnologia/ele.yelectro/t4_electromagnetismo.pdf

<http://cmagnetico.blogspot.com.es/2009/06/inductancia-magnetica.html>

<http://www.youtube.com/watch?v=njsuJyE30qw>

<http://www.youtube.com/watch?v=TlFn-4SJ7w>

<http://www.youtube.com/watch?v=n82tRKIOZ2I>

<http://www.youtube.com/watch?v=3K4S-KSLup0>

<http://es.answers.yahoo.com/question/index?qid=20090207144116AAe4XD7>

http://bibliotecadigital.univalle.edu.co:8000/bitstream/10893/1392/1/Diseno_y_construccion_de_una_bobina_tesla.pdf

http://es.wikipedia.org/wiki/Acoplamiento_magn%C3%A9tico

http://www.geocities.ws/pnavar2/continua/bobin_dc.html

http://cursos.aiu.edu/Electricidad_y_Magnetismo_en_Ingenieria/PDF/Tema_3.pdf

<http://www.ing.unlp.edu.ar/cys/DI/electromagnetismo.pdf>

http://www.engineeringtoolbox.com/awg-wire-gauge-circular-mils-d_819.html

<http://www.youtube.com/watch?v=TlFn-4SJ7w>

<http://www.youtube.com/watch?v=I3162qbeRYw>

<http://www.youtube.com/watch?v=cgdhTouEPjk>

https://www.google.es/-q=que+es+la+frecuencia+resonante&spell=1&sa=X&ei=2IPqUeiiMoSO7AaQj4DIDA&ved=0CCoQvwUoAA&bav=on.2,or.r_cp.r_qf.&bvm=bv.49478099%2Cd.ZWU%2Cpv.xjs.s.en_US.c75bKy5EQQA.O&fp=d5c6484944d33564&biw=1366&bih=681

http://repositorio.innovacionmh.es/Proyectos/P_19/Tema_3/UMH_06.htm

http://www.sinais.es/Recursos/Curso-vibraciones/resonancia/introduccion_resonancia.html

<http://es.answers.yahoo.com/question/index?qid=20090207144116AAe4XD7>

<http://www.youtube.com/watch?v=1-wks2dj14A>

<http://www.youtube.com/watch?v=WZBNQNiE2nY>

<http://www.forosdeelectronica.com/f34/calcular-bobinas-nucleo-11839/>

<http://www.nichese.com/trans-real.html>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Resistividad>

<http://www.youtube.com/watch?v=3K4S-KSLup0>

https://www.google.es/-sclient=psy-ab&q=caracter%C3%ADsticas+de+los+leds+de+12+V&oq=caracter%C3%ADsticas+de+los+leds+de+12+V&gs_l=hp.3...108288.119200.1.119414.35.29.6.0.0.10.470.4495.0j25j4-2.27.0...0.0..1c.1.20.psy-ab.wRCx_qnDWbl&pbx=1&bav=on.2,or.r_cp.r_qf.&bvm=bv.49641647%2Cd.ZWU%2Cpv.xjs.s.en_US.NyLNrjc7wJY.O&fp=f97f47d6a169def7&biw=1366&bih=681

https://www.google.es/-q=Como+afecta+la+frecuencia+en+un+circu%C3%ADto&spell=1&sa=X&ei=bprxUY_tEMGN7Qbt3oGADA&ved=0CCoQvwUoAA&bav=on.2,or.r_cp.r_qf.&bvm=bv.49784469%2Cd.ZWU%2Cpv.xjs.s.en_US.MpiVkJF51mpA.O&fp=2c0156bf7429298c&biw=1366&bih=681

<http://mx.answers.yahoo.com/question/index?qid=20121104003930AAxmRUY>

https://www.google.es/-output=search&sclient=psy-ab&q=como+influye+la+frecuencia+en+un+circuito&oq=como+influye+la+freq%C3%BCencia+en+un+&gs_l=hp.1.2.0i13j0i13i30l2.2266.11967.0.14801.33.27.0.6.6.0.253.4436.0j22j5.27.0...0.0..1c.1.20.psy-ab.6A3P_tDI3Cw&pbx=1&bav=on.2,or.r_cp.r_qf.&bvm=bv.49784469%2Cd.ZWU%2Cpv.xjs.s.en_US.MpiVkJF51mpA.O&fp=2c0156bf7429298c&biw=1366&bih=681

<http://www.sc.edu/sbweb/fisica/electromagnet/induccin/alterna1/alterna1.htm>

<http://es.answers.yahoo.com/question/index?qid=20070623113946AAspxdQ>

<http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/1797/577027.pdf?sequence=1>

<http://es.scribd.com/doc/61941361/Resistencia-Dielectrica>

<http://personales.upv.es/jquiles/prffi/conductores/ayuda/hlpkdielectrica.htm - tabla>

<http://www.microwaves101.com/encyclopedia/inductormath.cfm>

http://issuu.com/oreales90/docs/informe_capacitores_en_serie_y_paralelos_1

<http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/15777676/Fabricacion-de-una-Bobina-de-Tesla-Casera.html>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Reactancia>

<http://www.ingenieraiycalculos.com/matematicas/geometria/figuras3d/calculadora/toroide>

http://www.aidesigner.com/phpinductor/flat_spiral_air_coil.php

<http://www.shoptronica.com/cables-flexibles-unipolar/1390-hilo-de-cobre-esmaltado-en-bobinas.html>

<https://sites.google.com/site/anilandro/02600-bobina>

http://personales.unican.es/perezvr/pdf/CH3ST_Web.pdf

<http://www.afinidadelctrica.com.ar/articulo.php?IdArticulo=196>

<http://www.youtube.com/watch?v=AQ2vgezeueA&list=PLUWpS78nitCTOd6kDYdDHMyd6gIRWDVPM>

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1983/1/621382P438.pdf>

<http://www.youtube.com/watch?v=LqXWRLkoTvU>

<http://www.youtube.com/watch?v=uQ2zIJSRnS8>

<http://www.youtube.com/watch?v=cUy1oFMJZYs>

<http://www.youtube.com/watch?v=jw8pLwf7YJY>

<http://www.youtube.com/watch?v=LhYW6SBbQ5Q>

<http://www.ifent.org/lecciones/cap06/cap0605.asp>

<http://coilgun.info/theory/home.htm>

<http://www.amasci.com/miscon/whatis.html>

<http://www.youtube.com/watch?v=pGPDwnYxWps>

<http://www.youtube.com/watch?v=4kgVRdcH6Qg>

<http://www.youtube.com/watch?v=PQNHsS-BNs4>

<http://www.coilgun.eclipse.co.uk/theory.html>

http://www.coilgun.eclipse.co.uk/math_1.html

<http://es.wikipedia.org/wiki/Electroim%C3%A1n>

http://es.wikipedia.org/wiki/Condensador_el%C3%A9ctrico

<http://www.iesantoniodebrija.es/tecnologia/images/stories/departamento/TIndustrial/cc/7-BobinasCC.pdf>

<http://www.electrowork.com.ar/ElectroTiger/Impedancia.htm>

http://electronica.ugr.es/~amroldan/asignaturas/curso03-04/cce/practicas/resistencias/codigos_colores.htm

http://www.cifp-mantenimiento.es/e-learning/index.php?id=1&id_sec=7

http://library.thinkquest.org/10784/circuit_symbols.html

http://www.youtube.com/watch?v=fT5_MmeSeDU
<http://www.youtube.com/watch?v=pfMc7gasD78>
http://www.youtube.com/watch?v=mX-4IU_ICQs
<http://www.youtube.com/watch?v=6Hq-MmWC0WU>
<http://www.energylabs.com.br/el/calculadora/toroid>
<http://kaizerpowerelectronics.dk/tesla-coils/kaizer-sstc-ii/>
http://en.wikipedia.org/wiki/Delta-sigma_modulation
<http://www.richieburnett.co.uk/resonant.html> - resonant
<http://www.richieburnett.co.uk/tesla.shtml>
<http://www.frino.com.ar/simbologia.htm>
http://www.deepfriedneon.com/tesla_frame6.html
http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_potencial
http://es.wikipedia.org/wiki/Dipolo_magn%C3%A9tico
http://es.wikipedia.org/wiki/Momento_magn%C3%A9tico
<http://www.slideshare.net/torimatcordova/fuerza-magnetica-y-campo-magnetico-14824026>
http://es.wikipedia.org/wiki/Regla_de_la_mano_derecha
<http://blogs.km77.com/celedonioyocogolludo/3340/cargador-de-induccion-el-futuro-sera-sin-cables/>

El apartado de historia, esta copiado de wikipedia, hay párrafos, pero no todo, solamente en párrafos, para reducir dicha bibliografía. Pero hay que incluir la wikipedia en la historia de los inventores.