

**CONSTRUCCIÓN DE LA BOBINA DE TESLA PARA LA INSTITUCIÓN  
UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO**

**LAURA CATALINA ESTRADA RODRIGUEZ**

**ELKIN DARIO HERRERA PALACIO**

**JONATAN ALEXANDER VIDALES PEREZ**

**ASESOR**

**JORTIN VARGAS**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**TECNOLOGIA ELÉCTRICA**

**MEDELLÍN**

**2013**

## CONTENIDO

|  | Pág. |
|--|------|
| INTRODUCCIÓN                             | 5    |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA            | 6    |
| 1.1. Descripción                         | 6    |
| 2. JUSTIFICACIÓN                         | 7    |
| 3. OBJETIVOS                             | 8    |
| 3.1. OBJETIVOS GENERAL                   | 8    |
| 3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS               | 8    |
| 4. ESBOZO DE REFERENTES TEÓRICOS         | 9    |
| 4.1. HISTORIA DE NIKOLA TESLA            | 9    |
| 4.1.1. La historia de la Bobina de Tesla | 15   |
| 4.2. CONCEPTOS BÁSICOS                   | 17   |
| 4.2.1. Capacitor o Condensador           | 17   |
| 4.2.2. Capacidad eléctrica               | 17   |
| 4.2.3. Inductor o bobina                 | 17   |
| 4.2.4. Inductancia eléctrica             | 18   |
| 4.2.5. Frecuencia                        | 19   |
| 4.2.6. Radiofrecuencia                   | 19   |
| 4.2.7. Oscilador                         | 19   |
| 4.2.8. Frecuencia natural                | 19   |
| 4.2.9. Transmisión inalámbrica           | 20   |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 5.     | DESCRIPCIÓN TÉCNICA   | 22 |
| 5.1.   | CONSTRUCCIÓN DE UNA BOBINA TESLA                            | 24 |
| 5.2.   | FUNCIONAMIENTO  | 25 |
| 6.     | METODOLOGÍA   | 26 |
| 6.1.   | TIPO DE ESTUDIO   | 26 |
| 6.2.   | EL MÉTODO   | 27 |
| 6.3.   | POBLACIÓN   | 27 |
| 6.4.   | TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN                      | 27 |
| 6.4.1. | Fuentes primarias   | 27 |
| 6.4.2. | Fuentes secundarias   | 27 |
| 7.     | RESULTADOS DEL PROYECTO                                     | 28 |
| 7.1.   | DISEÑO DE LA BOBINA DE TESLA                                | 28 |
| 7.1.1. | Transformador primario                                      | 28 |
| 7.1.2. | Construcción del capacitor                                  | 30 |
| 7.1.3. | Cálculo de la bobina primaria                               | 31 |
| 7.1.4. | Cálculo de la bobina secundaria                             | 34 |
| 7.1.5. | Construcción del Toroide                                    | 36 |
| 7.1.6. | El descargador de Spark Gap                                 | 38 |
| 7.1.7. | Construcción de los electrodos del descargador de la bobina | 39 |
| 7.1.8. | Ensamblaje de la Bobina de Tesla                            | 39 |
| 7.2.   | ELABORACIÓN DE MANUALES                                     | 40 |
| 7.2.1. | Manual de uso   | 40 |
| 7.2.2. | Protocolo de seguridad                                      | 40 |

|      |                                     |    |
|------|-------------------------------------|----|
| 7.3. | MANTENIMIENTO DE LA BOBINA DE TESLA | 43 |
| 7.4. | CONTAMINACIÓN ELECTROMAGNETICA      | 44 |
| 7.5. | RETIE                               | 45 |
| 8.   | CONCLUSIONES                        | 47 |
| 9.   | RECOMENDACIONES                     | 48 |
|      | BIBLIOGRAFIA                        | 49 |
|      | CIBERGRAFIA                         | 50 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                       | Pág. |
|---------------------------------------|------|
| Fig. 1. Nikola Tesla                  | 9    |
| Fig. 2. Bobina de Tesla               | 16   |
| Fig. 3. Campo Magnético-              | 18   |
| Fig. 4. Inducción de Campo Magnético- | 18   |
| Fig. 5. La Bobina de Tesla            | 21   |
| Fig. 6. Circuito de la Bobina         | 23   |
| Fig. 7. Diagrama Esquemático          | 24   |
| Fig. 8. Transformador primario        | 29   |
| Fig. 9. Banco de condensadores        | 30   |
| Fig. 10. Bobina primaria              | 33   |
| Fig. 11. Bobina secundaria            | 35   |
| Fig. 12. Toroide                      | 37   |
| Fig. 13. Spark gap                    | 38   |

## INTRODUCCIÓN

La Bobina Tesla es un dispositivo capaz de emitir cargas eléctricas que pueden llegar a medir varios metros y emitir luz por medio de la generación de pulsos de alta tensión.

La bobina tesla funciona bajo el principio de doble resonancia en el cual su bobina primaria y secundaria conforman un transformador con núcleo de aire. Fue planteada y construida por Nikola Tesla en el año de 1891 mientras estudiaba la posibilidad de la transmisión de energía sin conductores. Este generador de alto voltaje a alta frecuencia puede desarrollar voltajes superiores a 100 KV con formas de onda como oscilaciones amortiguadas.

# 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1. DESCRIPCIÓN

Dentro de los procesos de formación académica la unión de los ejes teóricos y prácticos es indispensable, en este orden de ideas el presente trabajo busca dar solución a la separación existente en este punto, partiendo del hecho evidenciado en el área de la tecnología eléctrica donde además de los conceptos teóricos y fundamentos científicos que se aprenden a lo largo de la carrera, es preciso para los estudiantes tener elementos prácticos que permitan la experimentación y comprobación de los mismos.

El instituto universitario Pascual Bravo, destaca dentro del currículo aplicado a la carrera de tecnología eléctrica módulos temáticos enfocados en electromagnetismo, análisis de circuitos, transformación y manejo de la energía, vistos y estudiados dentro de los espacios de clase magistral, sin embargo es notable la falencia existente en la aplicación de estos conocimientos en otros espacios e instrumentos que pongan a prueba a los estudiantes y sus habilidades.

Lo anterior nombra una falencia epistemológica en la formación profesional del estudiantado y llama a la participación de estos en la innovación de instrumentos que puedan usarse para dar una respuesta estratégica y eficiente a la problemática expuesta, además de posibilitar la motivación hacia áreas del conocimiento de gran importancia en el contexto actual como es la investigación y experimentación de la energía eléctrica.

Posibilitando de esta forma que el instituto universitario Pascual Bravo, se siga posicionando como una institución universitaria líder en Educación Superior Tecnológica, comprometida socialmente con la formación de profesionales íntegros, con certificación de calidad en nuestros procesos y en busca de la excelencia académica, a través de modelos pedagógicos dinámicos que respondan a las necesidades de la región y del país. Apoyando las investigaciones y las nuevas formas de estudio tecnológico.

## 2. JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto se enmarca dentro de los procesos de formación académica de la Institución Universitaria Pascual bravo, específicamente de la tecnología eléctrica, con el objetivo de promover el estudio y la investigación de tecnologías que permitan el conocimiento de los estudiantes en área como la practica en campos electromagnéticos, análisis de circuitos, entre otros.

Por lo tanto los resultados pretenden fomentar que en el desarrollo del aprendizaje de la energía eléctrica, donde se encuentran parámetros de fenómenos y comportamientos físicos que a la fecha solo pueden ser observados desde un embozo teórico, puedan ser analizadas desde la práctica, es decir, desde la totalidad de la comprensión de los fenómenos.

Es necesario mejorar el aprendizaje y la profundización en los conocimientos adquiridos en el aula de clase, que para el tema de interés de este trabajo, se puede lograr con el diseño y construcción de una bobina de Tesla, ya que, dada la versatilidad e infinidad de posibles aplicaciones de la bobina de Tesla esta se convertirá en un elemento con fines educativos y científicos buscados por la institución dado que a partir de ella se puede motivar aún más a los estudiantes hacia diversos campos de la investigación y experimentación de le energía eléctrica.

La construcción de la bobina de Tesla posibilita la visualización de ciertos fenómenos eléctricos y el poder entender dichos efectos, así como el estudio y demostración del campo electromagnético que se forma a través del circuito y la transformación de la energía.

De este modo se puede concluir que al fomentar el desarrollo e innovación de estrategias que posibiliten una formación de calidad en los estudiantes, estos puedan dar respuestas eficientes a las demandas laborales y sociales de la contemporaneidad, y posicionar a la institución universitaria como una entidad de educación superior líder en el contexto.



### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Construir un prototipo de bobina de Tesla para la investigación y experimentación de los fenómenos eléctricos en la Institución Universitaria Pascual Bravo.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Experimentar los factores que llevaron a la innovación de herramientas eléctricas como la bobina de Tesla y resaltar los beneficios que puede ofrecer a nuestra época.

Describir los procesos para el desarrollo de la bobina de Tesla utilizando los conocimientos teóricos adquiridos durante el proceso formativo.

Conocer de manera directa los fenómenos eléctricos y sus efectos, motivando a la investigación y comprobación de teorías preestablecidas.

## 4. ESBOZO DE REFERENTES TEÓRICOS<sup>1</sup>

### 4.1. HISTORIA DE NIKOLA TESLA

Nikola Tesla nació en 1856 en el seno de una familia serbia que vivía en una ciudad croata del sur del Imperio Austro-Húngaro. Su padre abandonó la carrera militar para convertirse en sacerdote de la Iglesia Ortodoxa Serbia. Si bien su madre no recibió educación formal alguna, era brillante y tenía una memoria excepcional. Tesla siempre decía que su madre era la fuente de sus capacidades intelectuales.

Su materia favorita en la escuela era Matemática. Si le daban a resolver un problema, no necesitaba de un pizarrón o una hoja de papel. Tesla tenía la extraordinaria capacidad de registrar en su mente todos los pasos necesarios para solucionar el problema, como si él mismo lo hubiese inventado. Esta habilidad para resolver problemas matemáticos y visualizar diseños de ingeniería le fue de gran utilidad en distintas etapas de su vida.

Nikola tenía una memoria prodigiosa y era un ávido lector. También aprendió varios idiomas. Esto le permitió acceder a textos escritos en diversas lenguas.

**Fig. 1. Nikola Tesla**

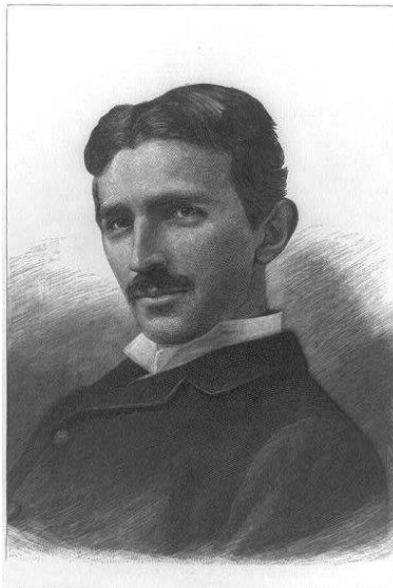


Foto tomada de [http://es.wikipedia.org/wiki/Nikola\\_Tesla](http://es.wikipedia.org/wiki/Nikola_Tesla)

---

<sup>1</sup> Archivo tomado de [http://es.wikipedia.org/wiki/Nikola\\_Tesla](http://es.wikipedia.org/wiki/Nikola_Tesla)

Desde su más temprana edad, Tesla armaba complejos dispositivos mecánicos con cualquier material que tuviera disponible. De Nikola Tesla siempre se hablará. Fue un ser al decir de sus biógrafos adelantado en todo a su tiempo. Sus inventos fueron simplemente extraordinarios y aún hoy por hoy se desconoce la dimensión de toda su obra, ya que muchos de sus escritos y ensayos fueron archivados por la inteligencia secreta de la época y por las agencias de seguridad internacional de hoy día.

Nikola Tesla nació en la zona de los Alpes, en Croacia el 9 de julio de 1856. Hijo de un pastor de la Iglesia y de una mujer muy famosa en la región por su extraordinaria inteligencia, una mujer que -por ejemplo- tenía una memoria fotográfica y recitaba de memoria miles de poemas servicios y pasajes bíblicos.

Nikola Tesla murió en 1943, a los 87 años de edad.

Este extraordinario inventor fue básicamente un “descubridor de nuevos principios”. Fue el inventor de los generadores de corriente alterna multifásica que hoy iluminan todas las ciudades del mundo. Fue el inventor original de la radio, hecho que registró en papeles y demostró públicamente cinco años antes que Marconi. También a comienzos de éste siglo discutía la factibilidad de lograr la televisión tal como la concebimos hoy y que apareció masivamente después de su muerte.

Creó también un desintegrador atómico capaz de evaporar rubíes y diamantes. Construyó lámparas de neón sin hilos, que daban más luz que las actuales. Entre sus fabricaciones se cuentan también los precursores de los actuales microscopios electrónicos, las fotografías láser y lo que él llamó las “sombra grafías” que no eran otra cosa que las placas logradas con Rayos X, que mando en 1895 a Roentgen, el descubridor de estos rayos, quien pudo constatar la similitud de las placas que había logrado, con las que mucho tiempo antes Tesla usaba.

También 75 años antes de que el gran investigador Kirliam diera su nombre a la máquina capaz de fotografiar el cuerpo energético de seres vivos y plantas, Nikola

Tesla experimentaba con ella.

Todos estos excelentes inventos los logró antes del 1900.

Trabajo muy cerca de Thomas Edison, vendió sus patentes en un millón de dólares a George Westinghouse, fue gran amigo del escritor Mark Twain y contó con el apoyo financiero de J.P. Morgan, el magnate de su época; pero aun así, muy poca gente ha escuchado hablar de él; incluso se lo conoce más por la literatura ocultista que por sus inventos.

Y cuando hablo de su relación con el ocultismo, me refiero específicamente a la versión de su nacimiento venusino, apoyada esta creencia en la capacidad

psíquica de Tesla, su celibato y sus contactos extraterrestres registrados en 1900; además de su capacidad inventiva adelantada a su tiempo.

Después de su muerte, en 1956, la escritora Margaret Storm en su libro “Retorno del Ave” y refiriéndose a Tesla decía que fue un hombre que “cayó a la Tierra” con la misión de iluminar a la humanidad y traer la automatización. Tesla, por su parte, se reía de la parapsicología y el espiritismo y afirmaba que el hombre es una máquina. Attendía su cuerpo con lo que llamaba “principios de ingeniería”, seguía una dieta vegetariana y dormía solamente tres horas diarias.

Entre las proezas, se cuenta que miles de voltios eléctricos pasaron por su cuerpo para encender lámparas, explotar discos de plomo y derretir trozos de metal que sostenía en su mano, mientras la electricidad actuaba en él.

Creó también un disparador de 135 pies con ruido de trueno incluido, además de inventar el robot de control remoto, mucho antes que Marconi experimentara con ondas de radio, en 1890.

Nikola Tesla almacenaba todo en su cerebro. Ya en la escuela se destacaba porque resolvía los problemas matemáticos siempre en forma mental y ya de adulto, diseñaba sus inventos visualizándolos, y llevándolos a la práctica muchos años después directamente, sin bosquejos previos.

En determinado momento de su vida, debido a su tozudez en finalizar todos los proyectos que había iniciado, su sistema nervioso decayó y sufrió un colapso físico total. Su súper sensibilidad magnificaba su poder receptivo miles de veces. Fue así que sus agotados nervios se estremecían a la vista de la luz solar o ante el ruido del tráfico; incluso no soportaba el zumbido de las moscas o el tic-tac de un reloj ubicado en una habitación vecina, ya que esos pequeños ruidos, en su cerebro, retumbaban como puede retumbar en nuestras cabezas una gran explosión.

En ese momento de gran sensibilidad aseguraba que podía encontrar objetos en la oscuridad con la ayuda de una luz en su mente.

Luego, ya repuesto de este colapso, mientras realizaba una de sus primeras caminatas junto a un amigo, cayó en trance mientras recitaba el Fausto de Goethe. Cuando salió de su trance, se encontraba en un estado de completo éxtasis, ya que había descubierto el secreto para conducir la corriente alterna. Su amigo y autor de la única biografía de Tesla, el Premio Pulitzer John O’Neill relata que en el momento del descubrimiento, Nikola Tesla le decía al amigo que lo acompañaba: “Estoy hablando de mi motor eléctrico. He resuelto el problema. ¿No lo ves, aquí delante de mí marchado silenciosamente? Es el campo magnético rotativo lo que lo mueve. ¿No es hermoso? Y tan simple. Mi motor liberará al hombre, haciendo todo el trabajo del mundo” (Por supuesto que la visualización

del invento era solamente de él, que tenía grandes dificultades, para separar sus imágenes interiores de la realidad).

En 1884 Nikola Tesla llegó a Nueva York con menos de un dólar en el bolsillo (ya que le habían robado el equipaje), un libro con sus poemas y una carta de recomendación.

En esa época Edison era ya famoso mundialmente, y Nikola Tesla ansiaba trabajar junto a él, lo que consiguió; pero lo que no pudo, fue convencerlo de que usara su motor de corriente alterna, en vez del pesado motor de corriente continua que vendía la compañía. Como Edison no estaba dispuesto a renunciar al uso de su descubrimiento, aunque la aplicación de la corriente alterna de Tesla (que es, recordemos, la que usamos hoy) fuese más efectiva, hubo un choque de personalidades que terminó con el trabajo en conjunto.

Con el correr del tiempo, Nikola Tesla se fue popularizando en los medios científicos y técnicos. Daba elegantes cenas en el Waldorf Astoria, supervisando personalmente la cocina y luego invitaba a sus comensales a visitar su laboratorio y ver sus recientes inventos. Su biógrafo O'Neill describe así su laboratorio: "Es un lugar consistente en una serie de fuerzas, aparentemente ultraterrenas, que con dedos invisibles ponen objetos en movimiento y hacen brillar con colores raros y resplandecientes a los tubos de ensayo, transformando la habitación oscura en otra distinta, llena de sibilantes llamas generadas en monstruosos calderos". Tenía un dispositivo inalámbrico para producir electricidad por medio de vibración sincronizada. Presentó, por ejemplo, un barco de juguete accionado por control remoto en el Madison Square Garden, adelantándose en 50 años a las bombas alemanas V-1 y V-2 accionadas por control remoto.

Nikola Tesla, un hombre de gran visión, pensaba que si podía iluminar por inducción una lámpara a una distancia de 3 o 4 metros; también podía repetir la experiencia en gran escala, poniendo a toda la Tierra en oscilación, logrando así que la luz y la energía mundial fuesen gratuitas para toda la Humanidad, por medio de sincronizadores similares a nuestras actuales radios de transistores.

En 1893, en la Asociación Nacional de Energía Eléctrica, Nikola Tesla decía: "La idea de transmitir información en forma inalámbrica es la consecuencia directa de los más recientes logros. Ahora sabemos que las vibraciones eléctricas pueden transmitirse a través de un solo conductor. ¿Por qué no tratamos entonces de servirnos de la Tierra con ese propósito? Un punto de importancia sería saber cuál es la capacidad inductiva de la Tierra y que carga tendría al electrificarse".

En 1891 inventó una lámpara que usaba la misma cantidad de corriente que la de Edison (de filamento incandescente), pero daba veinte veces más luz. Su lámpara era un tubo de vidrio con un trozo de carbón fijado a un alambre, en el centro. Adentro había aire rarificado. Al electrificarse el carbón las moléculas de aire eran

repelidas por el botón central, rebotaban contra la esfera y volvían nuevamente al centro; el carbón se calentaba, volviéndose incandescente.

De esta manera lograba las altas temperaturas con la que logró derretir rubíes y diamantes y que fue el principio para que años más tarde creara lo que él denominó “el rayo de la muerte” que según Tesla, podía hacer rebotar un rayo en la Luna y hoy sabemos que era el antecesor del Rayo Láser.

Viendo a la Tierra como a una gran lámpara, Nikola Tesla realizó el experimento más increíble de la historia registrado antes de 1945. Usando sus generadores y transformadores logró producir energía con un exceso de 4.000.000 de voltios.

Enviando alto voltaje a un mástil de 70 mts. Creó el equivalente de docenas de rayos con un ruido ensordecedor. No solo fabricó un Polo Sur artificial en el lado opuesto de la Tierra; produciendo las oscilaciones mundiales que había previsto, sino que logró encender lámparas ubicadas a 40 Km. de su laboratorio. Este experimento hizo volar la usina de Colorado, lo que lo alejó de la comunidad, que lo empezó a mirar como a un ser peligroso.

Pero lo que lo convirtió en un alienado para la sociedad, fueron sus contactos extraterrestres. Cierta día, mientras se encontraba solo en su laboratorio, sus equipos recibieron una señal codificada; como aún no existían las estaciones de radio, la única explicación era una comunicación interplanetaria, que Tesla juzgó provenía de Marte o de Venus. En 1901 escribió un artículo titulado “Hablando con los planetas”.

Cuando se inicia el siglo XX, Nikola Tesla volvió a Nueva York con una decisión tomada: Su plan de distribución gratuita a nivel mundial de energía. Diseñó gigantescas emisoras, suponiendo que seis de ellas bastarían para proveer de electricidad inalámbrica y transmisión telefónica a todo el mundo.

Pero para este colosal emprendimiento necesitaba forzosamente un caudal importante de dinero, por lo que negoció con J.P. Morgan, quien le dio a Tesla USD 150.000 a cambio del 51% de todas las patentes de su invención y las futuras estarían a nombre de Morgan y como Tesla estaba decidido a dar forma a su proyecto sacrificó sus ansias de fama y dinero en pos de su altruista plan.

Fue así que comenzó la construcción de Wardenclyffe en Long Island, el 3 de julio de 1901, cuando estaba por cumplir sus 45 años de edad. La obra fue dirigida por Stanford White, el diseñador del Arco de Washington. Estaba prevista una torre de 65 mts., con una terminal esférica de 20 mts. De diámetro encima; pero los altos costos llevaron a no poder continuar la obra.

Entre octubre de 1903 y febrero de 1906 escribió más de 10 cartas a Morgan pidiéndole dinero para completar el proyecto; pero el magnate se ajustó a lo estipulado en el contrato firmado y le negó la ayuda económica. Así fue que el

quebranto económico y el mísero contrato firmado con Morgan no le permitieron completar la construcción de Wardenclyffe y lo privaron de su meta de entregar a la Humanidad toda, la energía necesaria, totalmente gratis.

No hay dudas que Nikola Tesla era un psíquico. Su memoria fotográfica, sus posibilidades de visualización y su fisiología súper sensible lo ubican en una categoría única. Cuando viajó a Europa en 1890 por la muerte de su madre tuvo la oportunidad de mantener interesantes charlas con el famoso parapsicólogo Williams Crookes y esos diálogos lo llevaron a creer en la telepatía y en la vida después de la muerte; pero ni siquiera la visión de la aparición de su madre el día en que murió le cambió (ni siquiera en el último minuto de vida) su “racionalismo científico”. A pesar de que sus inventos le llegaban como revelaciones, nunca se creyó metapsíquico.

Su contacto extraterrestre le dio fama entre los ocultistas y se tejieron leyendas sobre su nacimiento en una nave espacial y una herencia venusina. La semana de su muerte tuvo una visión de su amigo Mark Twain e insistió en que se encontraba vivo, a pesar de haber muerto 25 años antes.

Aunque su patria natal le proveía una pensión de USD 7.500 anuales y lo proclamó héroe nacional, Nikola Tesla murió en la extrema pobreza. Su amigo John O'Neill autor de su biografía “Genio Prohibido” cuenta que Nikola Tesla murió en soledad y pobreza, pero interiormente satisfecho consigo mismo.

Sus obras sacaron a la humanidad del primitivismo y dieron al hombre una libertad tecnológica que nadie pensaba se podía lograr. Lamentablemente, la avaricia ajena y los prejuicios de su época entorpecieron su gran proyecto, su meta altruista que hubiera permitido a toda la Humanidad contar con energía gratuita y permanente en todos los rincones del planeta.

Hoy nadie recuerda y muy pocos conocen a este ser, adelantado a su época, a quien le debemos muchos de los elementos que hoy disfrutamos. Nikola Tesla, tal vez, un ser no-humano que llegó para cumplir una importante misión, como fue brindar a la Humanidad adelantos técnicos y utopías que todavía se pueden realizar.

## **El Concepto AC Clave**

En febrero de 1882, después de recuperarse una vez más, Tesla encontró la solución al problema de la corriente alternante. Claramente percibió cómo usar corrientes alternantes para crear un campo magnético rotatorio. Este era el concepto fundamental que necesitaba para producir un motor AC.

Creó el campo magnético rotatorio usando dos circuitos en los cuales las corrientes estaban mutuamente desfasadas. Otros ingenieros habían intentado

desarrollar motores AC usando sólo un circuito, pero no podían producir una rotación continua de sus motores. El sistema de dos-fases de Tesla eliminó la necesidad de un colector.

De todos modos, su trabajo estaba lejos de completarse. Inmediatamente desarrolló diseños de dínamos (generadores), motores, transformadores y otros dispositivos necesarios para sistemas de potencia de corriente-alternante. Tesla amplió la idea del campo magnético rotatorio hasta incluir corrientes de tres, cuatro, y seis fases diferentes. Logró desarrollar verdaderos sistemas de potencia de múltiples fases. También prometió construir un motor AC de fase-simple.

La compañía telefónica de Budapest, a la que Tesla deseaba volver, fue vendida. La misma familia que lo ayudó a obtener dicho empleo, lo ayudó nuevamente para conseguir un puesto en la Compañía Edison Continental de Paris, que fabricaba motores, generadores y equipamiento de iluminación DC bajo patentes de Edison.

Tesla intentó convencer a sus compañeros de que se podían desarrollar sistemas AC de múltiples fases, pero nadie manifestó interés por sus ideas. Tesla fue asignado a un proyecto especial en Alemania. Aquí tuvo tiempo para construir un generador de dos fases y un motor de dos fases. Tesla realizó todo el trabajo mecánico de tolerancia sin ayuda. No hay representaciones de sus esquemas. Tenía todos los detalles en mente. Cuando en 1883 probó por primera vez sus máquinas AC, funcionaron perfectamente. Su teoría era correcta.

Tras completar exitosamente su misión en Alemania, Tesla se enemistó con sus supervisores. Le habían prometido una recompensa especial por el trabajo que jamás le dieron. Indignado, decidió no mostrar a los directores de la Compañía su sistema de dos fases en operación, y renunció a su empleo.

#### **4.1.1. La historia de la Bobina de Tesla.**

La Bobina de Tesla. Es un generador electromagnético que produce altas tensiones de elevadas frecuencias (radiofrecuencias) con efectos observables como sorprendentes efluvios, coronas y arcos eléctricos.

Su nombre se lo debe a Nikola Tesla, un brillante ingeniero que vivió en la segunda mitad del siglo pasado y a principios de éste y que en 1891, desarrolló un equipo generador de alta frecuencia y alta tensión con el cual pensaba transmitir la energía eléctrica sin necesidad de conductores.



Aunque esta idea no prosperó, Tesla es el inventor de la corriente trifásica y de los motores de inducción, que mueven en el presente todas nuestras industrias. La Bobina de Tesla causa gran impresión por su espectacularidad y provoca interés por conocer su funcionamiento; una excelente manera de comprenderla y disfrutarla resulta mediante la construcción de una bobina propia.

## Fig. 2. Bobina de Tesla



Foto tomada de [http://es.wikipedia.org/wiki/Nikola\\_Tesla](http://es.wikipedia.org/wiki/Nikola_Tesla)

En la primavera de 1891, Tesla realizó una serie de demostraciones con varias máquinas ante el *American Institute of Electrical Engineers* del *Columbia College*. Continuando las investigaciones iniciales sobre voltaje y frecuencia de William Crookes, Tesla diseñó y construyó una serie de bobinas que produjeron corrientes de alto voltaje y alta frecuencia. Estas primeras bobinas usaban la acción disruptiva de un explosor (*spark-gap*) en su funcionamiento.

Los dispositivos posteriores fueron en ocasiones alimentados desde transformadores de alto voltaje, usando bancos de condensadores de cristal de botella inmersos en aceite para reducir las pérdidas por descargas de corona, y usaban explosores rotativos para tratar los niveles de alta potencia. Las bobinas Tesla conseguían una gran ganancia en voltaje acoplado dos circuitos LC resonantes, usando transformadores con núcleo de aire. A diferencia de los transformadores convencionales, cuya ganancia está limitada a la razón entre los números de vueltas en los arrollamientos, la ganancia en voltaje de una bobina Tesla es proporcional a la raíz cuadrada de la razón de las inductancias secundaria y primaria.

Estas bobinas posteriores son los dispositivos que construyen usualmente los aficionados. Son transformadores resonantes con núcleo de aire que genera muy altos voltajes en radio frecuencias. La bobina alcanza una gran ganancia transfiriendo energía de un circuito resonante (circuito primario) a otro (secundario) durante un número de ciclos.

Aunque las bobinas Tesla modernas están diseñadas usualmente para generar largas chispas, los sistemas originales de Tesla fueron diseñados para la comunicación sin hilos, de tal manera que él usaba superficies con gran radio de curvatura para prevenir las descargas de corona y las pérdidas por streamers.

## **4.2. CONCEPTOS BÁSICOS.**

### **4.2.1. Capacitor o Condensador.**

Un capacitor está compuesto de dos placas metálicas separadas por un dieléctrico. Su función es almacenar cargas eléctricas. El material aislante que separa las placas se llama dieléctrico y generalmente se usa aire, vidrio, mica, etc. Si dos placas cargadas eléctricamente están separadas por un material dieléctrico, lo único que va a existir entre dichas placas es la influencia de atracción a través de dicho dieléctrico.

### **4.2.2. Capacidad Eléctrica.**

Se define como la propiedad que tienen los capacitores de almacenar cargas eléctricas. La unidad fundamental de la capacidad es el farad o faradio (F); los submúltiplos de esta unidad son los microfaradios (millonésimos de farad), picofaradios, etc.

### **4.2.3. Inductor o bobina.**

Descripción: Si tomamos un conductor, por ejemplo un alambre y lo enrollamos, formamos una bobina; si hacemos que fluya una corriente por ella se establecerá un poderoso campo magnético equivalente al que tiene una barra de acero imantada, con sus polos norte y sur. Es posible demostrar que el flujo de corriente que pasa por un conductor está acompañado por efectos magnéticos: la aguja de una brújula, por ejemplo, se desvía de su posición normal, norte-sur, en presencia de un conductor por el cual fluye una corriente. La corriente, en otras palabras, establece un campo magnético.

Si ahora hacemos que por dicha bobina circule una corriente alterna (en la que los electrones cambian de dirección) de alta frecuencia (radiofrecuencia), se establecerá un campo magnético variable. Si en presencia de dicho campo

magnético variable colocamos otra bobina (bobina secundaria), en esta se "inducirá" una corriente eléctrica similar a la de la bobina primaria

**Fig. 3. Campo Magnético**

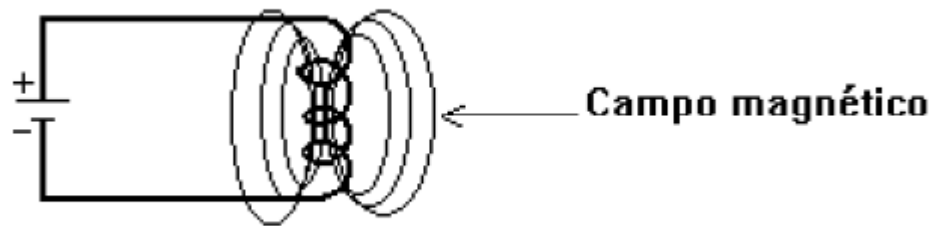


Foto tomada de [http://electronica.yoreparo.com/foros/files/tesla\\_basico.gif](http://electronica.yoreparo.com/foros/files/tesla_basico.gif)

**Fig. 4. Inducción de Campo Magnético**

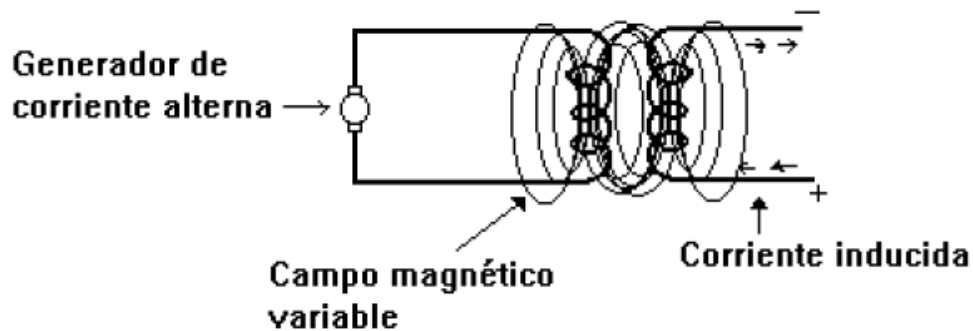


Foto tomada de [http://electronica.yoreparo.com/foros/files/tesla\\_basico.gif](http://electronica.yoreparo.com/foros/files/tesla_basico.gif)

#### **4.2.4. Inductancia Eléctrica.**

Se define como la propiedad de una bobina que consiste en la formación de un campo magnético y en el almacenamiento de energía electromagnética cuando circula por ella una corriente eléctrica. La unidad fundamental de la inductancia es el Henry (H); los submúltiplos de esta unidad son los milihenry (milésimas de henry), microhenry, etc.

#### **4.2.5. Frecuencia**

Es el número de oscilaciones o ciclos que ocurren en un segundo. La unidad fundamental de la frecuencia es el Hertz (Hz) y corresponde a un ciclo por segundo.

#### **4.2.6. Radiofrecuencia**

Se le llama radiofrecuencia a las corrientes alternas con frecuencias mayores de los 50,000 Hz.

#### **4.2.7. Oscilador**

Es un circuito electrónico capaz de generar corrientes alternas de cualquier frecuencia.

#### **4.2.8. Frecuencia natural**

Todos los objetos elásticos oscilan cuando son excitados por una fuerza externa (una barra metálica al ser golpeada oscila, emitiendo un sonido característico). La frecuencia a la que un objeto elástico oscila libremente es llamada su frecuencia natural de oscilación. Si a dicha barra oscilante acercamos otra barra idéntica, la segunda barra comenzará a oscilar a la misma frecuencia, excitada por la primera; esto es que la segunda barra habrá resonado con la primera.

En el caso de las oscilaciones electromagnéticas, se presenta el mismo fenómeno que es justamente el hallazgo realizado por Tesla y aplicado a su bobina. Tesla construyó un circuito oscilador (un capacitor conectado en paralelo con una bobina) que llamó primario y a él acercó una bobina secundaria cuya frecuencia natural de oscilación fuese la misma que la del circuito primario; de la relación de vueltas entre el primario y el secundario depende el voltaje obtenido.

#### 4.2.9. Transmisión Inalámbrica.

La idea de la transferencia inalámbrica de energía es casi tan antigua como la generación de electricidad misma. A principios del siglo XX, Nikola Tesla propuso la utilización de grandes bobinas para transmitir electricidad a través de la ionosfera, construyendo una enorme torre de telecomunicaciones llamada Wardenclyffe Tower, en Long Island, Nueva York, que pondría a prueba su idea de transmisión de energía inalámbrica. La historia cuenta que se quedó sin financiación cuando sus patrocinadores se dieron cuenta de que no habría manera viable de asegurar que la gente pague por la electricidad que se utilizaba, por lo que la red eléctrica por cable se levantó en su lugar. Si bien no vamos a estar viendo una red inalámbrica de energía nacional en el corto plazo, la idea de transmisión de energía en una escala hogareña está ganando impulso con la comunicación inalámbrica, como Wi-Fi y Bluetooth, por lo tanto los cables de alimentación son ahora el único límite que tienen los dispositivos para convertirse en realmente portátiles. El uso de ondas de radio para transmitir la electricidad es quizás la solución más obvia, ya que se puede utilizar en principio, los mismos tipos de transmisores y receptores utilizados en la comunicación Wi-Fi. Powercast, una empresa con sede en Pittsburgh, Pennsylvania, recientemente ha utilizado ésta tecnología para transmitir microvatios y milivatios de potencia a por lo menos 15 metros de sensores industriales. Una segunda posibilidad, para dispositivos que requiera más energía, es despedir a un fino rayo láser infrarrojo centrado en una célula fotovoltaica, que convierta el haz de vuelta a la energía eléctrica. Éste es el enfoque que ha adoptado POWERBEAM, otra empresa Americana, pero hasta ahora su eficiencia es sólo entre el 15 y el 30 por ciento. Además ésta técnica con relación a los dispositivos verdaderamente portátiles que se mueven constantemente y entre habitaciones, un rayo infrarrojo no sería conveniente por ejemplo para cargar un teléfono móvil, ya que debe ser direccional.

La tercera posibilidad para la energía inalámbrica es la inducción magnética, la opción más atractiva para aplicaciones domésticas. Un campo magnético fluctuante que emana de una bobina puede inducir una corriente eléctrica cerca a otra bobina receptora. El problema es que la eficiencia es buena solo en contacto cercano.

Pero desde hace tiempo se sabe que dicha transferencia de energía mecánica se mejora enormemente si los dos objetos están resonando en la misma frecuencia, es cómo un cantante de ópera puede romper un vidrio si llega a los tonos indicados. Se cree que la misma idea podría mejorar la eficiencia de la inducción magnética a grandes distancias. Por lo que un equipo de físicos del MIT (Instituto de Tecnología de Massachusetts), ha desarrollado un sistema inalámbrico que puede transferir energía eléctrica a múltiples dispositivos electrónicos de forma simultánea llamado Witricity. El sistema, altamente eficiente, se basa en un

acoplamiento mediante resonancia electromagnética, y podría implementarse empotrando una bobina en las paredes o el techo de cada habitación. Lograron demostrar que resulta más eficiente alimentar simultáneamente a varios dispositivos que a uno solo, siempre y cuando el sistema esté correctamente sintonizado. Las grandes empresas de electrónica de consumo también se han interesado en investigar la transferencia resonante. Sony, por ejemplo, ha demostrado una televisión inalámbrica, e Intel está investigando la tecnología para una amplia gama de dispositivos.

**Fig. 5. La Bobina de Tesla**



Foto tomada de [http://www.pijamasurf.com/wp-content/uploads/2009/07/1\\_\\_\\_wardenclyffe\\_tower-1.jpg](http://www.pijamasurf.com/wp-content/uploads/2009/07/1___wardenclyffe_tower-1.jpg)

## 5. DESCRIPCIÓN TÉCNICA.

La forma en que operan los transformadores de Tesla es la siguiente:

Conectado el transformador de alto voltaje a la línea eléctrica se establece una corriente a través del circuito transformador – condensador – bobina primaria. A las frecuencias de operación del transformador la bobina primaria tiene una reactancia inductiva prácticamente nula y no influye en la magnitud de la corriente establecida, la cual resulta ser solo función de la impedancia interna del transformador y la reactancia capacitiva del condensador. Esta corriente carga el condensador de alto voltaje, elevando la diferencia de potencial entre sus placas y almacenando más y más energía en este. Por leyes de Kirchhoff es inmediato el hecho de que el voltaje establecido entre los electrodos del explosor es igual al voltaje entre las placas del condensador. Por lo tanto, cuando el condensador se carga a un voltaje lo suficientemente alto como para que la rigidez dieléctrica del aire entre los electrodos del explosor sea superada, el campo eléctrico entre estos arranca electrones de las moléculas de aquel y se establece un arco eléctrico de baja impedancia que actúa como un puente que cierra el circuito condensador – bobina primaria y entonces se originan los pulsos de alta frecuencia.

Físicamente los circuitos primario y secundario no tienen conexiones eléctricas en común; sin embargo se encuentran enlazados permanentemente por su inductancia mutua, por los efectos electrodinámicos que produce uno sobre el otro cuando están en operación; más concretamente, por el campo electromagnético que se establece en el espacio circundante. Cuando se cierra el circuito primario se establecen corrientes eléctricas de alta frecuencia que crean un campo electromagnético a su alrededor. Este campo induce en la bobina secundaria corrientes eléctricas que fluyen a lo largo del conductor, desde el toroide hasta la base conectada a tierra. Estas corrientes son máximas en la base del secundario y mínimas en la parte superior.

El campo electromagnético variable induce corrientes, pero también voltajes en el circuito secundario. En particular sabemos que el toroide colocado en la parte superior de la Bobina tiene una capacitancia intrínseca dependiente de su posición respecto al suelo y al resto de los componentes de la bobina, pero también el conductor del que está hecha la bobina secundaria tiene su propia capacitancia.

En operación el toroide se convierte en un depósito para la carga eléctrica y en consecuencia para la energía proveniente del circuito primario, energía transmitida por inducción y a través del campo electromagnético. La acumulación de carga en el toroide produce un rápido incremento de voltaje hasta que este es tan alto que se produce emisión electrónica hacia el espacio circundante. Así se producen las descargas que observamos al poner uno de estos aparatos en funcionamiento.

El funcionamiento de la bobina Tesla puede ser visto como dos circuitos resonantes débilmente acoplados por el aire. El coeficiente de acoplamiento entre las bobinas  $L_1$  y  $L_2$  suele estar entre 0,1 y 0,2, en mi caso es 0,175, más adelante explicare como realizar la medida.

El circuito primario se forma cuando salta el arco en el explosor conectando en serie el condensador primario  $C_1$ , la bobina primaria  $L_1$  y su resistencia equivalente. El circuito secundario lo forman la bobina secundaria con su resistencia equivalente, y la suma de las capacidades propia de la bobina secundaria y del terminal superior a tierra.

La bobina secundaria tiene uno de sus terminales a tierra y el terminal superior muestra una capacidad equivalente a tierra, así es como se cierra el circuito secundario. El circuito primario y secundario está acoplados entre ellos con una inductancia mutua  $M$ .

**Fig. 6. Circuito de la Bobina**

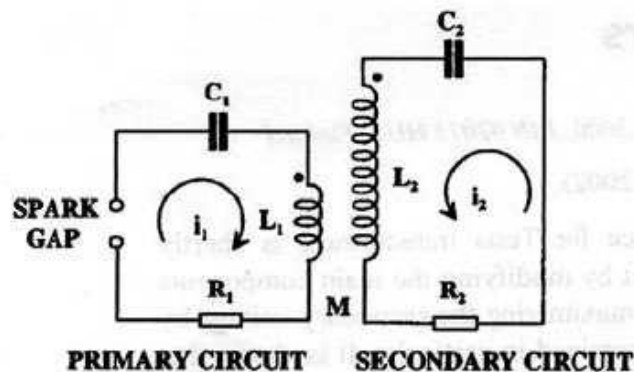


Foto tomada de [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/10/Tesla\\_coil\\_3.svg/222px-Tesla\\_coil\\_3.svg.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/10/Tesla_coil_3.svg/222px-Tesla_coil_3.svg.png)



## 5.1. CONSTRUCCIÓN DE UNA BOBINA TESLA

La Bobina de Tesla es un generador electromagnético que produce altas tensiones de elevadas frecuencias (radiofrecuencias) con efectos observables como sorprendentes efluvios, coronas y arcos eléctricos.

Su nombre se lo debe a Nikola Tesla, un brillante ingeniero que vivió en la segunda mitad del siglo pasado y a principios de éste y que en 1891, desarrolló un equipo generador de alta frecuencia y alta tensión con el cual pensaba transmitir la energía eléctrica sin necesidad de conductores.

Aunque esta idea no prosperó, Tesla es el inventor de la corriente trifásica y de los motores de inducción, que mueven en el presente todas nuestras industrias. La Bobina de Tesla causara gran impresión por su espectacularidad y provoca interés por conocer su funcionamiento; una excelente manera de comprenderla y disfrutarla resulta mediante la construcción de una bobina propia.

El transformador, carga al capacitor y se establece una diferencia de potencial muy grande (alta tensión) entre las placas de éste. El voltaje tan elevado es capaz de romper la resistencia del aire haciendo saltar una chispa entre los bornes del explosor.

La chispa descarga el capacitor a través de la bobina primaria (con pocas espiras) estableciendo una corriente oscilante. Enseguida el capacitor se carga nuevamente repitiendo el proceso. Así resulta un circuito oscilatorio de radiofrecuencia al que llamaremos circuito primario.

**Fig. 7. Diagrama Esquemático**

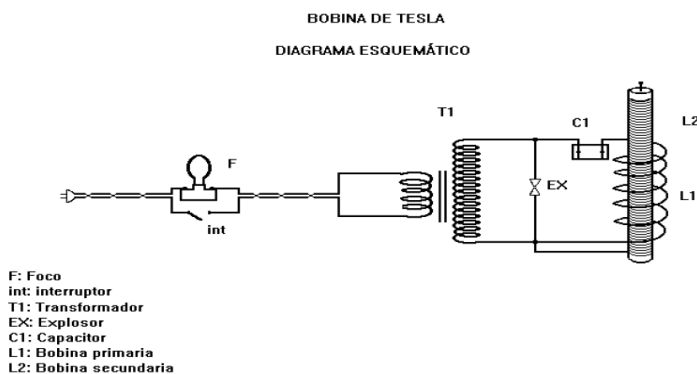


Foto tomada de [http://electronica.yoreparo.com/foros/files/tesla\\_basico.gif](http://electronica.yoreparo.com/foros/files/tesla_basico.gif)

La energía producida por el circuito primario es inducida en la bobina secundaria (con mayor número de vueltas) la cual es resonante a la frecuencia natural del primario, esto es, que oscila a la misma frecuencia en que está trabajando el circuito primario. El circuito oscilante secundario se forma con la inductancia de la bobina secundaria y la capacidad distribuida en ella misma.

## **5.2 FUNCIONAMIENTO**

El transformador T1 carga al capacitor C1 y se establece una diferencia de potencial muy grande (alta tensión) entre las placas de éste. El voltaje tan elevado es capaz de romper la resistencia del aire haciendo saltar una chispa entre los bornes del explosor.

La chispa descarga el capacitor C1 a través de la bobina primaria L1 (con pocas espiras) estableciendo una corriente oscilante. Enseguida el capacitor C1 se carga nuevamente repitiendo el proceso. Así resulta un circuito oscilatorio de Radiofrecuencia al que se llama circuito primario.

La energía producida por el circuito primario es inducida en la bobina secundaria L2 (con mayor número de vueltas) la cual es resonante a la frecuencia natural del primario, esto es, que oscila a la misma frecuencia en que está trabajando el circuito primario. El circuito oscilante secundario se forma con la inductancia de la bobina secundaria L2 y la capacidad distribuida en ella misma.

Finalmente este circuito oscilante secundario produce ondas electromagnéticas de muy alta frecuencia y voltajes muy elevados. Las ondas que se propagan en el medio hacen posible la ionización de los gases en su cercanía y la realización de Diversos experimentos.

## 6. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para el desarrollo del proyecto está basada en el método científico, el cual consta de las etapas que se describen a continuación:

**Observación:** en esa primera etapa se puede generar y mostrar varios efectos y fenómenos eléctricos conocidos teóricamente en clase, tales como: descargas eléctricas o chispas llamadas efluvios, el efecto de radiofrecuencia y electromagnetismo al acercar un bombillo y una lámpara fluorescente a la bobina, para que se enciendan sin contar con cables para su funcionamiento.

**Inducción:** al observar los fenómenos arriba enunciados, los asistentes podrán experimentar, conocer y elaborar sus propias conclusiones a partir de lo visto.

**Hipótesis:** observar cómo se encienden las lámparas que se acercan a la bobina dando referencia a la teoría de Nicola Tesla la cual nos dice que es posible la transmisión de energía eléctrica sin cables.

**Experimentación:** hacer la Bobina de Tesla para comprobar la hipótesis de que al ponerla a funcionar se observaron los efectos seleccionados para su ensayo.

**Demostración:** con una bobina de tesla se demostró que es posible la transmisión de energía eléctrica sin cables, es decir, inalámbrica.

"Nicola Tesla decía que era posible transmitir energía eléctrica sin emplear cables a través de la tierra, mediante la utilización de aparatos de altas radiofrecuencias usando para tal fin una gran bobina que produciría energía inalámbrica".

Durante la demostración que se realizará ante estudiantes, docentes e invitados en general, se mostrará los fenómenos arriba enunciados y la teoría que sostenía Nicola tesla sobre la energía inalámbrica.

### 6.1. TIPO DE ESTUDIO.

El diseño y construcción de una bobina de tesla es una propuesta para mejorar la calidad del servicio en labores docentes, al construir el prototipo de una bobina de tesla los estudiantes podrá investigar y experimentar algunos fenómenos eléctricos en la institución universitaria Pascual bravo.

## **6.2. EL MÉTODO**

En este proyecto los aspectos fundamentales para el pleno desarrollo de los objetivos propuestos, son: la deducción como instrumento para interpretar los conceptos para conocer los efectos y fenómenos eléctricos conocidos teóricamente tales como las descargas eléctricas o efluvios, el efecto de radiofrecuencia y electromagnetismo al acercar un bombillo y una lámpara fluorescente es a la bobina, para que se enciendan sin la necesidad de utilizar cables.

## **6.3. POBLACIÓN**

Como herramienta didáctica para el aprendizaje teórico práctico de los estudiantes y empleados de las instituciones educativas de la ciudad y empresas afines con el campo de la electricidad, se puede promover la utilización de la bobina de tesla en actividades de carácter pedagógico, didáctico y científico-empresarial.

## **6.4. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

### **6.4.1. Fuentes primarias.**

Observación directa de varios efectos y fenómenos eléctricos conocidos teóricamente, tales como descargas eléctricas o efluvios, el efecto de radiofrecuencia y electromagnetismo, asesorías por parte de personas con conocimientos acerca de electricidad.

### **6.4.2. Fuentes secundarias.**

Manuales de los fabricantes de bobinas, tesis, investigaciones y estudios acerca del tema, enciclopedias, libros y herramientas informáticas tales como el Internet.

## 7. RESULTADOS DEL PROYECTO

En el presente capítulo se realizará la exposición de cómo se diseñó, paso a paso cómo se construyeron los componentes de la Bobina Tesla, su puesta en funcionamiento y los Manuales de uso y Protocolo de Seguridad.

### 7.1. DISEÑO DE LA BOBINA DE TESLA

A partir de los cálculos efectuados, la selección de materiales y el diseño de un prototipo de bobina de tesla, se inició su construcción, así:

#### 7.1.1. Transformador primario.

Tomando como información básica los diseños y cálculos empleados para otras bobinas de mediana capacidad, en el presente trabajo de grado se busco un transformador elevador de alto voltaje con bajo nivel de potencia como los que se emplean para avisos luminosos, y se partió de valores propios para este tipo de bobinas como: 9 kV, 12 kV a 30 mA, 60 mA y 90 mA.

Se adquirió un transformador marca Allanson, de 15 kV y 30 mA de origen canadiense que reunían las especificaciones requeridas, puesto que el parámetro principal a considerar es la carga nominal del transformador. Para este caso el transformador tiene las siguientes especificaciones:

$$V_p = 120 V$$

$$V_s = 15.000 V$$

$$I_p = 3.5 A$$

$$I_s = 30 mA$$

$$VA = 450 VA$$

$$Z_n = 500 k\Omega$$

Donde:

$$V_p = \text{Voltaje primario}$$

$$V_s = \text{Voltaje secundario}$$

$$I_p = \text{Corriente primaria}$$

$$I_s = \text{Corriente secundaria}$$

$$VA = \text{Potencia en voltiamperios}$$

$$Z_n = 500 k\Omega$$

La carga nominal del transformador se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Z_n = \frac{V_s}{I_s} = \frac{15000V}{0.03A} = 500000 = 500k\Omega$$

A partir de la carga nominal se calcula el capacitor. El capacitor utilizado en este proyecto es de tipo MMC, que es una combinación de múltiples mini condensadores de alto rendimiento, es creado en serie y paralelo para lograr el voltaje necesario y la capacitancia requerida para el correcto funcionamiento de la bobina tesla.

La capacitancia requerida se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$Z_n = X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

La capacitancia hallada es de:

$$C = 0.0053 \mu F$$

**Fig. 8. Transformador primario**



### 7.1.2. Construcción del Capacitor

Con la capacitancia hallada que es de  $5.3 * 10^{-9} nF$ , se procede a la construcción de un MMC o Banco de condensadores en serie y paralelo.

Este banco de condensadores permite en serie sumar su voltaje y en paralelo dividir su capacitancia. Los condensadores utilizados en este MMC son condensadores General Electric de referencia 42L4102 de  $0.1 \mu F \pm 5\%$  a una tensión nominal de  $U_n = 3000V$ ,  $U_{rms} = 750V$ .

La fórmula requerida para saber cuántos capacitores de  $0.1 \mu F$  es como sigue, pero se aplica al tanteo por el número de condensadores que den la capacitancia y resistan el voltaje necesario, en este caso utilizaremos 18 condensadores los cuales serán conectados en serie:

$$0.1 \mu F * 10^{-6} \div 18 = 5.55 * 10^{-9} nF = 0.0055 \mu F$$

$$18 * 3000V = 54000V = 54kV$$

De la ecuación anterior se pretende conocer el número de condensadores requeridos para obtener una capacitancia de  $0.55 \mu F$  y un voltaje suficiente para soportar la tensión del Transformador, que es de  $15000V$  y puede llegar a  $20000V$ .

En consecuencia, este Banco de Condensadores utilizara 18 condensadores conectados en serie y con resistencias de  $10k\Omega$  en sus terminales para su descarga, siendo este Banco de Condensadores más que suficiente para esta Bobina de Tesla.

**Fig.9 Banco de condensadores**



### 7.1.3. Calculo de la bobina primaria.

Para la construcción de una Bobina de Tesla mediana generalmente por experiencias en otros proyectos se llegó a la conclusión que para obtener un mejor resultado se debe utilizar entre 5 a 14 espiras. En el caso de esta Bobina se emplearan 11 espiras utilizando tubo de cobre.

El campo electromagnético generado por el primario deberá concatenar a la Bobina secundaria para transmitir eficientemente la energía, y así excitar el secundario de la Bobina.

En la construcción de la Bobina primaria se usó un Tap ajustable para darle un espacio entre vueltas. Generalmente el espacio usado en el Tap es el ancho del conductor empleado.

El conductor usado es de tubo de cobre de espiras liso, así:

- No. 2 AWG.
- Diámetro nominal 6,543 mm.
- Área de 33,63 mm<sup>2</sup>.
- Distancia entre vuelta y vuelta del primario 2 cm.

El concepto de eficiencia está relacionado con una densidad de campo electromagnético y un buen enlace de líneas magnéticas entre la Bobina primaria y la Bobina secundaria.

En este tipo de bobina la fórmula que permite calcular la inductancia, es:

$$L = R * N^2 * K$$

Donde:

*R = Distancia del eje central de la bobina a la parte mediana de ella.*

*N = Número de vueltas*

*K = Coeficiente de relación R/C*

$$L = \frac{R^2 * N^2}{8R + 11C}$$



Donde:

$L =$  Inductancia de la bobina en (uH)

$R =$  Radio medio de la bobina en pulgadas

$N =$  Número de vueltas del devanado

$C =$  Ancho de la bobina en pulgadas

Para el diseño de la Bobina primaria se debe conocer previamente el diámetro de la Bobina secundaria, y estos diámetros oscilan entre 12 a 20 cm. Se seleccionara para este proyecto un diámetro de 4" o 12,78 cm. De igual forma, estos datos se toman de tablas ya existentes de acuerdo con las características de este tipo de Bobinas.

- Diámetro de la bobina en pulgadas 4"
- Relación radio-longitud 2.5:1
- Longitud de la bobina en pulgadas 33.4"

Teniendo en cuenta el espacio entre vuelta y vuelta de la Bobina primaria y el diámetro del conductor, el ancho de la Bobina esta dado en la siguiente fórmula:

$C = 2 * \text{Diametro} * \text{Numero de vueltas}$

$C = 2 * 6.54 * 11 = 143.88 \text{ mm o } 14.388 \text{ cm}$

El radio medio R de la bobina en espiral será:

$$R = \frac{1}{2}C + D_{12} + R_2$$

Donde:

$D_{12} =$  Distancia entre bobina primaria y secundaria 4 cm

$R_2 =$  Radio del secundario

Al convertir los valores R y C a pulgadas se tiene:

$R = 8.6811"$

$C = 5.0314"$

En relación a la Bobina primaria la inductancia de la Bobina será:

$$L = \frac{R^2 * N^2}{8R + 11C} = 99.2741 \mu H$$

Con este valor hallado se calculara la frecuencia de resonancia de la bobina.

Calculo Frecuencia de Resonancia.

$$F_0 = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{L * C}} = 217.91 \text{ kHz}$$

**Fig. 10 Bobina primaria**



#### 7.1.4. Calculo para la Bobina Secundaria.

Cuando se construye la Bobina secundaria es de importancia conocer las variables relacionadas, tales como el radio, la longitud y el diámetro de la Bobina.

- Diámetro de la bobina en pulgadas 4"
- Relación radio-longitud 2.5:1
- Longitud de la bobina en pulgadas 33.4"

Considerando el diámetro de la bobina, se selecciona el alambre calibre 22 AWG cuyo diámetro es de 0.0253" o 0.06426 cm. Con estos valores conocidos se selecciona el material sobre el cual se hace el embobinado para el secundario, en este caso se utilizara pvc, ya que es un material con baja perdida dieléctrica.

El cálculo del número de vueltas para la bobina secundaria es:

$$N = K * \frac{H}{D} = 0.896 * \frac{85}{0.06426} = 1185.99 \approx 1186 \text{ espiras}$$

$K = \text{Factor de apilamiento del devanado} = 0.896$

$H = \text{Altura de la bobina} = 85 \text{ cm}$

$D = \text{Diámetro del conductor} = 0.06426$

La longitud del conductor está dada por:

$$L = \pi * D * N = \pi * 22 * 1186 = 81928.88/100 \approx 819,2888 \text{ mm}$$

$L = \text{Longitud del alambre}$

$D = \text{Diámetro del alambre utilizado} = 22$

$N = \text{Numero de vueltas} = 1186$

Calculo de la inductancia para la Bobina Secundaria:

$$L = \frac{R^2 * N^2}{9R + 10H} = \frac{2.5^2 * 1186^2}{(9 * 2.5) + (10 * 33.4)} = 24659.8$$

Donde:

$$L = 33.4mH$$

El valor de la inductancia es necesario para encontrar más adelante la Capacitancia requerida por el Toroide. La fórmula para determinar la Capacitancia de una forma en solenoide cilíndrico con los datos obtenidos será:

Capacitancia de la Bobina Secundaria.

$$C = 0.29H + 0.41R + 1.94\sqrt{R^3} = (0.29 * 33.4) + (0.41 * 2.5) + (1.94 * \sqrt{\frac{2.5^3}{33.4}})$$

$$C = 12.0379 PF$$

Donde:

$R = \text{Radio de la bobina en pulgadas} = 2.5''$

$H = \text{Longitud de la bobina en pulgadas} = 33.4''$

**Fig.11 Bobina secundaria**



### 7.1.5. Construcción del Toroide.

El Toroide es una placa de un capacitor virtual, cuyo dieléctrico es el aire y la segunda placa es la tierra. En los primeros diseños de Bobinas de Tesla las cargas se llevaban a cabo con esferas u otros elementos que se empleaban como Capacitor; pero con las nuevas Bobinas se vio que los Toroides producían mejores efectos visuales y se implementó su uso, es decir, el Toroide incrementa la capacitancia de la Bobina secundaria funcionando así:

El voltaje de la Bobina secundaria es tan alto que se necesita solamente una superficie conductora, el aislamiento dieléctrico de esta es el aire y su otra placa es la tierra.

La Bobina secundaria presenta una Capacitancia a tierra, y entre espiras, con la Capacitancia hallada de 11.1063 PF se podrá obtener el valor requerido de capacitancia para el Toroide.

Luego para hallar la Capacitancia en el Toroide, se encuentra la Capacitancia total requerida para que el circuito entre en resonancia. Al valor de la Capacitancia total se resta el valor de la Capacitancia de la Bobina secundaria. Para hallar el valor de Capacitancia que debe tener el Toroide. Capacitancia Total.

$$C = \frac{1}{(2\pi)^2 * f^2 * L} = \frac{1}{(2\pi)^2 (217.37 * 10^3)^2 * (33.4 * 10^{-3})} = 16.050 * 10^{12} \mu F$$

Capacitancia requerida por el Toroide:

$$C_t = C - C_{b_2} = 16.050 - 11.106 = 4.944 \text{ pF} \approx 5 \text{ pF}$$

La capacitancia del Toroide está dada como:

$$C = 1.4 * \left(1.2781 - \frac{D_2}{D_1}\right) * \sqrt{D_2} * \pi(D_1 - D_2)$$

*C = Capacitancia en picofaradios*

*D<sub>1</sub> = Diametro exterior del Toroide en pulgadas*

*D<sub>2</sub> = Diametro de la seccion del Toriode en pulgadas*

Al observar el valor de la Capacitancia requerida, para el diseño del Toroide, se necesita hallar los valores de  $D_1$  y  $D_2$  que se ajusten a esa Capacitancia. En este caso, para obtener una Capacitancia aproximada a la hallada, se encontró que los valores  $D_1$  y  $D_2$ , son:

$$D_1 = 2''$$

$$D_2 = 0.5''$$

$$C = 1.4 * \left(1.2781 - \frac{0.5}{2}\right) * \sqrt{0.5} * (\pi * (2 - 0.5)) = 4.79 \text{ pF}$$

Sin embargo, para efectos constructivos o de diseño, estos valores podrían variar al momento de la construcción del Toroide.

**Fig.12 Toroide**

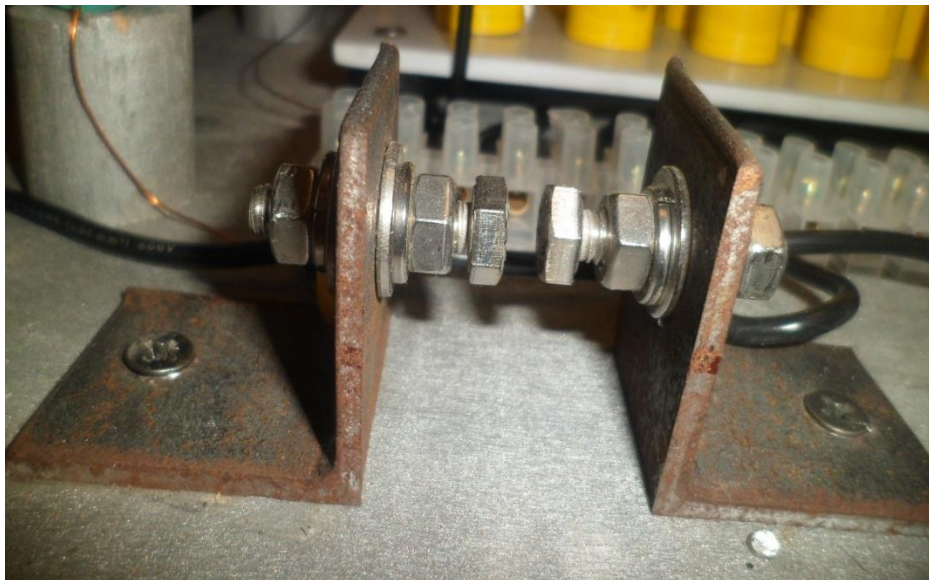


### 7.1.6. El descargador o Spark Gap.

Las Bobinas de Tesla vienen provistas de un descargador, cuyo objetivo es conmutar rápidamente de circuito abierto a cortocircuito, de esa manera la energía almacenada en el Banco de Condensadores se transfiere a la Bobina y así comienza la generación de la alta frecuencia.

La mayor parte de los descargadores tienen uno o más electrodos que no están conectados eléctricamente y están separados por unos mm de aire. Cuando la tensión supera un umbral dependiente de la geometría del descargador, el aire se ioniza y se produce plasma entre los dos electrodos. El plasma conduce la electricidad de manera muy eficiente comportándose casi como un cortocircuito. Mientras por el plasma esté circulando una corriente, el plasma se mantiene por la propia energía disipada en él. Cuando la corriente baja, el plasma se apaga y de nuevo se comporta como un circuito abierto.

**Fig.13 Spark gap**



### **7.1.7. Construcción de los electrodos del descargador de la bobina.**

Se emplearan dos soportes de acero inoxidable estructurados en un torno para poder introducir dentro de ellos tornillos de acero inoxidable. Estos guardan una distancia de separación en mm. Esta distancia se puede variar.

Los elementos van anclados en la parte de debajo de la Bobina y reciben el nombre de Descargador Rotatorio. Con este sistema se obtiene un mejor rendimiento de la Bobina.

### **7.1.8. Ensamblaje de la Bobina de Tesla.**

Una vez definidas cada una de las partes integrantes de la Bobina de Tesla, se procederá a su ensamblaje, así:

Sobre la lámina de madera armada con sus soportes, se anclarán el Transformador, el Banco de Condensadores y los descargadores. En la parte superior se instalara la lámina de acrílico donde se armó la Bobina primaria, y sobre ésta, en el centro, se ubicará la Bobina secundaria que se realizara en el tubo de pvc de 4". Desde la Bobina secundaria en su terminal se instalará un cable que va a tierra.

Posteriormente se realizará el conexionado del Transformador al Banco de Condensadores y del Transformador hacia los electrodos. Así mismo, se instalara la alimentación del primario del Transformador a 110V el cual lleva una protección de un automático termo-magnético de 6 A.

En la parte superior de la Bobina secundaria se instalará el Toroide.



## 7.2. ELABORACIÓN DE MANUALES

### 7.2.1. Manual de uso.

El personal que vaya a manipular la Bobina Tesla debe estar familiarizado con la Alta Tensión y tener conocimientos básicos de electricidad y normas de seguridad en el campo eléctrico.

Antes de manipular la Bobina, se debe verificar el conexionado y que la fuente de alimentación del transformador esté desconectada 110 V.

Para iniciar la operación y funcionamiento de la Bobina Tesla se debe mantener una distancia de seguridad mínima de un (1) metro. La persona NO debe tener marcapasos, ni ningún tipo de dispositivo electrónico.

Dispositivos electrónicos tales como: celulares, iPod, iPad, se deben apagar mientras se está operando la Bobina Tesla o mantener una distancia mínima de 1 metro y medio.

Mientras La Bobina Tesla está en funcionamiento, bajo ninguna circunstancia se debe tocar ni el Transformador, ni el Banco de Condensadores.

Una vez concluido el uso de la Bobina Tesla el Banco de Condensadores, ni las conexiones se pueden tocar, se espera unos cinco minutos a que el Banco de Condensadores se descargue por medio de sus resistencias.

### 7.2.2. Protocolo de seguridad.

Las Bobinas Tesla usan altos voltajes, por lo que el riesgo de muerte o lesión es un factor que debe ser tenido en cuenta. Ante esta eventualidad, se sugieren una serie de medidas de seguridad y cuidado de acuerdo con las situaciones que se puedan presentar.

**Pautas generales de seguridad.** Una Bobina de Tesla puede operar con niveles de potencia muy altos, por tanto debe ser ajustada y operada cuidadosamente, no sólo por eficiencia y economía, sino también por seguridad.

Si, debido a un ajuste inapropiado, el punto de máximo voltaje ocurre por debajo de la terminal, a lo largo de la Bobina Secundaria, una chispa de descarga puede dañar o destruir el cable de la Bobina, sus soportes o incluso objetos cercanos.

Nunca ajuste una Bobina Tesla cuando esté encendida la alimentación.

Los Condensadores de alta tensión pueden mantener una carga mucho tiempo después de que el interruptor de encendido esté apagado. Descargue siempre los Capacitores antes de ajustar el circuito.

Asegúrese de que las cajas metálicas de los transformadores, motores, paneles de control y los elementos relacionados con Bobinas Tesla estén conectados a tierra.

Compruebe que está lo suficientemente lejos de la descarga de corona.

No permita que las descargas entren en contacto con objetos metálicos.

Los usuarios no pueden entrar en contacto con la tensión de línea de CA, ya que esta, el transformador de alta tensión y la alta tensión de radiofrecuencia, generados por una Bobina Tesla en modo son potencialmente letales en sí mismos. Siempre hay que considerar ese peligro extremo y usar la protección adecuada para alta tensión, contactores, dispositivos de seguridad, RF y puesta a tierra de CA, y los procedimientos seguros de operación cuando se trabaja con Bobinas.

Se debe utilizar una llave de seguridad en el circuito de baja tensión para evitar el uso no autorizado.

El circuito primario de bajo voltaje es muy peligroso. Estas tensiones son letales especialmente para los seres humanos. Asegúrese de que estos circuitos están bien aislados.

Nunca opere una Bobina Tesla en una zona donde haya agua estancada, o cuando haya una descarga eléctrica significativa.

No utilice una bobina tesla en presencia de mascotas o niños pequeños.

El "Efecto Piel" también se aplica a un conductor humano. Aunque hay muy pocos datos en el rango de 150 a 250 kHz, en los que opera la mayoría de las Bobinas de Tesla, una atención a una frecuencia de 50 a 60 kHz, tiene una capacidad mucho mayor a causa de la fibrilación ventricular que produce la corriente continua.

Además, de 50 a 60 kHz, las contracciones involuntarias de los músculos puede ser tan severas que el individuo no puede dejar la fuente de alimentación.

Siempre que sea posible, trabaje con un compañero cerca de usted en caso de requerir ayuda.

Coloque una mano en el bolsillo cuando esté cerca de componentes eléctricos, así la corriente no pasará a través de su pecho, y utilice la parte posterior de su mano para tocar cualquier componente eléctrico, de manera que usted pueda alejarse en caso de que lo llegue a electrocutar el sistema.

Nunca manipule una Bobina de Tesla cuando esté cansado o bajo influencia de drogas que alteran la mente.

**Riesgo por quemaduras.** Las Bobinas de Tesla operan en un modo pulsado con fuertes campos eléctricos y magnéticos que son producidos localmente. Además, importantes cantidades de RF se pueden producir si la tierra es pobre, o antes de la chispa de arranque. Esto puede dar lugar a corrientes inducidas en conductores de otras partes, como el equipo de prueba, los equipos cercanos, la electrónica, y las estructuras de metal en la instalación. El resultado final es generalmente malo.

Apague y desenchufe los equipos de la casa, las computadoras y equipos de prueba sensible, alejándolos de la bobina.

Si se usa el terreno eléctrico de la casa como su tierra de RF, las corrientes pueden ser inducidas en cualquier parte del edificio, y las ondas de tensión permanente a lo largo del cableado pueden destruir la electrónica lejos del lugar de la bobina.

Se debe construir una tierra dedicada de RF, asegurándose de que está conectada correctamente antes de disparar cualquier bobina de tamaño considerable. Coloque la bobina en un lugar donde se evite golpear los enchufes eléctricos con el paso de personas y animales.

**Riesgo de incendio.** El peligro de incendio es considerable cuando se operan Bobinas de Tesla. Los incendios pueden ser causados por chispa de corriente, por sobrecalentamiento, por falla en el equipo (por ejemplo, un transformador en cortocircuito), la descarga de corona, inducidos, sólo por nombrar algunas causas bien sea en techo o paredes.

Asegúrese de tener a mano un extintor contra incendios eléctricos.

Verifique que al ejecutar la bobina no haya sustancias inflamables alrededor como: latas de gas, municiones, gasolina, aserrín, fuegos artificiales, entre otros.

Por lo general se opera la Bobina en la oscuridad con un montón de cables de alta tensión expuestos por lo que se debe tener mucho cuidado de no ir a pisarlos o unirlos. Los cables, condensadores, y otros equipos están envueltos en polietileno y plástico. Estos plásticos se encienden a temperaturas relativamente bajas, y producen grandes cantidades de humo tóxico.

**Los peligros del ruido.** Las Bobinas de Tesla producen mucho ruido, y especialmente las bobinas grandes pueden dañar la audición. Se recomienda utilizar protectores para los oídos, tales como tapones u orejeras.

Un tipo de chispa de la brecha de chorro de aire produce un ruido fuerte. Cuando una bobina está en sintonía, hay un aumento dramático en el nivel de ruido. Este ruido es lo suficientemente fuerte para dañar la audición.

### **7.3. MANTENIMIENTO DE LA BOBINA DE TESLA.**

La Bobina Este es la es un aparato eléctrico como tal debe mantenerse alejado de lugares húmedos, debe estar en un lugar seco, periódicamente debe limpiarse el polvo que se va acumulando en sus bobinados, en el bobinado primario el cobre tiende a irse opacando se recomienda que se limpie con brilla metal, el bobinado secundario sólo debe limpiarse con un limpión, limpiarlo del polvo y otras suciedades.

No debe usarse ningún químico o anticorrosivo, en la parte de los explosores aunque son de acero inoxidable tiende a corroerse debido a que el acero pierde sus propiedades cuando se somete a altas tensiones y se van oxidando, se deben limpiar sus terminales con lija 150.

El transformador no debe dejarse caer ni golpearse, la parte del acrílico debe limpiarse del polvo, mantener en buen estado sus cables de conexión no pisar ni someterlos a golpes mecánicos.

## 7.4. CONTAMINACIÓN ELECTROMAGNÉTICA.

Decreto 195 de 2005, la radiación electromagnética, como ya se ha mencionado la Bobina de Tesla es un generador electromagnético que produce altas tensiones de elevadas frecuencias (radiofrecuencia), las bobinas de tesla son excitadas para provocar corrientes u abundemos en oscilaciones que se propagan por conducción a través del medio natural.

Debido al gran crecimiento y la evolución de la energía eléctrica y la invención de aparatos electrónicos y eléctricos más los sistemas de comunicación como el uso de la telefonía celular el cual ha incrementado el uso de antenas para la transmisión de comunicación vía celular han contribuido a una gran preocupación por la contaminación electromagnética de la sociedad.

La contaminación electromagnética es producida por las radiaciones del espectro electromagnético generado por aparatos electrónicos u otros elementos utilizados por la sociedad.

En comparación la bobina de tesla es un circuito resonante que produce altos voltajes a altas frecuencias utilizando la radiofrecuencia del espectro electromagnético, “el espectro electromagnético es un diagrama en el que se encuentran todas las radiaciones electromagnéticas ubicadas desde las frecuencias más altas a las más bajas”, en la parte superior del espectro están los rayos X y los rayos gamma y al final se encuentran los campos magnéticos y los campos eléctricos, los campos electromagnéticos transportan energía, es decir, radiaciones que se puede clasificar según su frecuencia.

**Radiación ionizante.** Contiene suficiente energía para causar una ionización su interacción con la materia puede cambiar las reacciones químicas del cuerpo, lo que conlleva a un daño en los tejidos biológicos incluyendo efectos en el ácido desoxirribonucleico (ADN) el material genético del cuerpo humano, los rayos gamma y los rayos X son formas de radiación ionizante.

**Radiación no ionizante.** No contiene energía para causar ionización en el caso del cuerpo humano esta radiación dependiendo de su frecuencia puede causar calentamiento, pero los niveles a que están expuestos los trabajadores y la población usualmente no son suficientes para causar daño, la energía eléctrica, las microondas son radiaciones no ionizantes y los efectos son muy diferentes a los de las radiaciones ionizantes que sí pueden causar grandes daños a la salud. Es por eso que se han creado leyes y normas a nivel internacional y nacional, “en este rango se cuenta con un aparte del RETIE (reglamento técnico para instalaciones eléctricas) que define requisitos para la intensidad del campo le y densidad de flujo magnético para frecuencias comprendidas entre 25 a 1000 Hz, en zonas donde pueda permanecer el público.

## 7.5. RETIE.

Niveles de referencia para campos electromagnéticos. 2005, y se agrega: debe entenderse que ningún sitio donde pueda estar expuesto el público debe superar estos valores.

Para líneas de transmisión estos valores no deben ser superados dentro de la zona de servidumbre y circuitos de distribución a partir de distancias de seguridad (2.3 metros horizontal). Pero el RETIE en el capítulo II.

Define estas distancias de seguridad para contacto y no se define explícitamente si cubren el riesgo por radiación Electromagnética. Este reglamento para CEM presenta inconsistencias, que se deben tratar con cuidado.

La restricción para radiofrecuencia (RF) se da mediante resolución del Ministerio de Comunicaciones, número 001645 del 29 de julio de 2005, que reglamenta los límites permisibles de exposición a radiaciones de RF basado en recomendación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, (UIT-T K. 52) “orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos”, vigente desde 2005.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Reglamento técnico para instalaciones eléctricas. (RETIE). Bogotá. 2005.

**“Normatividad ambiental.** Colombia ha sido un país pionero en cuanto a normatividad ambiental se refiere, desde la expedición del código nacional de recursos naturales Decreto 2811 de 1974, la expedición de la ley 99/ 93 y la ley 388 de 1997 ley de desarrollo territorial, se ha ratificado el derecho a un ambiente sano que propenda por el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes. No obstante, el desconocimiento de la normatividad por parte de la ciudadanía en general hace que no se desarrolle una aplicación rigurosa de la misma. Algunas veces porque las instituciones que tienen la responsabilidad de llevar a cabo la regulación ambiental son laxas en su aplicación y control, otras veces porque se requiere cambios o ajustes en la implementación de la norma. Para el caso de la CEM es preciso actualizar la reglamentación en cuanto a la incorporación de la contaminación EM en los procesos de ordenamiento territorial.”

MINISTERIO DE COMUNICACIONES REPÚBLICA DE COLOMBIA. Resolución número 001645 del 29 de julio de 2005, por la cual se reglamenta el decreto 195 de 2005.

En Colombia el análisis de riesgo de contaminación electromagnética debe incorporarse en los procesos de ordenamiento territorial para el diagnóstico desarrollo y aplicación de la norma a nivel local y en la reglamentación del uso del suelo para que los que tienen que tomar decisiones “el desarrollo y ubicación de

infraestructura en las ciudades. La regulación a las normas y recomendaciones sobre la exposición a la radiación EM-NI en Colombia es una necesidad social que ayudaría a asegurar una mejor prestación del servicio de energía eléctrica y de telecomunicaciones desde el punto de vista de protección ambiental y producción limpia.

Luego de analizar la documentación existente en cuanto a estudios sobre efectos de la exposición a CEM y observar que no hay criterios unificados acerca de los riesgos que esta produce, se considera que se debe acoger al principio de cautela y tener un conjunto de normas que protejan el sector laboral y al público.

Esta imperiosa necesidad el estudio y replanteamiento del artículo 14 del RETIE. Para definir el límite sobre el cual la legislación considera riesgosa la exposición a radiación EM-NI.

Los organismos de estudio y control se deben capacitar en cuanto a cómo realizar las mediciones y cómo valorar los resultados de estudios.

## 8. CONCLUSIONES

Para que una Bobina de Tesla funcione en condiciones óptimas la conexión que se realiza del transformador al banco de condensadores, en sus terminales no debe llevar arandelas, ni estar separada, deben ir conectadas directamente para que no se produzca resistencia en sus terminales y esto conlleve a un recalentamiento y daño en el equipo.

El alineamiento de los electrodos del descargador debe ser muy preciso y tener una separación de 5 mm entre sí, con el fin de que la descarga sea más eficiente, pues se comprueba como ellos calientan el aire y forman un plasma entre sí.

Debido a la alta frecuencia generada por las Bobinas, los dispositivos electrónicos como cámaras, celulares u otros, deben conservar una distancia mínima de seguridad hasta la bobina secundaria; pues al momento de encenderla estos dispositivos electrónicos se apagan automáticamente o se dañan si están muy cerca.

Cuando la bobina secundaria entra en resonancia con la bobina primaria se produce un campo magnético y todo el circuito se concatena, produciendo en la bobina secundaria una transmisión de ondas de alta frecuencia y un elevado voltaje, así como la ionización del aire. Esto permite observar efluvios en forma de rayos.

Al acercar una lámpara fluorescente a 50 cm de la bobina está se excita y muestra luminosidad. Dependiendo de los vatios de la lámpara, presentan más o menos luminosidad.

Finalmente, se pudo realizar una serie de experimentos que comprueban lo expuesto por el inventor de esta Bobina Nicola Tesla, sobre la posibilidad de producir energía inalámbrica, pero es un campo en el cual se debe investigar mucho más.



## **9. RECOMENDACIONES**

El proceso de diseño y construcción de un prototipo de bobina de tesla ha significado superar diversos obstáculos y encontrar interesantes sorpresas, o simplemente comprobar algunos de los conceptos expuestos en clase. Sin embargo, este proyecto no termina con su entrega a la Institución Universitaria Pascual Bravo, muy por el contrario es el inicio de una importante etapa que propiciará la investigación y experimentación de diversos fenómenos y teorías por parte de los nuevos estudiantes.

## BIBLIOGRAFÍA

B. T. PHUNG, T. R. BLACKHUM, R. SHEEBI, R. E. JAMES. Tesla Transformer and Application in insulator testing. En: 7<sup>th</sup> international symposium on high voltage engineering, University of New South Wales, Australia, Agosto 26-30 1991.

CORDERO S. PATRICIO. Electromagnetismo. Santiago de Chile, 2007. Investigación. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

GRAINGER JOHN J. STEVENSON JR. WILLIAM. Análisis de sistemas de potencia. Mc Graw Hill, 1996, México D. F. 1<sup>ra</sup> Edición, Capítulo 2.

HAYT H. WILLIAM. Teoría Electromagnética. Mc Graw Hill, 1992, México D. F. 5<sup>ta</sup> edición, Capítulo 5.

## **CIBERGRAFIA.**

[http://es.wikipedia.org/wiki/Nikola\\_Tesla](http://es.wikipedia.org/wiki/Nikola_Tesla)

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

[http://es.wikipedia.org/wiki/Capacidad\\_el%C3%A9ctrica](http://es.wikipedia.org/wiki/Capacidad_el%C3%A9ctrica)

[http://es.wikipedia.org/wiki/Resonancia\\_el%C3%A9ctrica](http://es.wikipedia.org/wiki/Resonancia_el%C3%A9ctrica)

<http://forum.lawebdefisica.com/threads/10831-Como-calcular-la-frecuencia-de-resonancia-de-un-circuito>

<http://www.manelradio.com/calcul%20Fo.html>

<http://www.manelradio.com/FO.htm>