

TREBALL DE RECERCA

# NIKOLA TESLA, UN VISIONARI INCOMPRES



Autora: Marina Ciurans Oset

Curs i Grup: 2n de Batxillerat B

Any acadèmic: 2010-2011

Tutor del treball: Toni Riobot (Tecnologia)

Centre: IES Menéndez y Pelayo

## **RESUM**

Nikola Tesla va ser un dels inventors més revolucionaris dels segles XIX i XX. Però tot i això, avui en dia, és pràcticament un desconegut. Els objectius d'aquest treball han estat investigar sobre la vida i obra de Tesla, per tal de determinar la transcendència dels seus estudis. A partir d'aquest plantejament, he cercat informació sobre la seva trajectòria i alguns dels seus invents més importants, així com sobre alguns dispositius actuals basats en les seves investigacions. Tenint en compte aquest marc teòric, he escollit un dels seus invents més representatius, l'he construït i n'he comprovat el correcte funcionament. Finalment, he explicat per què va ser tan important Nikola Tesla pel que fa a l'avenç tecnològic d'aquests dos últims segles.

## **ABSTRACT**

Even though Nikola Tesla was one of the most innovative inventors of the XIX and XX centuries, nowadays he is almost completely unknown. The aim of this project is to investigate Tesla's life and work, in order to establish the purpose of his research. From this point of view, some inventions and information on his career will be considered together with some current inventions based on his investigations. Considering this theoretical framework, I chose one of his most representative inventions, constructed it and checked that it worked properly. Finally, the influence that Nikola Tesla has had on technological advance has been investigated in detail.

# ÍNDEX

<b>INTRODUCCIÓ</b> .....	5
<b>MARC TEÒRIC: VIDA I LLEGAT DE NIKOLA TESLA</b> .....	7
<b>1. BREU BIOGRAFIA DE NIKOLA TESLA</b> .....	8
1.1. INICIS.....	8
1.1.1. Infantesa.....	8
1.1.2. Estudis superiors i primers anys com a enginyer.....	8
1.2. RUMB A AMÈRICA.....	9
1.2.1. Treballant per a Edison.....	9
1.2.2. Tesla Electric Light & Manufacturing Company i Tesla Electric Company.....	9
1.2.3. La Guerra dels Corrents.....	10
1.3. TRIOMF DEL CORRENT ALTERN.....	11
1.3.1. L'Exposició Colombiana.....	11
1.3.2. Les Cataractes del Niàgara.....	11
1.3.3. Altres projectes.....	12
1.3.3.1. Radiofreqüències i la bobina de Tesla.....	12
1.3.3.2. La ràdio i els raigs X.....	13
1.3.3.3. El control remot.....	14
1.3.3.4. Màquina per provocar terratrèmols.....	14
1.4. TRANSMISSIÓ SENSE FILS.....	14
1.4.1. De Nova York a Colorado Springs.....	14
1.4.1.1. Construcció del laboratori i generador artificial de llamps.....	15
1.4.1.2. Primers contactes amb l'espai exterior.....	16
1.4.1.3. La Terra i la ionosfera com a conductors.....	16
1.4.2. El Projecte Wardenclyffe.....	17
1.4.2.1. Finançament i disseny del projecte.....	17
1.4.2.2. Construcció de la torre.....	18
1.4.2.3. Projecte inacabat.....	18
1.5. ÚLTIMS ANYS.....	19
1.5.1. Principis del radar i de l'helicòpter.....	19
1.5.2. El raig de la mort.....	19
1.6. MORT.....	20
1.6.1. Els documents desapareguts.....	20
<b>2. INVENTS I DESCOBRIMENTS MÉS IMPORTANTS</b> .....	20
2.1. LA RÀDIO.....	21
2.1.1. El control remot.....	22

2.2. ELS RAIGS X.....	23
2.3. LA BOBINA DE TESLA.....	23
2.3.1. Transmissió d'energia elèctrica sense fils.....	24
<b>3. TECNOLOGIA TESLA EN L'ACTUALITAT.....</b>	<b>25</b>
3.1. FLYBACK I BUGIA.....	25
3.1.1. Flyback de televisió o transformador de línies.....	26
3.1.2. Bugia per motors de combustió interna.....	26
3.2. TELEVISORS I ALTRES ELECTRODOMÈSTICS SENSE CABLES.....	26
3.3. PROJECTE HAARP.....	27
<b>PART PRÀCTICA: CONSTRUCCIÓ D'UNA "BOBINA DE TESLA".....</b>	<b>28</b>
<b>1. INTRODUCCIÓ.....</b>	<b>29</b>
<b>2. CARACTERÍSTIQUES TÈCNIQUES DE LA BOBINA TESLA.....</b>	<b>29</b>
<b>3. FUNCIONAMENT DE LA BOBINA TESLA.....</b>	<b>30</b>
3.1. CIRCUIT PRIMARI.....	30
3.2. CIRCUIT SECUNDARI.....	30
<b>4. TREBALL PREVI A LA CONSTRUCCIÓ DE LA BOBINA.....</b>	<b>31</b>
4.1. VOLTATGE DEL DEBANAMENT SECUNDARI UTILITZANT LA LLEI D'OHM.....	31
<b>5. PROCÉS DE CONSTRUCCIÓ.....</b>	<b>32</b>
5.1. FABRICACIÓ DE LA BOBINA SECUNDÀRIA.....	32
5.2. FABRICACIÓ DE LA BUGIA.....	33
5.3. FABRICACIÓ DE LA BOBINA PRIMÀRIA.....	33
5.4. MUNTATGE DEL CONDENSADOR.....	35
5.5. ENSAMBLATGE DE TOTS ELS ELEMENTS SOBRE LA BASE.....	36
5.5.1. Ensamblatge del condensador.....	36
5.5.2. Ensamblatge de la bobina secundària.....	37
5.5.3. Ensamblatge de la bugia.....	38
5.5.4. Ensamblatge del transformador.....	38
5.6. CONNEXIONS.....	39
5.6.1. Connexions directament soldades.....	39
5.6.2. Connexions mitjançant terminals.....	39
<b>6. AVALUACIÓ DEL MUNTATGE.....</b>	<b>40</b>
6.1. TRANSFORMADOR DE 220V A 24V.....	40

6.2. TRANSFORMADOR DE MICROONES (DE 220V A 2.400V).....	40
6.2.1. Proves qualitatives.....	41
6.2.1.1. Crear una làmpada de plasma.....	41
6.2.1.2. Encendre un tub fluorescent.....	42
6.2.2. Proves quantitatives.....	42
6.2.2.1. Voltatge de la bobina secundària utilitzant de la Llei d'Ohm.....	43
<b>7. POSSIBLES MILLORES.....</b>	<b>45</b>
7.1. SEPARACIÓ ENTRE LES DUES BOBINES.....	45
7.2. CARAGOLS DE LA BUGIA.....	46
<b>CONCLUSIONS.....</b>	<b>47</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>49</b>
<b>ANNEXOS</b>	
ANNEX I: PATENT DE LA BOBINA DE TESLA ORIGINAL	
ANNEX II: MATERIAL NECESSARI PER A LA CONSTRUCCIÓ D'UNA BOBINA TESLA	
ANNEX III: GLOSSARI DE LA CONSTRUCCIÓ DE LA BOBINA TESLA	

# INTRODUCCIÓ

- Nikola Tesla, probablement un dels inventors més importants de la història i, alhora, un dels més desconeguts. Si no hagués estat per ell, potser avui en dia no arribaria electricitat a les cases tal com la coneixem, ja que va ser l'inventor i principal defensor del corrent altern i dels sistemes polifàsics. Entre altres molts dispositius, també va ser el veritable inventor de la ràdio, dels raigs X, del control remot, del radar, i un pioner en la transmissió d'electricitat sense cables. Tot i això, Nikola Tesla és més conegut pel seu caràcter arrogant i excèntric, i per la seva suposada relació amb éssers d'altres planetes. Fins i tot és més conegut el tesla (T), unitat del sistema internacional per mesurar la inducció magnètica, o densitat de camp magnètic, que el propi inventor. Que tingués tendència a contradir a grans eminències d'aquella època, com podia ser Thomas Alva Edison, o que no es preocupés en absolut pels diners (fet que no agradava gaire als seus inversors), va contribuir a què la gent no volgués apreciar l'avenç tecnològic que suposaven els seus invents i que, després de mort, el seu nom fos oblidat ràpidament (excepte entre la comunitat científica).
- A través d'aquest treball pretenia aprofundir en la vida de Nikola Tesla. Investigar qui era, què va fer exactament, quines raons van provocar que no tingués tot el reconeixement que hauria merescut, i quina part de les seves investigacions van despertar tant l'interès del govern dels Estats Units com per arribar a confiscar tots els seus documents.
- El punt de partida per començar a investigar va ser la meua hipòtesi segons la qual, si no hagués estat per tots els descobriments realitzats per Tesla, avui en dia no tindríem el nivell de desenvolupament tècnic que hem assolit. De manera que a l'hora de fer el treball, em vaig proposar dos objectius: el primer, investigar fins a quin punt van ser decisives les aportacions de Nikola Tesla per a l'evolució tecnològica a partir del segle XIX, no només a través de dispositius inventats per ell mateix, sinó també com a fonament per a investigacions i invencions d'altres científics, tant coetanis com posteriors; el segon objectiu d'aquest treball era, a partir de tota la informació recopilada, arribar a construir i a fer funcionar un dels invents ideats per ell.
- Per tant, la recerca anava encaminada a determinar en quin camp les investigacions de Nikola Tesla van ser més importants, i a partir d'aquí, esbrinar quin dels invents n'era el més representatiu. El primer pas per elaborar el treball va ser cercar bibliografia relacionada amb la vida d'aquest controvertit inventor. Un cop contrastada la informació que vaig trobar, vaig poder observar que, tot i que els descobriments de Nikola Tesla tenien aplicacions pràctiques molt diferents, tots es

fonamentaven en un mateix fenomen: l'electricitat d'alta freqüència. De tots els dispositius que va inventar, el més important va ser l'anomenada bobina de Tesla, que li permetia generar corrents de tensions i freqüències molt elevades. De manera que vaig decidir muntar una bobina de Tesla a petita escala. Abans, vaig investigar dissenys de bobines que ja s'haguessin construït anteriorment i vaig triar el que em va semblar més assequible. A partir d'aquí, només va quedar reunir tot el material necessari, muntar la bobina (en el taller de tecnologia de l'institut) i comprovar que funcionava.

- La memòria del treball s'estructura en dos grans blocs. El primer és el marc teòric. Inclou una biografia de Nikola Tesla, en la qual explico els fets més rellevants de la seva carrera professional, un apartat on parlo sobre alguns dels seus invents més importants -i pels quals no va rebre cap mena de reconeixement, almenys en vida- i per últim, un tercer apartat en què explico diferents exemples d'aplicacions pràctiques, en l'actualitat, d'alguns dels seus invents, molts dels quals, en aquella època, es van considerar totalment inútils. El primer bloc serveix per situar al lector i per justificar l'elecció de la bobina de Tesla com a enginy a construir, i no un altre. El segon bloc està format per la memòria de la construcció de la meva bobina Tesla. Aquest inclou un informe detallat de tot el procés constructiu, explicant com s'ha fet cada part del muntatge, una explicació del funcionament de la bobina i de les diferents proves i mesures preses per tal de comprovar el correcte funcionament del muntatge, i algunes propostes per poder millorar-lo un cop acabat. Finalment, en l'últim apartat, explico les conclusions a què he arribat respecte de la meva hipòtesi, tot interpretant i explicant els resultats obtinguts, i tenint en compte si s'han assolit o no els objectius establerts prèviament.
- En els annexos del treball, hi he inclòs informació complementària que pot ajudar a entendre millor alguna part del treball. En el primer annex s'hi troba la patent completa de la bobina de Tesla original. M'ha semblat interessant incloure-la en el treball perquè és un dels enginyers més reconegut de l'inventor, i permet comprovar les diferències entre el disseny original i els dissenys que es construeixen actualment. El segon i el tercer annex inclouen informació referent a la construcció de la bobina. En el segon, hi ha una llista amb tots els materials i eines necessàries per a la seva elaboració, mentre que en el tercer, hi ha un glossari amb el significat d'algunes paraules clau que apareixen en la memòria de la construcció.

**MARC TEÒRIC:  
VIDA I LLEGAT DE NIKOLA TESLA**

# 1. BREU BIOGRAFIA DE NIKOLA TESLA

## 1.1. INICIS

### 1.1.1. Infantesa

- Nikola Tesla va néixer l'any 1856 a Smiljan, un poble de la província de Lika a Croàcia, regió que en aquella època formava part de l'Imperi austrohongarès.
- Als sis anys, la família Tesla es va traslladar a Gospić, on Nikola va poder assistir a l'escola per primera vegada. Allà mateix, als deu anys, va començar l'institut. Va continuar els seus estudis a l'Institut Superior de Karlstadt, on es va començar a interessar per l'electricitat.
- Ja de ben jove, era capaç de dissenyar i construir tota mena d'artefactes, i resoldre mentalment problemes matemàtics sense cometre errors. Aquests fets posaven de manifest una de les qualitats que més el caracteritzaven: la seva memòria fotogràfica (que segons ell mateix havia reconegut que havia heretat de la seva mare), i que de gran li permetria visualitzar allò que volia construir sense necessitat de fer-ne cap esbós (mai va elaborar un plànol previ d'allò que volia construir).

### 1.1.2. Estudis superiors i primers anys com a enginyer

- El 1875 es va matricular a l'Escola Politècnica Austríaca de Graz. Durant el primer any, es va treure dos cursos alhora, però el segon any va perdre la beca de què disposava i va haver de deixar les classes.
- Més endavant, es va traslladar a Praga, on va viure fins els vint-i-quatre anys gràcies als diners que li havia donat la seva mare. No consta que es matriculés en cap de les universitats del país sinó que només hi assistia com a oient.
- L'any 1881 es va instal·lar a Budapest i va començar a treballar a l'Oficina Central de Telègrafs. En aquesta mateixa ciutat va ser on va idear per primera vegada el seu motor de corrent altern. Després d'ascendir de la categoria d'auxiliar a la d'enginyer, el 1882, Nikola Tesla es va traslladar a París, on va començar a treballar en la Continental Edison Company. La seva feina consistia a solucionar els problemes que poguessin aparèixer a les centrals franceses i alemanyes de la companyia.
- Dos anys més tard, el 1884, decebut amb el tracte rebut per part dels directius de la companyia, Nikola Tesla va presentar la seva dimissió, i gràcies a una carta de recomanació de Charles Batchelor, un íntim amic de Thomas Alva Edison, va poder

viatjar a Nova York per treballar sota les ordres de l'inventor americà, un dels seus referents més importants.

## 1.2. RUMB A AMÈRICA

### 1.2.1. Treballant per a Edison

- El juny del mateix any 1884, Tesla va arribar a Nova York i va començar a treballar Per Edison. La idea amb la qual Tesla havia decidit anar-se'n als Estats Units era poder realitzar els diferents invents relacionats amb el corrent altern que havia dissenyat mentalment, però Edison, creador de la primera central elèctrica comercial (situada a Manhattan) era un gran defensor del corrent continu i no mostrà cap mena d'interès pel que li proposava Nikola Tesla.

- Tesla va començar a treballar com a enginyer elèctric en la Edison Machine Works (*Figura 1*), una de les empreses d'Edison a Nova York dedicada a la fabricació de dinamos i motors elèctrics per a la Edison Electric Light Company. Però Edison de seguida es va adonar que Tesla era capaç de resoldre problemes tècnics de gran dificultat, motiu pel qual li va prometre 50.000\$ a canvi de millorar els seus generadors de corrent continu.



Figura 1

- Durant un any, Nikola Tesla es va dedicar únicament a la tasca que li havia assignat Edison. Un cop va haver acabat la feina amb èxit va reclamar els seus 50.000\$, però Edison es va negar a pagar-li. Tot i que Edison li va oferir un augment de sou (de 18\$ setmanals a 25\$), Tesla va presentar la seva dimissió.

### 1.2.2. Tesla Electric Light & Manufacturing Company i Tesla Electric Company

- En poc temps, Tesla va començar a ser extremadament reconegut com a enginyer. Per aquesta raó, va rebre l'oferta d'un grup d'inversors per participar en una empresa dedicada a la fabricació de làmpades d'arc voltaic per a l'enllumenat públic i de diverses fàbriques.
- L'empresa va rebre el nom de Tesla Electric Light & Manufacturing Company, i Nikola Tesla va treballar-hi entre els anys 1885 i 1886. Durant aquest període, va aconseguir fabricar un tipus de làmpada d'arc voltaic que presentava notables millores respecte a les ja existents, de manera que les va patentar i van ser

instal·lades per tota la ciutat de Nova York. Però l'any 1886, Tesla va quedar fora de l'empresa.

- Durant un any, Tesla va sobreviure treballant com a obrer a Nova York, fins que el 1887 A.K. Brown, el director de la Western Union Telegraph Company, li va oferir de crear una nova empresa dedicada a desenvolupar el seu motor de corrent altern. Aquesta nova empresa va rebre el nom de Tesla Electric Company, i els seus laboratoris estaven situats bastant a prop d'on treballava Edison.

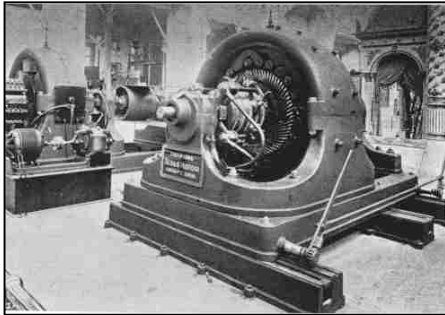


Figura 2

- Al cap de pocs mesos, Nikola Tesla havia creat i patentat el seu motor de corrent altern, així com tots els elements necessaris per a la generació i transport d'energia elèctrica de corrent altern amb un sistema trifàsic (*Figura 2*). En aquest moment, es va iniciar el que es coneix com "la Guerra dels Corrents".

### 1.2.3. La Guerra dels Corrents

- George Westinghouse, inventor americà i fundador de l'empresa Westinghouse Electric & Manufacturing Company, va ser un dels pioners en la utilització de l'energia elèctrica de corrent continu a nivell comercial. Per aquest motiu, l'any 1888, quan es va assabentar dels invents realitzats per Nikola Tesla, es va presentar al seu laboratori i li va oferir una suma considerable de diners (tant en efectiu com en forma d'accions de la seva companyia) per una part de les seves patents i per la potència generada a partir de l'energia elèctrica obtinguda gràcies als seus invents.
- A partir d'aquest moment, Tesla va començar a treballar amb George Westinghouse amb el principal objectiu d'utilitzar els sistemes polifàsics per al transport de corrent altern a llargues distàncies, i així poder crear una gran xarxa elèctrica que subministrés electricitat a tot els Estats Units.
- Aquesta època es coneix amb el nom de la Guerra dels corrents perquè es va iniciar un autèntic conflicte d'interessos entre Edison (que fins aquell moment havia tingut el monopoli del subministrament elèctric), gran defensor del corrent continu, i Westinghouse (juntament amb Nikola Tesla), que volien demostrar que el corrent altern presentava molts avantatges respecte del corrent continu, sobretot en relació al seu transport.
- Per evitar que l'ús comercial del corrent altern prosperés, Edison va dur a terme tota una campanya propagandística en contra mitjançant fulletons en els quals explicava

els perills que aquest comportava. A més a més, es dedicava a electrocutar gossos i gats i, fins i tot, l'any 1890, va donar suport a la primera execució amb cadira elèctrica (que funcionava mitjançant un generador Westinghouse), per demostrar que el corrent altern només representava un gran perill per a les persones.

- L'any 1891, a Telluride, Colorado, la Westinghouse Electric & Manufacturing Company va realitzar la primera instal·lació de corrent altern per tal d'il·luminar els assentaments miners de la ciutat. Aquest mateix any, Nikola Tesla, finalment, va rebre la nacionalitat nortamericana.

### **1.3. TRIOMF DEL CORRENT ALTERN**

#### **1.3.1. L'Exposició Colombiana**

- L'any 1893, l'empresa Westinghouse Electric & Manufacturing Company va ser l'escollida per encarregar-se de la il·luminació de l'Exposició Universal de Chicago, també anomenada l'Exposició Colombiana -perquè s'hi commemorava el 400 aniversari del descobriment d'Amèrica-, enlloc de l'empresa General Electric Company (que acabava d'absorbir la companyia d'Edison). La de Chicago va ser la primera Exposició Universal de la història en disposar d'energia elèctrica.
- La General Electric Company proposava un sistema d'il·luminació alimentat per corrent continu que necessitava una gran quantitat de cable, de manera que el pressupost era molt elevat. Westinghouse, en canvi, proposava un sistema d'il·luminació, molt més eficient, que utilitzava el corrent altern; aquest fet que reduïa el pressupost gairebé a la meitat.
- Durant els sis mesos que va durar l'Exposició, que va ser inaugurada l'1 de maig de 1893 amb l'encesa de més de 100.000 làmpades incandescentes alimentades amb corrent altern (*Figura 3*), en el Pavelló de l'Electricitat, Tesla va mostrar molts dels seus invents, tots ells relacionats amb el corrent altern i els sistemes polifàsics. A partir d'aquell moment, van quedar demostrats els avantatges del corrent altern.



Figura 3

#### **1.3.2. Les Cataractes del Niàgara**

- A finals del 1893, després de l'èxit de la il·luminació de l'Exposició Universal de Chicago, de nou l'empresa Westinghouse Electric & Manufacturing Company va ser

escollida per la International Niagara Falls Commission per fabricar i instal·lar els dos primers generadors elèctrics de les cataractes del Niàgara. L'empresa encarregada d'instal·lar tota la xarxa de transport i distribució, però, va ser la General Electric Company.

- L'any 1896, la primera part del projecte ja estava acabada: una central capaç de generar més de 11 MW de potència, que subministrava electricitat a la ciutat de Buffalo, Nova York, situada a quaranta quilòmetres de les cataractes.



Figura 4

- El projecte de la Niagara Falls Power Company (*Figura 4*), en el qual hi havien invertit alguns dels homes de negocis més rics d'arreu dels Estats Units i d'Europa, va finalitzar al cap de cinc anys. Westinghouse va instal·lar set generadors més que, juntament amb els altres dos, proporcionaven al voltant de 37 MW de potència, i la General Electric Company va construir-hi una altra central que disposava

d'onze generadors més. D'aquesta manera, la central de les cataractes del Niàgara arribà a subministrar electricitat a la ciutat de Nova York, on es destinava a fer funcionar tramvies, ferrocarrils i, fins i tot, els laboratoris del propi Edison.

- A causa de la competència amb la General Electric Company, així com les despeses generades per diferents processos judicials, la Westinghouse Electric & Manufacturing Company es va trobar en una difícil situació econòmica. Davant la petició de Westinghouse de rescindir el seu contracte inicial, gràcies al qual rebia grans sumes de diners per les seves patents, Tesla va acceptar i li va vendre totes les seves patents per 1 milió de dòlars, com a mostra d'agraïment per haver confiat en ell.

### **1.3.3. Altres projectes**

#### **1.3.3.1. Radiofreqüències i la bobina de Tesla**

- Paral·lelament als projectes de gran envergadura que va dur a terme conjuntament amb Westinghouse, és a dir, la il·luminació de la Exposició Colombiana i la construcció de la central hidroelèctrica de les cataractes del Niàgara, durant la dècada de 1890, Nikola Tesla va realitzar nombroses investigacions en el camp de les altes freqüències.
- Tesla estava segur que la utilització d'energia elèctrica d'alta freqüència, o radiofreqüència, (a partir dels 50KHz), presentava certs avantatges respecte el

corrent altern de menor freqüència (el subministrat a través de la xarxa elèctrica era de 60Hz), ja que era més eficient i menys perillós per als éssers vius.

- El principal objectiu de Tesla era aconseguir un tipus de làmpada, alimentada per un corrent altern d'alta freqüència, més rendible que la làmpada incandescent d'Edison, la qual presentava una gran pèrdua d'energia. Per generar el corrent d'alta freqüència va construir diferents artefactes, però només podien assolir una freqüència màxima de 20KHz.
- Finalment, el 1891, va inventar l'anomenada bobina de Tesla, un aparell que permetia assolir freqüències de l'ordre dels 50KHz. Gràcies a aquesta invenció, Nikola Tesla va poder crear i il·luminar els primers llums fluorescents i de neó, així com realitzar nombrosos experiments relacionats amb els raigs X i amb la transmissió d'energia sense fils. També es creu que Tesla, gràcies a la seva bobina, va ser el primer a realitzar el que avui en dia s'anomena fotografia Kirlian, i que va crear els primers aparells d'electroteràpia.

### **1.3.3.2. La ràdio i els raigs X**

- Gràcies a la seva bobina i al fenomen de la ressonància electromagnètica, Nikola Tesla va descobrir que, a més d'emetre senyals de ràdio, també podia rebre'n. En qüestió de quatre anys, Nikola Tesla va establir els sis principis de la transmissió per ràdio i va ser capaç de realitzar la primera transmissió per ràdio pública. Finalment, tot i haver patentat el seu sistema de transmissió de senyals per ràdio el 1890, havent aconseguit transmetre un missatge a una distància de quaranta quilòmetres (en la qual es trobava el receptor), oficialment, la invenció de la ràdio va ser atribuïda a Marconi l'any 1904.
- Seguint amb les seves investigacions sobre les altes freqüències, a finals de la dècada de 1880 i principis de la dècada de 1890, Tesla va dur a terme nombrosos experiments mitjançant tota una sèrie de tubs de buit que li van permetre realitzar les primeres fotografies de l'interior del cos humà. Va ser, doncs, el primer científic en experimentar amb els raigs X. De nou, tot i haver estat Nikola Tesla el descobridor d'aquest tipus de radiacions i de les seves possibles aplicacions pràctiques, el descobriment va ser atribuït a un altre científic. Wilhelm Röntgen és considerat el descobridor dels raigs X (ell els va anomenar així), tot i que les primeres fotografies de l'esquelet humà les va realitzar el propi Tesla.
- L'any 1895, el laboratori de Nikola Tesla a Nova York va ser completament destruït per un incendi, de manera que es van perdre tots els invents que havia realitzat fins aquell moment. És per aquest motiu que les investigacions de Tesla relacionades amb

els raigs X són bastant desconegudes, ja que feia poc temps que es dedicava a aquest camp de recerca.

### **1.3.3.3. El control remot**

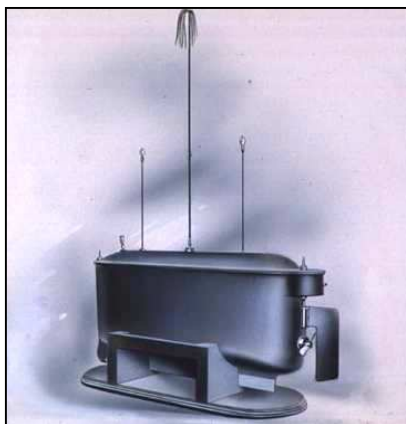


Figura 5

- Després de trobar un nou emplaçament per al seu laboratori, Tesla va seguir realitzant experiments relacionats amb la transmissió de senyals de ràdio i d'energia sense fils. Un dels esdeveniments més importants d'aquesta època data del 1898, any en què Tesla va sorprendre el món de nou fent navegar un petit vaixell amb control remot (*Figura 5*), a l'estany del Madison Square Garden, de Nova York. El vaixell estava dirigit amb un comandament a distància (sense cables que l'unissin al vaixell), que li enviava les ordres a través d'ones de ràdio. Aquells que van poder

presenciar la demostració van quedar impressionats amb l'invent, però aquest era tan avançat a l'època que pràcticament ningú li va saber veure les possibles aplicacions pràctiques a curt o a llarg termini.

### **1.3.3.4. Màquina per provocar terratrèmols**

- Durant l'any 1898, sembla ser que Tesla va estar investigant a fons la propagació de les ones mecàniques. Un dels experiments que va realitzar va ser mitjançant un oscil·lador electromecànic, és a dir, un dispositiu capaç de generar ones mecàniques d'una certa freqüència. Gràcies a aquest aparell, Tesla va poder comprovar que, segons la freqüència de les ones produïdes, uns o altres objectes del seu laboratori hi entraven en ressonància i vibraven a la seva mateixa freqüència.
- Però l'oscil·lador no afectava només els objectes de dins del seu laboratori, sinó que arribava a provocar tremolors a tot el barri. Tesla va realitzar diferents proves, com col·locar l'aparell sobre una barra d'acer fins que aquesta es trenqués, o bé fer tremolar tot un edifici de 10 pisos en construcció (només hi havia l'estructura d'acer). Nikola Tesla afirmava que, amb aquest aparell, es podien generar terratrèmols (més o menys destructius) i que, fins i tot, es podria arribar a partir el món en dos.

## **1.4. TRANSMISSIÓ SENSE FILS**

### **1.4.1. De Nova York a Colorado Springs**

- Des del moment en què va inventar la seva bobina, i a partir dels diferents experiments que va realitzar amb tubs de buit, Nikola Tesla va desenvolupar un gran

interès per la transmissió d'energia elèctrica sense necessitat de cables, a través de medis físics com l'aire o la pròpia Terra.

- Amb l'objectiu de poder seguir investigant aquests fenòmens, l'any 1899, Tesla es va traslladar a Colorado Springs, Colorado. Allà, i gràcies a Leonard Curtis, un advocat que havia ajudat a Tesla i Westinghouse amb els conflictes legals amb Edison durant la Guerra dels Corrents, Tesla va disposar d'un ampli laboratori, als afores de la ciutat, on realitzar els seus experiments, així com de subministrament elèctric per part de l'empresa local: El Paso Power Company. Durant la temporada que va passar a Colorado Springs, Tesla va realitzar alguns experiments de gran importància, tot i que amb poques aplicacions pràctiques.

#### **1.4.1.1. Construcció del laboratori i generador artificial de llamps**

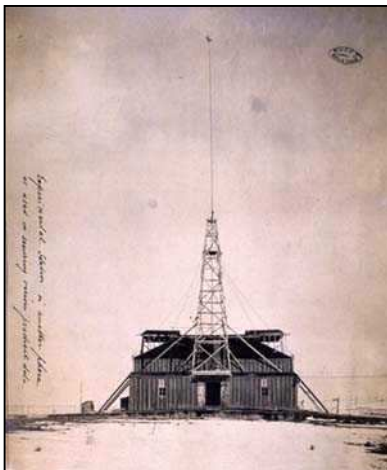


Figura 6

- El nou laboratori de Nikola Tesla, situat als peus de Pikes Peak, a menys de dos quilòmetres de la ciutat, estava format per un edifici de fusta, destinat a contenir una bobina de Tesla d'enormes dimensions, amb una obertura en el sostre a través de la qual sortia una torre metàl·lica d'uns 65 metres d'altura, que tenia una esfera de coure d'un metre de diàmetre a la part superior (Figura 6).

- Nikola Tesla estava convençut que, en caure un llamp sobre la superfície terrestre, la Terra generava unes ones elèctriques que es propagaven per l'interior

del planeta, la qual cosa significava que la Terra era un gran conductor elèctric. Si això era cert, es podia aprofitar la mateixa superfície terrestre per transportar grans quantitats d'energia elèctrica a arreu del món, encara que calia generar una descàrrega elèctrica similar a la d'un llamp.

- Gràcies a la bobina de Tesla instal·lada en l'interior del laboratori (Figura 7), que s'encarregava d'enviar impulsos elèctrics de tensions i voltatges molt elevats a la Terra, Nikola Tesla va aconseguir generar llamps de manera artificial que sortien de l'esfera situada a la part superior de la torre metàl·lica i queien sobre el laboratori, o fins a terra. El voltatge generat era de l'ordre de 12 MV. Al cap de

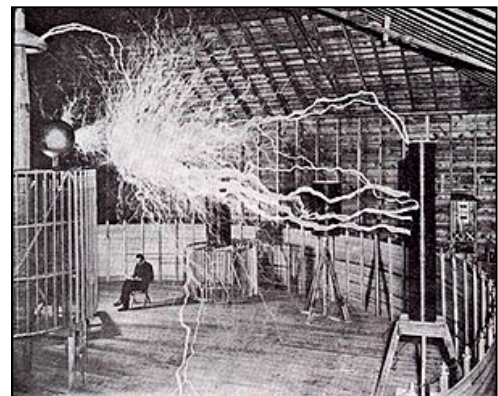


Figura 7

poca estona d'estar en funcionament, el gran consum d'energia en el laboratori de Nikola Tesla va provocar una sobrecàrrega en el generador de la central de El Paso Power Company, que es va traduir en un incendi en la línia elèctrica que va deixar tota la ciutat de Colorado Springs sense electricitat. Tot i que en un principi l'empresa elèctrica volia tallar el subministrament d'electricitat al laboratori de l'inventor, va ser el mateix Tesla qui va pagar les despeses de les reparacions pertinents, de manera que va seguir disposant d'electricitat per realitzar els seus experiments.

#### **1.4.1.2. Primers contactes amb l'espai exterior**

- Segons sembla, en una ocasió, gràcies a un dels seus aparells de ràdio, Tesla va poder captar un missatge xifrat. Davant la certesa que en aquella època encara no existien centrals emissores de ràdio, va concloure que es devia tractar d'un missatge de fora de la Terra, segurament de Mart.

#### **1.4.1.3. La Terra i la ionosfera com a conductors**

- Després de comprovar que era capaç de generar corrents alterns tan elevats, i partint de la idea que es podia transmetre energia elèctrica mitjançant un sol conductor, Tesla va arribar a la conclusió que podria transmetre energia elèctrica arreu del món utilitzant el propi planeta com a conductor. La seva teoria era que la Terra és un cos carregat elèctricament, de manera que, sabent-ne la freqüència de ressonància, es podia arribar a transmetre energia a través seu. A partir de les seves investigacions, va arribar a la conclusió que la Terra es podia fer entrar en ressonància amb freqüències de 6, 18 i 30 Hz. Més tard es va descobrir que aquestes freqüències, de fet, eren de 8, 14 i 20 Hz.
- Basant-se en la seva teoria, segons la qual la Terra és un cos carregat elèctricament i conductor del corrent, i en la idea que, en les capes altes de l'atmosfera, l'aire es troba ionitzat (de manera que també és conductor de l'electricitat), Tesla va arribar a la conclusió que la superfície terrestre i la ionosfera, juntament amb l'aire que es troba entre totes dues (que no és conductor de l'energia elèctrica) formaven un condensador. Aleshores, va realitzar els primers intents de transmetre ones electromagnètiques de molt baixa freqüència (ELF), precisament, a través de la capa d'aire intermèdia (la que es podria considerar el "dielèctric" d'aquest condensador). Segons Tesla, la freqüència de ressonància d'aquesta capa era de 6Hz, tot i que més tard es va descobrir que, de fet, és de 7,83 Hz. És l'anomenada freqüència de ressonància de Schumann.
- A partir d'aquests descobriments relacionats amb la transmissió sense fils d'energia elèctrica, Tesla va obsessionar-se amb la idea de transmetre electricitat de manera gratuïta a tot el món, valent-se de medis físics. Amb aquest únic objectiu en ment,

l'any 1898, va començar a dissenyar la Torre Wardenclyffe, instal·lació que, segons ell, li permetria il·luminar tot el món. Finalment, l'any 1900 va tornar a Nova York per iniciar-ne la construcció.

## **1.4.2. El Projecte Wardenclyffe**

### **1.4.2.1. Finançament i disseny del projecte**

- Per poder construir la seva torre, Tesla necessitava un gran capital inicial que ell no podia assumir. Per aconseguir inversors per al seu nou projecte, Tesla va escriure un article per la Century Magazine, en el qual afirmava que era possible captar l'energia solar mitjançant una antena, o canviar el clima enviant energia a la ionosfera, i proposava un sistema sense fils de telecomunicacions a nivell mundial que permetria crear una xarxa de telefonia i enviar missatges (com ara telegrams), música i fins i tot imatges a qualsevol punt del món. Amb aquest sistema, però, Tesla també pretenia enviar energia elèctrica sense necessitat de cables a qualsevol punt del planeta.
- Després de provar sort amb alguns dels multimilionaris més poderosos de l'època, finalment, l'empresari J.P. Morgan es va interessar pel projecte de Nikola Tesla. L'empresari va oferir-li 150.000\$ per a la realització del seu projecte, a canvi del 51% de totes les patents sobre els sistemes de transmissió de ràdio que conservés fins el moment i totes les patents que obtingués a partir d'aleshores.
- L'emplaçament escollit per Tesla per construir la seva torre (és a dir, la central emissora) va ser un terreny de 80 ha situat a Shoreham, Long Island, Nova York, que li va oferir el director de la Suffolk Conty Land Company, James D.Warden. Per aquest motiu, el projecte va rebre el nom de Projecte Wardenclyffe.
- La central havia d'estar formada per un edifici de 840m<sup>2</sup>, on es trobarien els laboratoris (dissenyat per Stanford White), i per la torre en sí (dissenyada per W.D. Crowd, un soci de White), de 57 m d'altura i 21 m de diàmetre, que havia de sostenir en la seva part superior una cúpula hemisfèrica de 17 m de diàmetre (Figura 8).



Figura 8

#### **1.4.2.2. Construcció de la torre**

- La construcció de les diferents instal·lacions del projecte Wardenclyffe va començar l'any 1901. Primer de tot, es va construir l'edifici on estarien ubicats els laboratoris de Tesla a partir del 1902. A continuació, i a la part posterior de l'edifici principal, va començar la construcció de la torre octogonal, l'estructura de la qual estava formada per bigues de fusta unides entre elles. Per sota, la torre estava connectada a una sèrie d'eixos consecutius que arribaven fins a una profunditat d'uns 130 m sota terra. Aquesta connexió a terra havia de servir per "fer oscil·lar la Terra" a una certa freqüència, i així aconseguir enviar energia elèctrica.

#### **1.4.2.3. Projecte inacabat**

- El 1903 la torre ja estava pràcticament acabada (només faltava enllestir la cúpula), però aquell any va haver-hi un gran augment dels preus dels materials necessaris per acabar la construcció de la central. Tesla, llavors, va demanar ajuda econòmica a J.P. Morgan, que es va negar a invertir de nou en el projecte. En un intent desesperat d'aconseguir més capital per acabar el projecte, Tesla li va explicar la seva idea sobre la transmissió d'electricitat gratuïta sense cables. Sembla ser que, veient que no en podia treure cap benefici material, finalment l'any 1904, J.P. Morgan va abandonar el projecte. La mala propaganda que va fer de Tesla i del seu projecte, va provocar que l'inventor es quedés sense inversors.
- L'any 1905, encara es van poder realitzar alguns intents de posar la torre en funcionament. Tot i que van aconseguir generar espectaculars descàrregues elèctriques, en cap moment es va arribar a enviar energia (que era el seu objectiu principal). Els deutes acumulats eren tan grans que la central va haver de tancar quasi per complet, i la majoria de treballadors van haver de marxar entre el 1905 i el 1906. Algunes parts de la central van seguir en funcionament fins el 1908, any en què el projecte va ser abandonat definitivament. La influència de J.P.Morgan sobre tots els homes de negocis d'aquella època va provocar que trobar inversors cada cop fos més difícil (fins i tot Westinghouse va arribar a donar-li l'esquena). A partir del 1911, la central va anar quedant progressivament abandonada. Va ser saquejada en diverses ocasions i es va deteriorar notablement. El 1915, els terrenys on es trobava la central van passar a ser propietat de George Boldt, gerent del Waldorf-Astoria Hotel (com a pagament per l'allotjament de Nikola Tesla), i finalment, l'any 1917, la torre Wardenclyffe va ser destruïda per l'exèrcit dels Estats Units per raons militars (en aquella època tenia lloc la Primera Guerra Mundial).

## 1.5. ÚLTIMS ANYS

- Des del moment de la destrucció de la Torre Wardenclyffe, la materialització del que havia estat el projecte de la seva vida, Tesla es va trobar en una situació molt compromesa. Gràcies a la invenció d'un nou tipus de turbina i a la comercialització dels drets d'alguns invents (velocímetres per a locomotores, per exemple), va aconseguir una quantitat de diners suficient per anar liquidant els diferents deutes que havia acumulat en els darrers anys (tant durant el projecte Wardenclyffe, com alguns dèbits pendents amb la ciutat de Colorado Springs).
- Tot i haver estat un fidel detractor, al llarg de tota la seva vida, dels conflictes armats, durant aquest període, Nikola Tesla va dur a terme tota una sèrie d'investigacions i invencions que podien ser aprofitades pels diferents exèrcits. Conscient que el que havia dissenyat eren instruments bèl·lics, Tesla pretenia que, al menys, servissin per acabar amb les guerres.

### 1.5.1. Principis del radar i de l'helicòpter

- A mitjans de la dècada de 1910, just abans de l'inici de la Primera Guerra Mundial, Tesla va idear un sistema per detectar vaixells i submarins de guerra a alta mar. Aquest invent basava el seu funcionament en la utilització d'ones de ràdio, partint del concepte que si es trobessin amb algun obstacle (un vaixell o un submarí, per exemple), rebotarien i seria possible detectar-los. De nou, l'invent (conegut avui en dia com radar) estava massa avançat a la seva època, i la marina dels Estats Units no va saber aprofitar-ne la idea.

- Durant la dècada de 1920, Tesla també va dissenyar una espècie de màquina

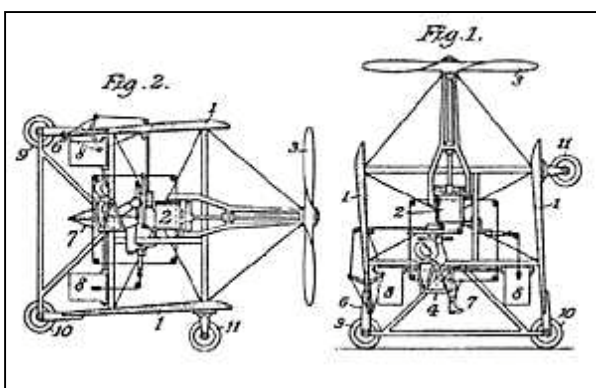


Figura 9

voladora, a mig camí entre un avió i un helicòpter, ja que s'enlairava verticalment (Figura 9). L'objectiu de Tesla era vendre aquests mitjans de transport tant a l'exèrcit com a particulars, però per falta de pressupost, no va poder arribar a construir-ne cap prototip. Aquest invent va ser l'última patent que va registrar Nikola Tesla al seu nom.

### 1.5.2. El raig de la mort

- L'any 1934, Nikola Tesla va anunciar que havia inventat una màquina que suposaria el final de totes les guerres. Aquest nou invent va rebre el nom de "Raig de la mort", i

consistia en un poderós pols electromagnètic (generat per un voltatge de l'ordre de 50 MV) que, enfocat i dirigit adequadament, seria capaç de destruir una flota sencera d'avions situada a 400 km. Segons Tesla, cada país havia de disposar d'un d'aquests sistemes de defensa a les seves fronteres, de manera que podrien repel·lir els atacs enemics. Però tan tocada estava la seva reputació com a científic, que el projecte va ser descartat.

## **1.6. MORT**

- Nikola Tesla va morir per problemes cardíacs el 7 de gener de 1943, als 86 anys, a l'habitació de l'Hotel New Yorker on feia temps que vivia. Va morir arruïnat i pràcticament oblidat. Però si en vida ja havia estat un home enigmàtic a qui sempre es relacionava amb fenòmens fora del normal (fins i tot s'havia arribat a especular que havia nascut a Venus), un cop mort, aquests misteris van seguir vigents.

### **1.6.1. Els documents desapareguts**

- Durant els seus últims anys de vida, Nikola Tesla va guardar tots els documents que anava elaborant a l'habitació de l'hotel on vivia. Un cop mort, aquests documents van ser intervinguts per agents de la FBI i van passar a estar sota la custòdia de la OAP (Office of Alien Property o Registre de Propietats d'Estrangers). La OAP va dipositar tot el material relacionat amb les investigacions de Tesla (tan documents escrits, com maquetes dels seus invents) en un magatzem de la Manhattan Storage and Warehouse Company, a Nova York. Allà van quedar precintats fins que, finalment, l'any 1952, la família de Nikola Tesla va aconseguir recuperar-los i tornar-los a Sèrbia.
- Tot i que després es pogués recuperar tota la documentació confiscada, la seva desaparició just després de la mort de l'inventor, no deixa d'estar envoltada per un gran misteri. Per una banda, el govern dels Estats Units va justificar l'acció dient que tenia un gran interès a conservar totes les investigacions realitzades per l'inventor. Per l'altra banda, i tot i que Nikola Tesla tenia la nacionalitat nord-americana des de l'any 1891, va ser la OAP la que es va encarregar de la gestió dels documents.

## **2. INVENTS I DESCOBRIMENTS MÉS IMPORTANTS**

- Al llarg de tota la seva vida, Nikola Tesla va arribar a inventar més de 700 artefactes, dels quals només en va patentar al voltant de 300. Per aquest motiu, es té molt poca informació de l'abast real de les seves investigacions. Se sap que va ser el primer a obtenir imatges de l'efecte corona que es dona en qualsevol ésser viu o objecte inert en aplicar un poderós camp elèctric sobre la superfície en la qual es troba (tècnica avui en dia coneguda com a fotografia Kirlian). També va ser el primer a dissenyar

una màquina que aprofitava la calor generada pels corrents elèctrics d'altres freqüències amb finalitats terapèutiques (màquines d'electroteràpia), tot i que en medicina es parla dels corrents d'Arsonval. Se'l considera l'inventor del radar, de l'avió VSTOL (Vertical Short Takeoff and Landing), a mig camí entre un avió i un helicòpter, molt utilitzat per l'exèrcit nord-americà a partir dels anys 80, i de l'electrolàser i els raigs de partícules (a partir del seu Raig de la mort).

- Del que no hi ha dubte és que Nikola Tesla va ser l'inventor del corrent altern i del sistema trifàsic, és a dir, del tipus d'electricitat que actualment s'utilitza a nivell comercial a tot el món. Aquesta va ser la més gran aportació que va fer Tesla a la humanitat, ja que gràcies als dispositius relacionats amb el corrent altern que ell va idear (com ara els seus motors i els seus generadors) l'ús de l'electricitat es va estendre ràpidament, fet que va donar lloc al que es coneix com la Segona Revolució Industrial.
- Tot i això, molts dels enginys realitzats per Tesla o bé van passar pràcticament desapercebuts, a causa del seu avenç respecte de l'època en què van ser inventats, o bé van ser atribuïts a altres científics o inventors del moment.

## 2.1. LA RÀDIO

- A partir de les seves investigacions en el camp de l'electricitat d'alta freqüència, Tesla va arribar a desenvolupar un sistema que li permetia enviar i rebre senyals de ràdio.
- L'any 1893, va presentar en el The Franklin Institute de Filadèlfia, Pennsylvania, i en la National Electric Light Association de Saint Louis, Arizona, els sis principis bàsics de la transmissió per ràdio, entre els quals s'especificava que era necessari tenir una antena, una connexió a terra i dos equips (emissor i receptor) en ressonància. El 1895, també a Saint Louis, va realitzar la primera transmissió per ràdio pública, durant una conferència sobre alts voltatges i radiofreqüències. Després d'aconseguir enviar un missatge mitjançant senyals de ràdio des del seu laboratori fins a una

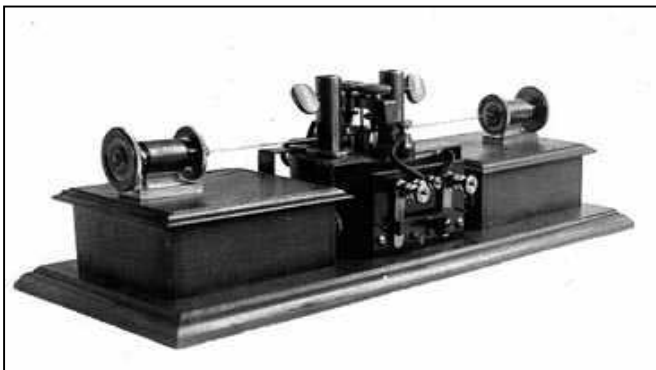


Figura 10

barcassa situada a 40 km de distància, l'any 1897, Tesla va sol·licitar les patents pel seu sistema radiofònic (Figura 10). Aquestes, amb els números de registre US Patent 645,576 i US Patent 649,621, li van ser concedides tres anys després, el 1900.

- Per la seva part, l'any 1896, Guglielmo Marconi va presentar i patentar el seu sistema de telegrafia sense cables a Anglaterra. Quatre anys més tard, també l'any 1900, Marconi va sol·licitar la patent per al seu sistema als Estats Units. En un principi, la seva sol·licitud va ser denegada per l'anterioritat de les patents de Tesla, que li donaven prioritats. Aquell mateix any, Marconi va fundar l'empresa Marconi Wireless Telegraph Company, Ltd. Entre els inversors i assessors de l'empresa es trobava Edison, gràcies a l'ajuda del qual, l'any 1901, Marconi va aconseguir transmetre senyals de ràdio d'una banda a l'altra de l'Oceà Atlàntic. Després d'això, l'oficina de patents dels Estats Units va canviar de parer i li va concedir la patent per la invenció de la ràdio a Marconi.
- Marconi va rebre el Premi Nobel de Física l'any 1909 pel seu sistema de telegrafia mitjançant senyals de ràdio, que utilitzava disset patents registrades a nom de Nikola Tesla. Aquest, aleshores, va intentar demandar a l'inventor italià per apropiació i ús indeguts dels seus invents (registrats en l'oficina de patents). El cas es va allargar durant anys, fins que l'any 1943 (uns mesos després de la mort de Nikola Tesla), la Cort Suprema dels Estats Units va reconèixer la prioritat de les patents de Tesla sobre les de Marconi, fet que convertia a Nikola Tesla en el veritable inventor de la ràdio (tot i que actualment, la majoria de gent no ho considera així).
- No se sap del cert per què, de cop i volta, les patents de Marconi van passar per davant de les de Tesla. Sembla ser que Marconi també havia demandat al govern dels Estats Units per ús indegut dels seus invents, de manera que per evitar escàndols, el govern va concedir prioritats a les patents de Marconi.

### 2.1.1. El control remot

- Un cop va haver comprovat que era capaç d'enviar i rebre senyals de ràdio amb el sistema que havia ideat, Nikola Tesla va voler fer un pas més enllà i aplicar-ho a l'automatització.
- Amb motiu de la Fira de l'Electricitat del Madison Square Garden, l'any 1898, Tesla va construir un petit vaixell de menys d'1 m d'eslora que es podia controlar a distància mitjançant un comandament independent del vaixell. El comandament funcionava com a emissor, i enviava ones de ràdio al vaixell (que funcionava gràcies a una bateria interna), a l'interior del qual es trobava el receptor (*Figura 11*). Les investigacions de Tesla referents al control remot no es van limitar a construir i dirigir

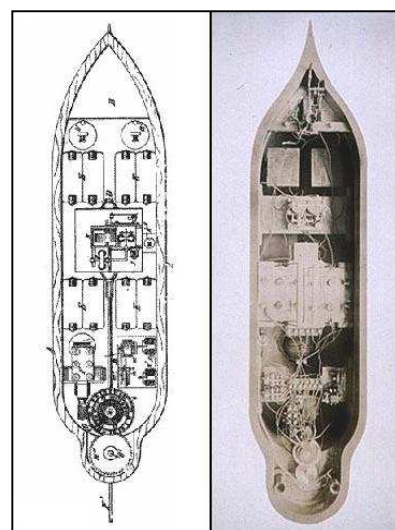


Figura 11

un sol vaixell. També va provar de construir altres tipus de vehicles que poguessin ser controlats de la mateixa manera i, fins i tot, va arribar a desenvolupar un sistema gràcies al qual, amb un sol comandament, podia controlar diferents vehicles a la vegada (cada vehicle responia a una freqüència diferent, de manera que només calia sintonitzar el comandament perquè enviés senyals d'aquella mateixa freqüència). Aquest sistema de control remot, que ell va anomenar "Teleautomàtic", va quedar patentat a nom seu el mateix any 1898, amb el número de registre US Patent 613,809.

- Aquest invent de Nikola Tesla va suposar l'inici de la robòtica (va ser el primer automatisme amb control remot de la història). Malgrat la revolució tècnica que suposava la utilització d'ones de ràdio per controlar màquines a distància, aquest mèrit pràcticament no li ha estat mai reconegut .

## **2.2. ELS RAIGS X**

- Des de l'any 1887, Nikola Tesla es va dedicar a investigar diferents fenòmens relacionats amb els tubs de buit, utilitzant els que ell mateix fabricava. El resultat va ser l'obtenció de les primeres imatges de l'interior del cos humà, gràcies al que avui coneixem com a raigs X. Al principi, les imatges obtingudes estaven formades simplement per ombres difuses, però a mesura que van avançar les seves investigacions, va aconseguir obtenir imatges del crani, en les qual es podien distingir les diferents cavitats. A partir d'aquests experiments, Tesla també va observar que una llarga exposició als raigs X podia ser perjudicial per a l'organisme, i va arribar a la conclusió que per treballar amb aquest tipus de radiacions calia utilitzar proteccions de plom. Finalment, l'any 1896, Nikola Tesla va publicar les seves fotografies realitzades amb raigs X a la revista *Electrical Review*.
- Aquell mateix any, el científic alemany Wilhelm Röntgen va anunciar que, el 1895, havia descobert la manera d'obtenir imatges de l'interior del cos humà (va ser ell qui va anomenar raigs X a aquest tipus de radiació). Tesla li va fer arribar les seves fotografies, que van resultar ser molt semblants a les que havia obtingut Röntgen, i per les quals va rebre la felicitació del científic alemany. Tot i haver patentat els tubs de buit que utilitzava (que eren de fet un tipus de làmpada incandescent sense filament), amb el número de registre US Patent 514,170, en aquest cas, va ser el propi Nikola Tesla qui no va reclamar la prioritat de les seves investigacions.

## **2.3. LA BOBINA DE TESLA**

- La bobina de Tesla és el dispositiu més important desenvolupat per Nikola Tesla, ja que va ser la base per a les seves investigacions en relació amb els corrents d'altres

freqüències. Tot i que la va construir per primera vegada l'any 1891, no va ser fins l'any 1902 que en va sol·licitar la patent. Finalment l'any 1914, la bobina de Tesla va quedar registrada amb el número de patent US Patent 1,119,732. Des del punt de vista tècnic, una bobina de Tesla (també anomenada, simplement, bobina Tesla) no és més que un tipus de transformador ressonant que, a partir de corrents de poc voltatge (120 V) i baixa freqüència (60 Hz), proporciona corrents de voltatges i freqüències molt altes (de fins a 100 MV amb freqüències de 50 KHz). Aquests corrents provoquen uns espectaculars arcs elèctrics.

- Nikola Tesla va fabricar bobines molt diverses (tant de mides, com de configuracions). A mesura que anava fent nous descobriments, les millorava, de manera que el disseny de la bobina Tesla va anar evolucionant al llarg del temps. (Figura 12) Per aquest motiu, i tenint en compte que per tal de protegir les seves invencions, en els documents de les patents que realitzava, únicament hi figurava l'imprescindible per poder registrar-les, els dissenys que s'acostumen a construir actualment tenen poc en comú amb el disseny original. De fet, a partir únicament de les seves patents, és molt difícil arribar a reproduir algun dels seus invents.

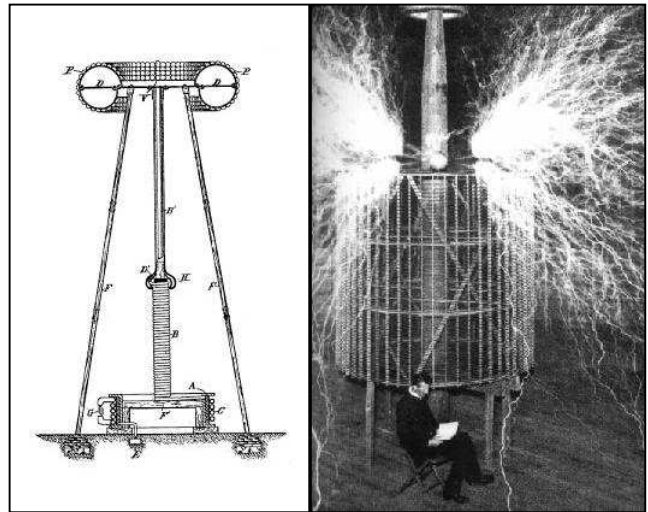


Figura 12

- El camp elèctric generat per la bobina era tan potent que podia encendre làmpades fluorescents situades a una distància de fins a 15 m respecte d'aquesta sense estar connectades a cap font d'alimentació. El fet que el camp elèctric produït per la bobina tingués la capacitat de transmetre electricitat sense necessitat de fils, va impulsar el desenvolupament de la majoria de grans projectes duts a terme per Tesla, és a dir, la seva màquina per generar llamps artificialment (en el laboratori de Colorado Springs) i la torre Wardenclyffe (a Nova York).

### 2.3.1. Transmissió d'energia elèctrica sense fils

- En el cas del projecte Wardenclyffe, sembla ser que la torre en sí havia de ser una bobina de Tesla gegant que generés un camp elèctric tan poderós que pogués arribar a enviar electricitat fins a la ionosfera. Sent que en aquesta capa de l'atmosfera l'aire és conductor (està ionitzat), Tesla defensava que l'electricitat es podria transportar a

través seu. Així, aquesta arribaria a qualsevol punt del planeta, de manera que tothom podria disposar d'energia elèctrica, il·limitada i pràcticament gratuïta.

- Aquestes investigacions converteixen a Nikola Tesla en el primer científic en proposar un sistema per transmetre electricitat sense necessitat d'utilitzar cables. Una vegada més, però, a causa de la falta de resultats evidents, la gent no va saber apreciar la importància que podia arribar a assolir aquell projecte a nivell mundial si s'hagués aconseguit finalitzar.

### **3. TECNOLOGIA TESLA EN L'ACTUALITAT**

- De la majoria d'invents esmentats fins ara en aquest treball, és fàcil reconèixer-ne algunes de les aplicacions pràctiques que tenen actualment. Per exemple, els radars s'utilitzen per controlar el trànsit aeri (tant a nivell militar com a nivell comercial), per controlar la velocitat dels cotxes en determinades vies de circulació o per localitzar bancs de peixos a alta mar; moltes malalties relacionades amb dolors musculars o dels ossos es tracten mitjançant aparells d'electroteràpia; els raigs X són una de les tècniques de diagnosi per imatge més utilitzades; i l'ús de les ones de ràdio, tant per controlar certs dispositius a distància (des de joguines, fins a aparells domèstics com poden ser les persianes, o la porta del garatge), com per enviar i rebre missatges (emissores de notícies, de música, així com sistemes de comunicació utilitzats per la policia o els taxistes). Tot plegat és tan comú en la nostra vida quotidiana, que en cap moment ens plantejem la possibilitat de què aquests invents no existissin.
- Però apart d'aquests enginys més coneguts (o en tot cas, més comuns), els estudis i les investigacions realitzades per Nikola Tesla sobre els corrents d'altres freqüències, que inclouen la invenció de la bobina de Tesla, així com el seu projecte de transmetre energia elèctrica sense necessitat de cables (ja fos per fer funcionar aparells situats a poca distància o a nivell global, a través de la ionosfera), també han servit com a base de noves investigacions i han permès el desenvolupament de nombrosos dispositius, d'ús molt estès també, tot i que més difícils de relacionar amb l'inventor.

#### **3.1. FLYBACK I BUGIA**

- Com ja he dit anteriorment, la bobina de Tesla va anar evolucionant al llarg de la història, de manera que van aparèixer diferents dispositius que provenen d'aquest mateix invent, tot i que no tenen la mateixa configuració ni desenvolupen la mateixa funció per la qual va ser dissenyada l'original. Dos exemples bastant clars d'aquest fet són els *flybacks* dels televisors de tub catòdic (també anomenats transformadors de línies) i les bugies dels motors de combustió interna.

### 3.1.1. Flyback de televisió o transformador de línies

- El transformador de línies (flyback), també conegut com a transformadors MAT (Molt Alta Tensió) és, com el seu nom indica, un tipus de transformador que proporciona corrents de voltatges i freqüències molt elevats (d'entre 18 KV i 30 KV, amb freqüències que sobrepassen els 15 KHz). Aquests transformadors s'utilitzaven en les pantalles els televisors amb l'objectiu de proporcionar el voltatge necessari per fer funcionar de tub catòdic. (Figura 13)



Figura 13

### 3.1.2. Bugia per motors de combustió interna

- Les bugies són uns enginyers que tenen la funció de produir la descàrrega elèctrica que, en l'interior d'un cilindre d'un motor de combustió interna (de gasolina), s'encarrega d'encendre el combustible per tal que el motor funcioni. Van ser inventades i patentades pel propi Tesla, l'any 1898 (US Patent 609,250), basant-se en les anomenades bobines de Tesla disruptives, en les quals, quan la diferència de potencial era prou elevada, es produïa una descàrrega elèctrica entre dos elèctrodes.

## 3.2. TELEVISORS I ALTRES ELECTRODOMÈSTICS SENSE CABLES

- A principis d'aquest mateix any 2010, l'empresa xinesa Haier va començar a comercialitzar televisors que no necessiten estar connectats a la xarxa elèctrica per funcionar, sinó que n'hi ha prou amb què es trobin a prop d'un emissor que s'encarrega de transmetre-li energia elèctrica sense fils. Recentment, altres marques d'electrodomèstics com poden ser Sony o LG, també han desenvolupat la seva pròpia línia de televisors sense cables.
- L'aparició d'aquest tipus d'aparells ha estat possible gràcies a l'empresa WiTricity Corp., integrada per diferents professors del MIT (Massachusetts Institute of Technology), que entre els anys 2005 i 2007 van desenvolupar un sistema de transmissió d'energia elèctrica sense fils, basant-se en el fenomen de la inducció electromagnètica i en la utilització de les altes freqüències (cal elevar la freqüència del corrent per garantir la màxima eficiència del sistema). El 2007 es va realitzar la primera demostració pràctica de transmissió d'electricitat sense fils, tot il·luminant una làmpada incandescent que es trobava a 2 metres de distància respecte de la font d'alimentació.

- Nikola Tesla va ser el primer en experimentar amb la transmissió d'energia elèctrica d'alta freqüència sense utilitzar fils (sobretot durant la seva estada a Colorado Springs), i ja a finals del segle XIX i principis del segle XX, va aconseguir il·luminar, no només làmpades incandescentes, sinó també tubs de neó o fluorescents, sense utilitzar cables.

### 3.3. PROJECTE HAARP

- Les sigles HAARP fan referència a High-Frequency Active Auroral Research Project, i són el nom d'un projecte desenvolupat per l'exèrcit dels Estats Units des del 1993, amb l'objectiu d'estudiar diferents fenòmens que tenen lloc en les capes altes de l'atmosfera (com ara les aurores boreals).

- Les instal·lacions del projecte HAARP (que es troben prop del poble de Gakona, Alaska) consisteixen, bàsicament, en un conjunt de 180 antenes) capaces d'enviar



Figura 14

corrents d'altres freqüències i de potències de l'ordre de 3,6 MW (Figura 14) fins a altures, respecte de la superfície terrestre, superiors als 80 km (capa de l'atmosfera que rep el nom de ionosfera). El principal objectiu d'aquest projecte és estudiar el comportament d'aquesta capa (totalment ionitzada a causa de la radiació solar), per tal de valorar les possibilitats que ofereix de millorar els actuals sistemes de

telecomunicacions o de navegació (tipus GPS), que funcionen mitjançant altes freqüències.

- El projecte HAARP és un bon exemple de l'aplicació pràctica i en l'actualitat dels estudis de Nikola Tesla referents a l'enviament d'energia a la ionosfera, tot i que els propòsits no són exactament els mateixos que els de l'inventor (aquest projecte no contempla la possibilitat de transmetre energia a distància, sinó que es dedica només a la investigació). És possible que aquest projecte, realment, estigui basat en les investigacions realitzades per Tesla (el govern dels Estats Units va tenir accés a tots els documents de l'inventor, entre els quals hi figuraven els seus descobriments en aquest camp). En tot cas, Tesla va observar que el fet d'enviar grans quantitats d'energia elèctrica a aquesta capa de l'atmosfera, provocava certs canvis que podien arribar a alterar el clima. És possible que alguns canvis sobtats en la meteorologia del planeta hagin estat causats per experiments d'aquest tipus.

**PART PRÀCTICA:**  
**CONSTRUCCIÓ D'UNA "BOBINA DE**  
***TESLA*"**

## 1. INTRODUCCIÓ

- Després d'haver investigat sobre alguns dels invents més importants realitzats per Nikola Tesla, vaig decidir construir una bobina de Tesla. Com ja he dit anteriorment, la bobina de Tesla és un transformador ressonant, és a dir, un tipus de transformador, els dos circuits (primari i secundari) del qual, oscil·len electromagnèticament a la mateixa *freqüència natural*<sup>[1]</sup>. De manera que, en oscil·lar el circuit primari, per *inducció electromagnètica*<sup>[2]</sup>, el secundari comença a oscil·lar a la mateixa freqüència.
- La bobina de Tesla va ser inventada amb la finalitat de generar corrents de molta tensió i *radiofreqüències*<sup>[3]</sup>, per tal de poder transmetre energia elèctrica sense necessitat de cables. Per aquest motiu, quan vaig decidir muntar la meua pròpia bobina Tesla, em vaig marcar dos objectius, a assolir un cop hagués acabat de muntar el dispositiu. Aquests eren:
  - Comprovar que els *arcs voltaics*<sup>[4]</sup> que genera la *bobina Tesla* transporten energia elèctrica, de manera que aquesta pot ser enviada a través de l'aire, i aprofitada.
  - Comprovar, de manera pràctica, que la funció principal d'una *bobina Tesla* és generar altes tensions (en el nostre cas, de l'ordre de KV). És a dir, que realment és un transformador.

## 2. CARACTERÍSTIQUES TÈCNIQUES DE LA *BOBINA TESLA*

- Actualment hi ha molta gent aficionada a l'electrònica que ha intentat construir una *Bobina Tesla*. És per això que n'existeixen molts dissenys diferents, tot i que l'esquema elèctric és pràcticament el mateix per a totes.
- Per construir la meua *bobina*, vaig decidir basar-me en un disseny ja existent. D'aquesta manera m'assegurava que algú ja l'havia construïda abans i funcionava, i, per tant, que els materials utilitzats i la configuració de la *bobina* eren els correctes. Finalment, el disseny escollit va ser el que apareix en la pàgina web <[http://www.dgdc.unam.mx/fisilab1\\_b.html](http://www.dgdc.unam.mx/fisilab1_b.html)>, que forma part del projecte Fisilab, desenvolupat per la Universidad Nacional Autónoma de México amb l'objectiu de mostrar al públic alguns exemples de física experimental.
- Aquest *bobina Tesla* està formada per un transformador de 220 a 2.400V (1), que alimenta el circuit. Aquest comprèn un condensador de 51nF i 11.000V (2), una bugia feta manualment (3), una bobina primària de 6 espises i diàmetre de conductor de 3mm (4), i una bobina secundària de 250 espises i diàmetre de conductor de 0,6mm (5). (*Figura 1*)

### 3. FUNCIONAMENT DE LA *BOBINA TESLA*

- Per poder entendre més fàcilment com funciona una *bobina Tesla* cal tenir present l'esquema elèctric del circuit (*Figura 1*), en el qual podem distingir el dos circuits que la formen: el circuit primari i el circuit secundari, que són ressonants entre ells.

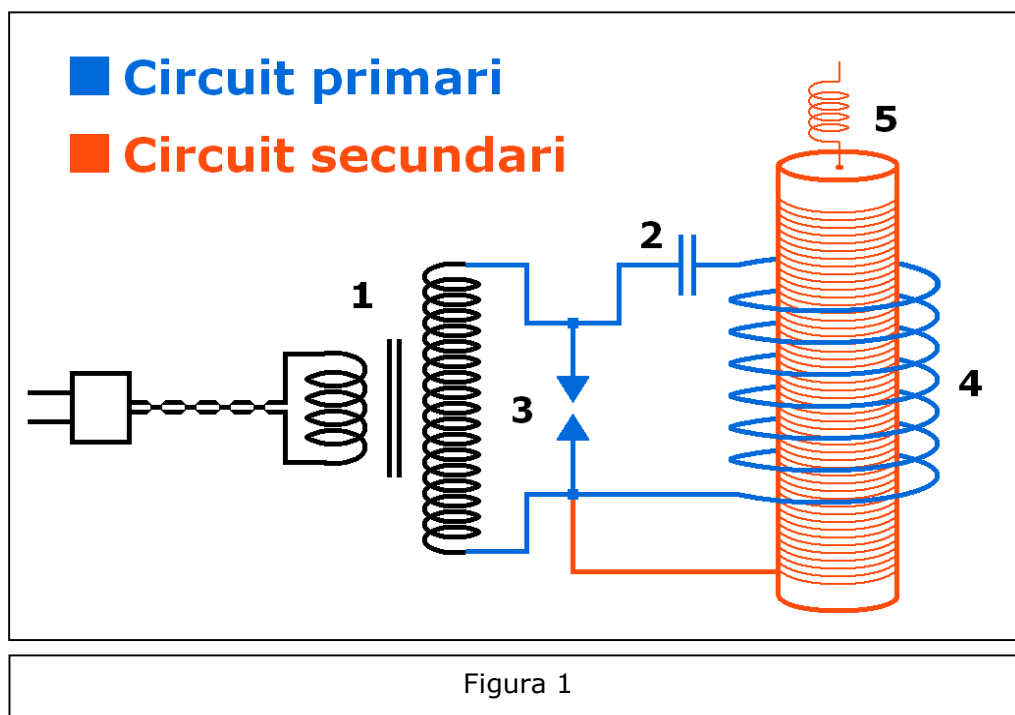


Figura 1

#### 3.1. CIRCUIT PRIMARI

- Es connecta el cable d'alimentació a la xarxa elèctrica, que s'encarrega de subministrar electricitat al transformador de microones (1). Aquest eleva la tensió d'entrada al circuit de 220V a 2.400V i carrega el condensador (2). Això provoca que hi hagi una certa diferència de potencial entre els dos caragols de la bugia (3). Quan la diferència de potencial que s'estableix entre les dues plaques de la bugia és prou gran, el voltatge aconseguix vèncer la resistència de l'aire al pas de l'electricitat i es forma així un arc voltaic entre les cabotes dels dos caragols. Aleshores, el condensador es descarrega, i l'energia que tenia acumulada, passa a través de la *bobina* primària (4) en forma de corrent altern, de manera que es genera un camp magnètic variable al voltant de la bobina. Diem que és un circuit de radiofreqüència perquè aquest procés de càrrega i descàrrega del condensador té lloc unes 50.000 vegades cada segon (50KHz).

#### 3.2. CIRCUIT SECUNDARI

- La bobina primària (4) i la bobina secundària (5) es troben molt a prop, de manera que la secundària es troba sotmesa al camp magnètic generat per la bobina primària. La freqüència natural d'oscil·lació de la bobina secundària és la mateixa que la de la bobina primària, per la qual cosa, ambdues bobines són ressonants. Això permet que

la bobina primària indueixi un corrent a la secundària. El corrent induït ja és d'alta tensió, ja que ha de ser capaç de superar la resistència de l'aire per provocar un arc elèctric entre els elèctrodes de la bugia, però la bobina secundària, en tenir més espires, s'encarrega d'eleva-ne encara més la tensió.

- El resultat final és que la bobina secundària genera un corrent elèctric de molt voltatge (alta tensió), que ve determinat per la relació entre el nombre d'espores de la bobina primària i el de la bobina secundària, i de freqüència molt elevada (radiofreqüència), de manera que és capaç de propagar-se a través de l'aire i generar petites descàrregues elèctriques. Com a conseqüència d'aquestes descàrregues, l'aire que es troba al voltant de l'elèctrode la bobina secundària queda *ionitzat*<sup>[5]</sup>.

#### 4. TREBALL PREVI A LA CONSTRUCCIÓ DE LA BOBINA

- Abans de realitzar tot el muntatge de la *bobina*, vaig intentar mesurar el voltatge final que donava el transformador de microones per comprovar que estava en bon estat (si funcionava correctament, havia de donar 2.400V). Per fer-ho, vaig col·locar 3 polímetres en sèrie (cadascun podia mesurar com a màxim 1.000V). Així vaig obtenir un "polímetre equivalent" de 3.000V. Però a l'hora de mesurar el voltatge del debanament secundari, la connexió al corrent va fer un mal contacte i, a causa de l'*autoinducció*<sup>[6]</sup>, es va generar un pic de tensió tan alt que va deixar els tres polímetres inservibles.
- Després d'això, vaig decidir mesurar el voltatge d'una manera indirecta, mesurant la intensitat que passava pel circuit i calculant el voltatge utilitzant la Llei d'Ohm.

##### 4.1. VOLTATGE DEL DEBANAMENT SECUNDARI UTILITZANT LA LLEI D'OHM

- Sabent que el voltatge final havia de ser de 2,4KV, vaig decidir connectar una resistència equivalent de  $10M\Omega$ , en sèrie, amb el debanament secundari del transformador (en un dels dos borns). A continuació vaig connectar el cable negre del polímetre amb el born del debanament que quedava lliure, i el cable vermell, amb el born de la resistència. Amb aquest muntatge (*Figura 2*), podia mesurar el corrent que passava a través de la resistència

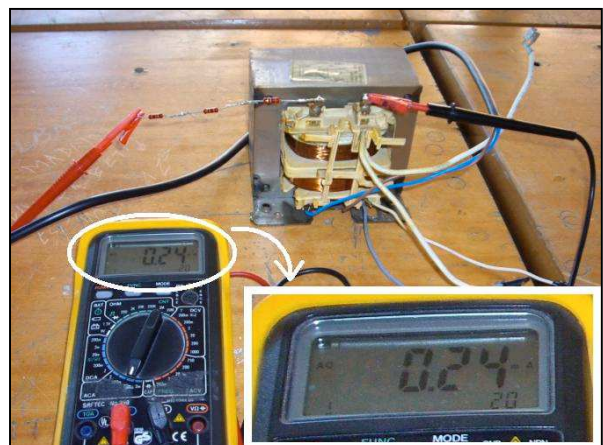


Figura 2

sense córrer el risc d'espallar un altre polímetre, ja que, tenint en compte la Llei d'ohm, aquesta intensitat havia de ser molt petita.

- Un cop vaig haver mesurat la intensitat (0,24mA), i sabent el valor de la resistència ( $R=10M\Omega$ ), mitjançant la Llei d'Ohm, vaig poder calcular el voltatge que em proporcionava el debanament secundari del transformador:

$$V = I \cdot R$$

$$V = (2,4 \cdot 10^{-4}) \cdot 10^7 \Omega \rightarrow V = 2.400V = 2,4KV$$

- Després d'haver comprovat que el transformador funcionava correctament, ja vaig poder començar a muntar la meua *bobina Tesla*.

## 5. PROCÉS DE CONSTRUCCIÓ

### 5.1. FABRICACIÓ DE LA BOBINA SECUNDÀRIA



Figura 3

- El primer pas per construir la *bobina Tesla* va ser fer la bobina secundària, de moltes espires i molt poca secció. Per fer-la, vaig utilitzar una ampolla de plàstic de 8cm de radi i 20cm d'altura i fil de coure esmaltat de 0,6mm de diàmetre.

- Per començar, vaig fer dos petits forats a 0,5cm de la base de l'ampolla i tres forats més a 0,5 cm de la part superior de

l'ampolla, separats entre ells una distància d'1cm aproximadament. Aquests forats servien per poder fixar el fil de coure.

- A continuació, vaig enrotllar el fil de coure esmaltat al voltant de l'ampolla, començant per la part inferior (*Figura 3*), deixant al principi uns 10 centímetres de coure per després poder connectar la bobina a la resta del circuit. Un cop va estar tota l'ampolla coberta, vaig fer passar el fil de coure per l'interior de l'ampolla fins a fer-lo sortir a través d'un petit forat, fet prèviament en el tap d'aquesta. Finalment, amb el fil de coure que sortia del tap, tot utilitzant un bolígraf de guia, vaig fer una petita bobina a mode d'elèctrode (*Figura4*).



Figura 4

## 5.2. FABRICACIÓ DE LA BUGIA

- El següent pas va ser construir la bugia, per a la qual vaig necessitar dos escaires d'alumini foradats, dos caragols passants M4x40, dues volanderes i quatre femelles (de mètric 4).
- Primer de tot, amb una llima per a metall, vaig llimar els cantells dels escaires per evitar que em pogués fer mal.
- A continuació, vaig col·locar els dos caragols, cadascun amb una femella, en un forat de cada escaire, i els vaig fixar mitjançant una volandera i una femella.
- Per tal que la bugia funcioni correctament, els dos caragols han d'estar molt junts (aquesta distància es regula mitjançant les femelles) i perfectament alineats. El primer problema que se'm va presentar va ser que



Figura 5

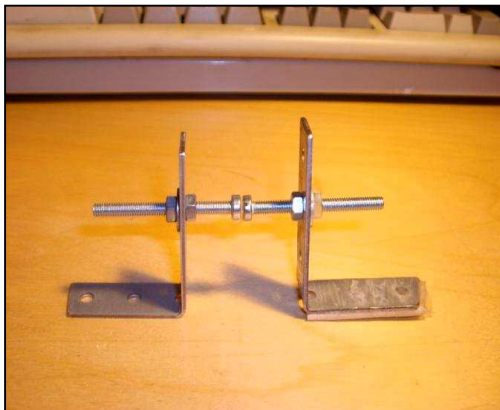


Figura 6

un dels escaires era més alt que l'altre. Per solucionar-ho, vaig tallar un tros de depressor de fusta (dels que utilitzen els metges) de la mida de la base de l'escaire més baix i el vaig enganxar amb cola blanca (*Figura 5*). Quan la cola es va haver assecat, vaig llimar la nova base de l'escaire més baix fins a obtenir una altura igual a la de l'altre escaire (*Figura 6*) i, mitjançant un trepant manual amb una broca de 4mm de diàmetre, vaig fer els forats necessaris per poder fixar la bugia a la base.

## 5.3. FABRICACIÓ DE LA BOBINA PRIMÀRIA

- A continuació, vaig construir la bobina primària del circuit, de menys espines i major secció de conductor. Per fer-la vaig necessitar cable de coure de 3mm de diàmetre recobert amb plàstic, una làmina de cartró d'1,5mm de gruix aproximadament i una cartolina bastant gruixuda, cinta aïllant i dues brides de plàstic.
- El primer problema que se'm va presentar a l'hora de construir aquesta bobina, va ser que no hi havia manera de trobar cable de 3mm de diàmetre (passava directament

dels 2,5mm als 4mm de diàmetre). La solució va ser fabricar-lo jo mateixa a partir de dos cables de menys diàmetre.



Figura 7

- Per començar, mitjançant un cúter, vaig retirar el recobriments de dos cables de 3m de longitud i 2,5mm de diàmetre, i a continuació, els vaig enrotllar tots dos entre ells. El resultat final va ser un cable de 3m de longitud i 3mm de diàmetre. Finalment, per recobrir-lo, vaig utilitzar una funda termoretràctil de 4mm de diàmetre interior (Figura 7).

- El següent problema que s'em va presentar va ser que el cable no tenia prou consistència, de manera que no conservava la forma que li donés. Així que no podia fer la bobina només amb el cable. Per aconseguir que aquest s'aguantés, vaig decidir fer una estructura cilíndrica amb cartolina, com si fos un carret, que aguantés el cable.

- En primer lloc, sobre la làmina de cartró, vaig dibuixar amb un compàs les dues bases circulars del carret, formades per dues circumferències concèntriques: la interior de 9cm de diàmetre i l'exterior de 12 cm. A continuació, les vaig tallar amb l'ajuda d'unes tisores (circumferència exterior) i d'un cúter (circumferència interior). Tot seguit, sobre la cartolina, vaig dibuixar un rectangle d'una mica més d'altura que la



Figura 8

bobina secundària (uns 22cm), i de base, la longitud de la circumferència interior.



Figura 9

Vaig retallar la cartolina, la vaig enrotllar i la vaig fixar amb cel·lo. Després, vaig introduir a cada extrem del cilindre una de les bases ja retallades i les vaig enganxar amb cola blanca (Figura 8). Un cop seca la cola, amb l'ajuda d'un cúter, vaig tallar la cartolina sobrant, i vaig recobrir tot el cilindre amb cinta aïllant.

- L'últim pas va ser enrotllar el cable al voltant del cilindre. Primer de tot, el vaig fixar amb uns trossos curts de cinta adhesiva, i quan li vaig haver donat la forma desitjada, el vaig cobrir tot amb cinta aïllant (Figura 9). Després, per evitar que es desenganxés, vaig fixar-lo pels extrems amb dues brides. I finalment, per assegurar-me que el cilindre de cartolina resistiria la força de les brides, vaig reforçar els punts on aquestes estaven fixades amb una mica de cola de contacte.

#### 5.4. MUNTATGE DEL CONDENSADOR

- Per a aquesta bobina necessitava un condensador de 5,1nF i 11.000V. Per tal d'obtenir-ne un d'aquestes característiques vaig utilitzar 11 condensadors de 56nF i 1.000V cadascun, que vaig connectar en sèrie, ja que:

$$\frac{1}{C_{total}} = \frac{1}{C1} + \frac{1}{C2}$$

$$\text{Si } C1 = C2 \rightarrow \frac{1}{C_{total}} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C} \rightarrow C_{total} = \frac{C}{2} \Rightarrow C_{total} = \frac{C}{n}$$

$$\Delta V_{total} = \Delta V1 + \Delta V2$$

$$\text{Si } \Delta V1 = \Delta V2 \rightarrow \Delta V_{total} = \Delta V + \Delta V \rightarrow \Delta V_{total} = 2 \cdot \Delta V \Rightarrow \Delta V_{total} = n \cdot \Delta V$$

A partir d'això:

$$C_{total} = \frac{C}{n} \Rightarrow \frac{0,056}{11} = 0,0051\mu\text{F}$$

$$\Delta V_{total} = n \cdot \Delta V \Rightarrow 11 \cdot 1.000 = 11.000\text{V}$$

- En primer lloc, vaig agafar una placa de fibra de vidre per muntar components electrònics i vaig distribuir-hi tots els condensadors, separats una certa distància (Figura 10). Un cop vaig haver

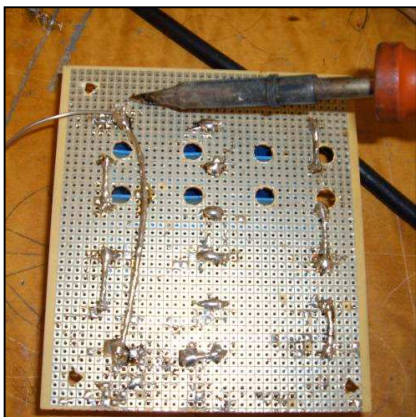


Figura 11

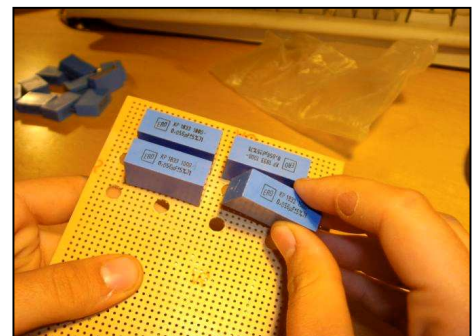


Figura 10

comprovat que estaven ben col·locats i que hi cabien tots, els vaig connectar entre ells. Per fer-ho vaig utilitzar cable de connexió de 2,5mm de diàmetre, al qual li vaig treure prèviament el recobriments de plàstic i el vaig estanyar completament (Figura 11), així ens podem assegurar que no hi hauria cap problema amb les soldadures.

- Finalment, per facilitar la connexió del condensador amb la resta del circuit, vaig soldar dos terminals a la placa, cadascun soldat a un dels dos borns del condensador equivalent.

## 5.5. ENSAMBLATGE DE TOTS ELS ELEMENTS SOBRE LA BASE

- Un cop vaig tenir a punt tots els elements necessaris per muntar el circuit, el següent pas va ser unir-los a la base d'aglomerat de 60x20x1,5cm. Per fer-ho, vaig utilitzar caragols passants, volanderes i femelles de diferents diàmetres (en funció de l'element que s'hi hagués de fixar) (Figura 12), i en algun cas molt particular, caragols autoroscants.



Figura 12

- El primer pas per poder unir tots els elements, va ser decidir com anirien distribuïts sobre la base. Un cop col·locats, amb un llapis vaig marcar els punts on seria necessari foradar per tal de fer-hi passar els caragols, i mitjançant un trepant de sobretaula, vaig realitzar tots els forats (amb una broca de 5mm de diàmetre pel transformador, una de 3mm de diàmetre pel condensador i la bobina secundària, i una de 4mm de diàmetre per a la bugia). A continuació es mostra la distribució aproximada dels diferents elements sobre la base (Figura 13).

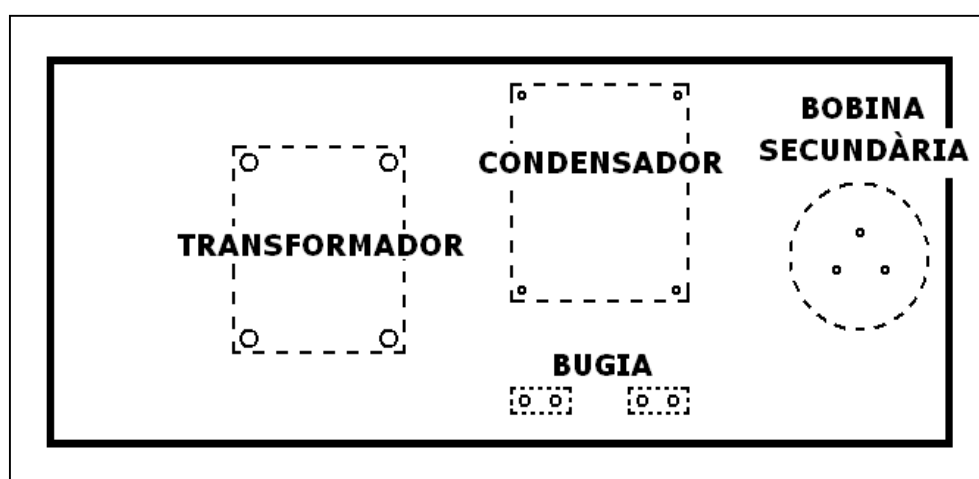


Figura 13

### 5.5.1. Ensamblatge del condensador

- Per unir el condensador a la base vaig utilitzar 4 caragols passants M3x40, 16 volanderes, 4 femelles i 4 cilindres de llautó, d'1cm de longitud, mètric 3.

- Primer de tot, per poder unir la placa en la qual havíem muntat els condensadors a la base, amb l'ajuda d'una barrina, vaig fer un forat en cadascuna de les quatre puntes d'aquesta. A continuació, vaig fer passar els quatre caragols amb una volandera cadascun, a través dels quatre forats fets en la base d'aglomerat. Tot seguit, vaig col·locar una altra volandera en cada caragol, i sobre d'aquesta volandera, un petit cilindre de llautó (*Figura 14*), per tal de mantenir el condensador una mica separat de la base, i evitar així que es poguessin malmetre les connexions.

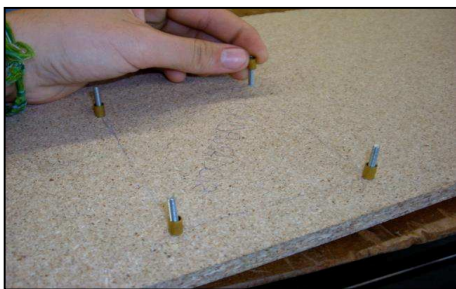


Figura 14

- Després, vaig col·locar una altra volandera sobre els cilindres de llautó, la placa amb els condensadors (*Figura 15*), i sobre la placa, una altra volandera i una femella en cadascun dels caragols. Per acabar, mitjançant una clau de tub de 3mm de diàmetre i un tornavís pla, vaig acabar d'enroscar els caragols.



Figura 15

### 5.5.2. Ensamblatge de la bobina secundària

- En aquest cas, no es podien utilitzar caragols passants, ja que no hi havia manera de poder col·locar les volanderes i les femelles. Per aquesta raó, per unir la bobina secundària a la base, vaig utilitzar tres caragols autoroscants de 3mm de diàmetre i 4cm de longitud.



Figura 16

- En primer lloc, vaig començar per reforçar la base de l'ampolla, sobre la qual i havia enrotllat el fil de coure. Per fer-ho, amb un bolígraf, vaig dibuixar la base de l'ampolla sobre una làmina de plàstic d'1mm de gruix, la vaig retallar amb unes tisores i la vaig enganxar a l'ampolla mitjançant cola de contacte (*Figura 16*). A continuació, col·locant l'ampolla sobre els forats que havia fet en la base i amb l'ajuda d'una barrina, vaig marcar en quins punts s'havia de



Figura 17

foradar l'ampolla. Tot seguit, mitjançant un trepant manual amb una broca de 3mm de diàmetre, vaig realitzar els tres forats en la base de l'ampolla. L'últim pas va ser fer passar els tres caragols autoroscants a través dels forats de la base i de l'ampolla i, amb un tornavís pla, acabar d'apretar-los per assegurar-nos que la bobina quedava ben fixada (*Figura 17*).

### 5.5.3. Ensamblatge de la bugia

- A l'hora d'unir la bugia a la base, vaig necessitar quatre caragols passants (tres M4x30 i un M4x40), 8 volanderes i 4 femelles mètric 4.
- Per començar, vaig fixar la placa de la bugia més pròxima a la bobina secundària. Per fer-ho, vaig utilitzar dos caragols diferents: un M4x30 i un M4x40, que havia d'anar col·locat en el forat més pròxim a la bobina secundària. Primer de tot, vaig fer passar els caragols (amb una volandera cadascun) a través dels forats de la base i pels forats de l'escaire. A continuació, vaig posar una altra volandera i una femella en cada caragol, i amb l'ajuda d'una clau de tub de 7mm de diàmetre i un tornavís pla, vaig acabar de fixar els caragols.
- El següent pas va ser fixar la placa més allunyada de la bobina secundària. En aquest cas, vaig utilitzar 2 caragols iguals M4x30, que vaig fixar seguint el mateix sistema utilitzat en l'altra placa de la bugia.
- Per fixar la bugia vaig utilitzar caragols passants i no caragols autoroscants perquè em garantien una bona fixació dels escaires d'alumini a la base i, a més, em facilitaven molt les connexions que havia de realitzar en les plaques de la bugia (*Figura 18*).



Figura 18

### 5.5.4. Ensamblatge del transformador

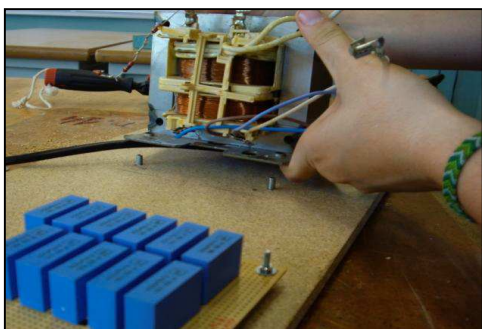


Figura 19

- Per unir el transformador a la base, vaig utilitzar 4 caragols passants M5x30, 8 volanderes i 4 femelles mètric 5.
- Per començar, vaig fer passar els quatre caragols, amb una volandera cadascun, a través dels quatre forats de la base, i vaig col·locar-hi el transformador a sobre, de manera que els

caragols passessin a través dels forats de la base del transformador (*Figura 19*). A continuació, vaig posar una altra volandera i una femella en cada caragol, i per últim, amb l'ajuda d'una clau de tub de 9mm de diàmetre i un tornavís pla, vaig acabar de fixar-los bé.

## 5.6. CONNEXIONS

- L'últim pas per acabar de muntar la meua *bobina Tesla* va ser fer les connexions dels diferents elements. Aquestes connexions es poden classificar en dos grups: connexions directament soldades i connexions mitjançant terminals.

### 5.6.1. Connexions directament soldades

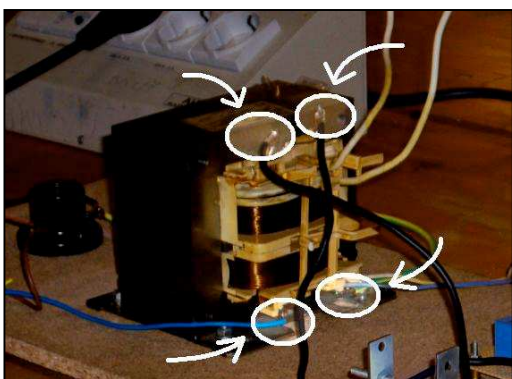


Figura 20

- Aquestes connexions són les que vaig realitzar soldant el cable, directament, sobre la peces a connectar. Es troben, sobretot, en els cables que surten del transformador, tant el d'alimentació com els que el connecten a la resta d'elements del circuit (*Figura 20*).

- Del cable d'alimentació que s'utilitza per connectar el transformador a la xarxa elèctrica, només en vaig aprofitar les dues fases, que vaig soldar directament en els dos borns del debanament primari del transformador. Després, per evitar que el cable es mogués i es pogués trencar o es poguessin malmetre les connexions amb el transformador, el vaig fixar a la base d'aglomerat mitjançant dues grapes per fixar cable.

### 5.6.2. Connexions mitjançant terminals

- Aquestes connexions es troben en les parts del circuit on, soldar directament els diferents elements, no era del tot segur, ja que no em garantia un bon contacte entre els diferents elements.
- Els exemples més clars d'aquest tipus de connexions són els cables que van connectats a les dues plaques de la bugia. El terminals utilitzats en aquests casos tenen forma de volandera, de manera que podem fer passar el caragol a través seu i fixar bé el terminal mitjançant una femella (*Figura 21*).

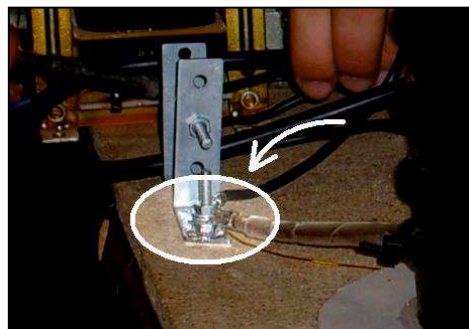


Figura 21

- En el cas de la bobina secundària, el fil de coure era massa prim com per posar-li un terminal, per la qual cosa la solució va ser fer el terminal amb el mateix fil, donant-li forma de volandera. El sistema per fixar-lo al caragol de la bugia va ser el mateix que amb el terminal (*Figura 21*).
- Per últim, en les connexions del condensador, també vaig utilitzar terminals. En aquest cas, però, eren simplement unes petites peces metàl·liques, de forma cilíndrica, connectades als borns del condensador equivalent, que permetien que el cable es pogués enrotllar al seu voltant (*Figura 22*).

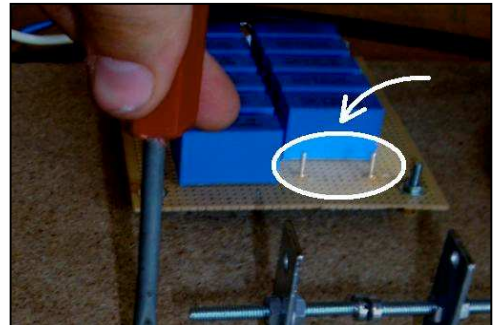


Figura 22

## 6. AVALUACIÓ DEL MUNTATGE

### 6.1. TRANSFORMADOR DE 220V A 24V

- Un cop acabada la *bobina de Tesla*, l'únic que em faltava fer era comprovar que funcionava correctament. Tenint en compte que el voltatge final que ens havia de donar, utilitzant el transformador de microones (primari de 220 V i secundari de 2.400 V), havia de ser de l'ordre de 30KV, vaig decidir fer una primera prova amb un transformador de menys voltatge (primari de 24V i secundari de 220V).

- Un transformador, de fet, és reversible, ja que està format per dos debanaments que, en funció la font d'alimentació o del voltatge de sortida desitjat, tant poden actuar com a primari o com a secundari (tots dos). En aquest cas, i aprofitant aquesta característica dels transformadors, vaig connectar el debanament de 220 V a la xarxa elèctrica, i el de 24 V al circuit (*Figura 23*). Aquest voltatge, però, era

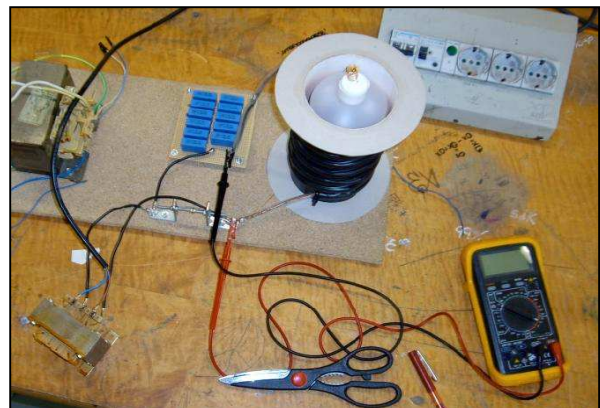


Figura 23

massa petit per provocar una descàrrega en la bugia (el transformador de microones ens donava un voltatge 100 vegades més gran), de manera que no vaig aconseguir fer funcionar la *bobina*.

### 6.2. TRANSFORMADOR DE MICROONES (DE 220V A 2.400V)

- Després de comprovar que, amb un voltatge tan baix, no es podia fer funcionar la *bobina*, vaig passar a fer les proves directament amb el transformador de microones.

- Un cop vaig haver observat que entre les dues plaques de la bugia i des de l'elèctrode de la *bobina* secundària (si s'hi acostava algun element metàl·lic), aquest cop, sí que hi passava electricitat (*Figura 24*), vaig decidir realitzar diferents tipus de proves per assegurar-me que la *bobina* funcionava correctament.

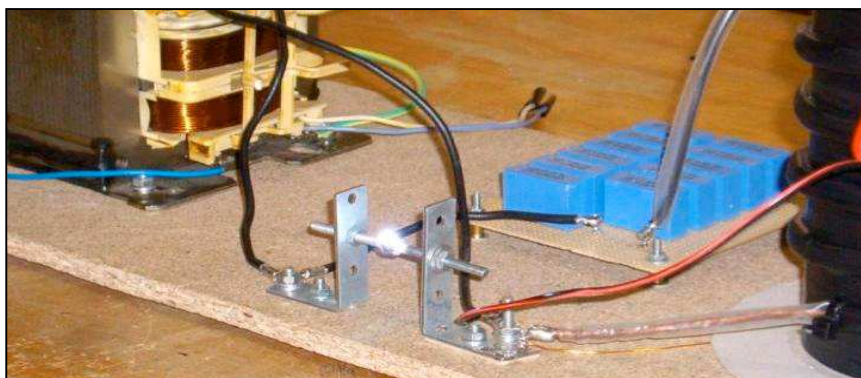


Figura 24

### 6.2.1. Proves qualitatives

- Com a proves qualitatives em refereixo a diferents experiments que vaig realitzar per tal de demostrar que la descàrrega que té lloc en l'elèctrode realment transporta energia a través de l'aire. És a dir, que amb la *bobina de Tesla* es pot enviar energia sense fils.

#### 6.2.1.1. Crear una làmpada de plasma

- El primer d'aquests experiments consistia a acostar una làmpada incandescent a la part superior de la bobina secundària.
- Si el casquet de la bombeta es troba prou a prop de l'elèctrode, es forma un arc voltaic entre tots dos. Com a resultat, en l'interior de la làmpada (on hi ha el buit), es poden observar diferents arcs que van des del filament de tungstè fins al vidre (*Figura 25*). Així obtenim una làmpada de plasma. Que hi hagi més o menys arcs voltaics dins la bombeta -i que aquests siguin més o menys visibles- depèn únicament del voltatge que proporioni la bobina secundària.

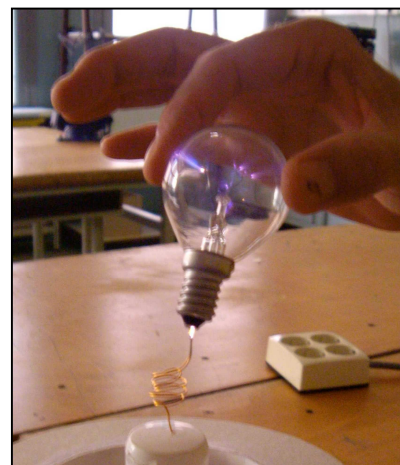


Figura 25

- Enlloc d'una làmpada incandescent, també es pot utilitzar un LED. En aquest cas, tot i que el resultat és el mateix (es generen diferents arcs voltaics en el seu interior), és més difícil de veure-ho, ja que és considerablement més petit.

### 6.2.1.2. Encendre un tub fluorescent

- Aquest segon experiment consistia a encendre un tub fluorescent, senzillament, acostant-lo a la bobina Tesla.
- La descàrrega que té lloc en l'elèctrode de la *bobina* secundària, fa que s'ionitzi l'aire del seu voltant, de manera que aquest és capaç de conduir l'electricitat. A grans

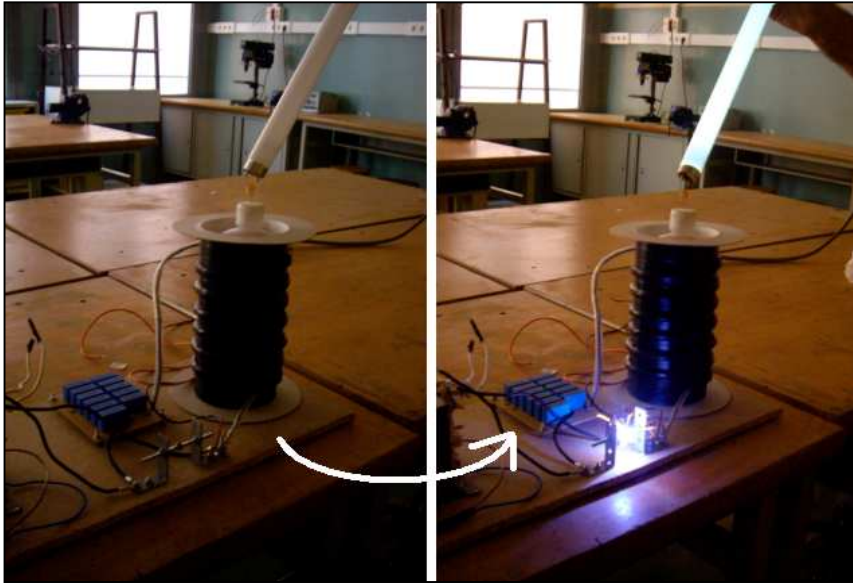


Figura 26

trets, aquest és el procés que té lloc dins del fluorescent quan està connectat a la xarxa elèctrica: els gasos que es troben dins del tub s'ionitzen i generen plasma, que és capaç de conduir el corrent elèctric i, com a resultat final, permet que es generi llum visible.

- Si acostem el tub a l'elèctrode mentre la *bobina* està en funcionament (sense que arribi a produir-se un arc voltaic entre tots dos), aconseguim que l'aire del seu interior s'ionitzi. D'aquesta manera, el procés ja explicat té lloc igualment i el fluorescent s'il·lumina sense necessitat de connectar-lo a cap font d'alimentació. (Figura 26)

### 6.2.2. Proves quantitatives

- Com a proves quantitatives em refereixo a proves per mesurar, d'una manera bastant exacta, el voltatge final que proporcionava la *bobina*. D'aquesta manera, podíem demostrar que la *bobina Tesla* és un tipus de transformador que s'encarrega d'augmentar el voltatge en un circuit alimentat per corrent altern.
- Donat que el voltatge final d'aquesta *bobina Tesla* podia arribar fins a 30KV (30.000V), era molt arriscat mesurar-lo directament utilitzant molts polímetres en sèrie (com vaig fer per comprovar que el transformador de microones funcionava correctament). Per això em vaig decantar per mesurar el voltatge basant-me de nou en la Llei d'Ohm.

### 6.2.2.1. Voltatge de la bobina secundària utilitzant de la Llei d'Ohm

- Pel disseny que havia seguit, sabia que el voltatge final que donava la *bobina Tesla*, és a dir, la diferència de potencial en la bobina secundària, havia de ser d'uns 30KV. Per aquest motiu vaig posar en sèrie, amb la bobina secundària, una resistència equivalent de  $30M\Omega$ :

$$V = I \cdot R$$

$$3 \cdot 10^4 V = I \cdot 3 \cdot 10^7 \Omega \rightarrow I = \frac{3 \cdot 10^4 V}{3 \cdot 10^7 \Omega} \rightarrow I = 1 \cdot 10^{-3} = 1mA$$

- Un cop vaig haver calculat la intensitat que passaria a través de la resistència, també vaig calcular la potència que aquesta havia de suportar, tenint en compte que:

$$P = V \cdot I$$

$$\text{Si } V = 30KV \text{ i } I = 1mA \rightarrow P = (3 \cdot 10^4 V) \cdot (1 \cdot 10^{-3} A) \rightarrow P = 30W$$



Figura 27

- Per obtenir una resistència equivalent d'aquestes característiques, vaig pensar que la millor solució seria soldar 30 resistències en sèrie d' $1M\Omega$  i 1W de potència cadascuna (Figura 27), ja que:

$$R_{total} = R1 + R2$$

$$\text{Si } R1 = R2 \rightarrow R_{total} = R + R \rightarrow R_{total} = 2 \cdot R \Rightarrow R_{total} = n \cdot R$$

$$P_{total} = P1 + P2$$

$$\text{Si } P1 = P2 \rightarrow P_{total} = P + P \rightarrow P_{total} = 2 \cdot P \Rightarrow P_{total} = n \cdot P$$

A partir d'això:

$$R_{total} = n \cdot R \Rightarrow 30 \cdot 1M\Omega = 30M\Omega$$

$$P_{total} = n \cdot P \Rightarrow 30 \cdot 1W = 30W$$

- Un cop vaig haver soldat totes les resistències sobre una placa per muntar circuits, mitjançant un dels dos cables del cable paral·lel, vaig connectar la placa de la bugia

més pròxima a la bobina secundària amb el cable negre del polímetre. Amb l'altre cable del cable paral·lel, vaig connectar l'elèctrode de la bobina secundària amb un dels borns de la resistència equivalent. L'altre born de la resistència el vaig connectar al polímetre mitjançant el cable vermell, de manera que vaig connectar el polímetre en sèrie amb la bobina secundària (*Figura 28*). Després de fer tot aquest muntatge, vaig connectar el cable d'alimentació a la xarxa elèctrica.

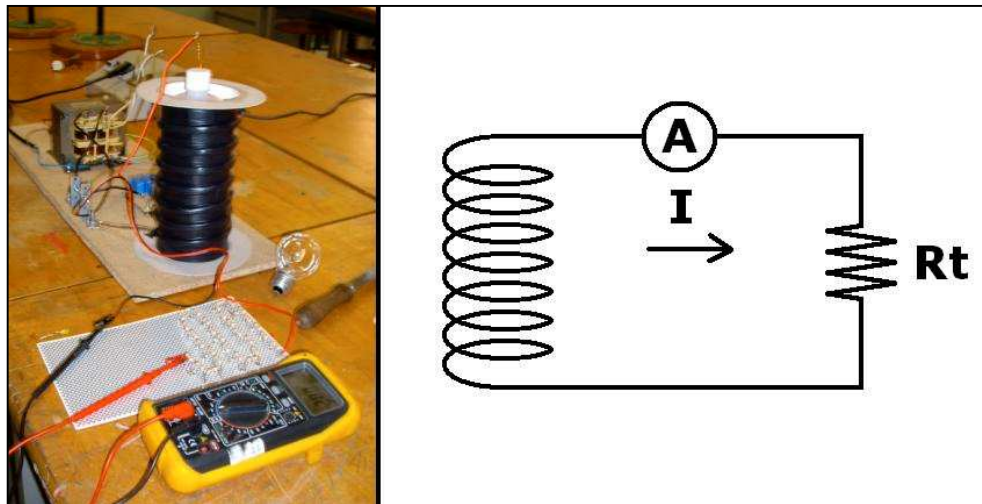


Figura 28

- Durant el temps que la Bobina està funcionant, la intensitat que passa a través seu va disminuint progressivament, fins que arriba un moment en què, a causa dels alts voltatges que genera el circuit, el magnetotèrmic s'escalfa molt i es desconnecta. La intensitat màxima es dona just en connectar el circuit al corrent, de manera que, tenint en compte la Llei d'Ohm, el voltatge que genera la *bobina* en aquest moment també és el màxim. Per aquest motiu, per calcular el voltatge final de la *bobina*, vaig decidir utilitzar el valor màxim de la intensitat, per així trobar quina era la tensió màxima que podia arribar a generar la *bobina*.
- La intensitat màxima que vaig obtenir va ser d'1,57mA (*Figura 29*). A partir d'aquesta intensitat i coneixent el valor exacte de la resistència ( $R=30M\Omega$ ), podia calcular el voltatge màxim que em proporcionaria el circuit. De nou mitjançant la Llei d'Ohm, vaig obtenir que:

$$V = I \cdot R$$

$$V_{\text{màxim}} = (1,57 \cdot 10^{-3} \text{ A}) \cdot (30 \cdot 10^6 \Omega) \rightarrow V = 47.100V \rightarrow V = 47,1KV$$

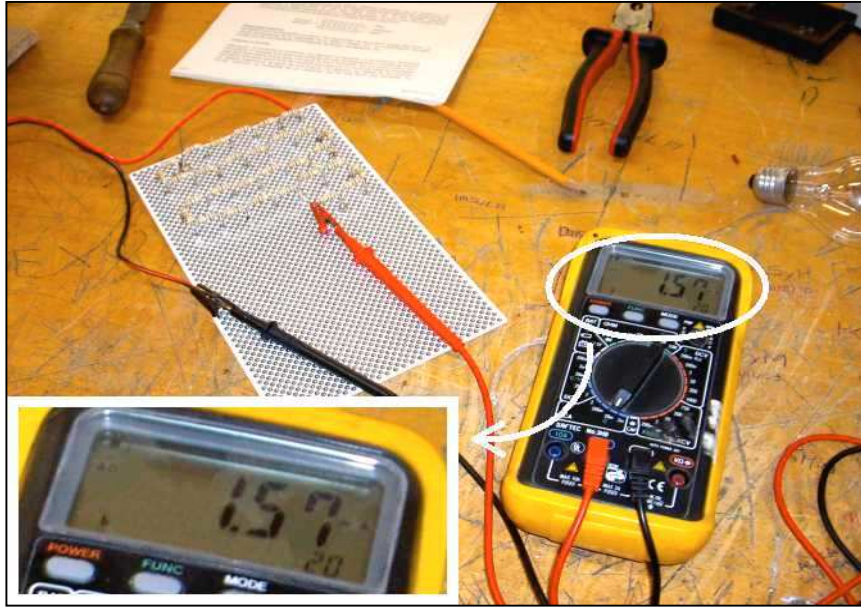


Figura 29

## 7. POSSIBLES MILLORES

- Un cop acabada la *bobina*, i havent comprovat que funcionava correctament, vaig arribar a la conclusió que hi havia certs aspectes del muntatge que es podrien millorar.

### 7.1. SEPARACIÓ ENTRE LES DUES BOBINES

- La *bobina* primària indueix electromagnèticament corrent a la secundària, de manera que com més separació hi hagi entre elles, menys corrent li induirà, a causa de la poca *permeabilitat magnètica*<sup>[7]</sup> de l'aire que es troba entre totes dues bobines (és un medi físic paramagnètic).

- A partir d'aquí, vaig arribar a la conclusió que, si les dues bobines estiguessin directament en contacte (*Figura 30*), la primària seria capaç d'induir més corrent a la secundària, ja que l'aire que hi hauria entre elles seria el mínim i, per tant, les pèrdues per falta de permeabilitat magnètica serien menors.

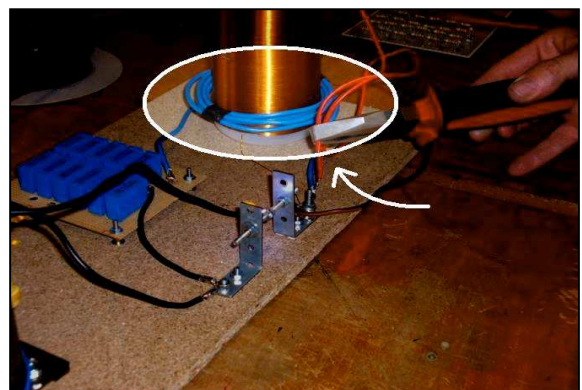


Figura 30

- Després de refer el muntatge modificant aquesta part del circuit, vaig comprovar que el voltatge final que em donava en tots dos casos era el mateix, de manera que vaig

deixar el circuit tal com estava al principi (amb la bobina primària muntada sobre el cilindre de cartolina).

## 7.2. CARAGOLS DE LA BUGIA

- La descàrrega elèctrica que té lloc entre les dues plaques de la bugia té molta intensitat. Aquest pas continu d'electrons a través dels caragols fa que s'escalfin molt. S'escalfen tant que en la part superficial de la cabota del caragol s'hi va formant una

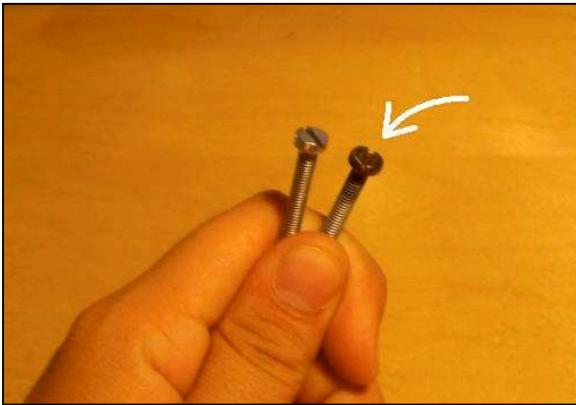


Figura 31

capa d'òxid (*Figura 31*) fins que arriba a un punt en què, la capa és tan gruixuda, que no deixa passar el corrent. En aquestes circumstàncies, la *bobina* no pot funcionar. Aleshores cal llimar les cabotes dels dos caragols per tal que la capa d'òxid sigui més prima i torni a deixar passar el corrent.

- La majoria de caragols estan fets d'algun aliatge d'acer, material que es caracteritza per ser poc resistent a la corrosió. Per aquest motiu, els caragols de la bugia, en estar exposats a temperatures tan altes, s'oxiden més fàcilment.
- La solució seria substituir els dos caragols de la bugia per dos caragols que tinguessin algun tractament contra la corrosió, com és el galvanitzat (recobrint del caragol amb una fina capa de zinc), o que fossin d'acer inoxidable.

## CONCLUSIONS

- En començar l'elaboració d'aquest treball, jo em vaig plantejar si realment sense Nikola Tesla, i en conseqüència, sense els seus invents i les seves investigacions, hauríem pogut arribar al nivell de desenvolupament tecnològic que tenim avui en dia. Un cop finalitzat el meu Treball de Recerca, i a partir de l'estudi, tant de la vida de Nikola Tesla com de la importància del seus invents al llarg de la història, he arribat a la conclusió que la meva hipòtesi es confirma, tot i que amb alguns matisos.
- Molts dels enginys ideats per Nikola Tesla van ser atribuïts a altres científics. Això pot estar causat per motius molt diferents: que es consideri l'inventor d'un dispositiu al primer en donar-li una utilitat (els invents de Tesla eren una veritable revolució tecnològica, però en aquella època no els van saber trobar aplicacions pràctiques), o que gràcies a alguna influència es considerin prioritaris els invents d'un científic (com en el cas de Marconi i la ràdio), per exemple. De tota manera, si són atribuïts a algú altre, és perquè aquest altre científic també havia desenvolupat el seu propi sistema en aquesta línia d'investigació. A partir d'això, es podria considerar que la figura de Nikola Tesla no va ser tan transcendental com sembla. Cal tenir en compte, però, que molts dels invents realitzats per científics coetanis a Tesla es basaven en enginys o en principis seus (sense anar més lluny, el sistema de ràdio de Marconi utilitzava 17 patents registrades a nom de l'inventor que ens ocupa).
- Un fenomen del qual n'és l'inventor indiscutible és del corrent altern, a més de ser l'inventor dels sistemes de transport d'electricitat polifàsics (la xarxa de distribució actual fa servir un sistema trifàsic). Edison tenia el monopoli de l'electricitat en aquella època, ja que era ell qui havia desenvolupat els sistemes de producció i transport de corrent continu, i estava totalment en contra del corrent altern. Més tard, però, es va demostrar que el transport de corrent altern era molt més eficaç que el transport de corrent continu (es produïen unes pèrdues molt menors). Per tant, la millora i la popularització de l'energia elèctrica es va produir gràcies als invents de Nikola Tesla i, en aquest sentit, podem dir que va ser ell qui va afavorir l'aparició de la Segona Revolució Industrial.
- Finalment he arribat a la conclusió que Nikola Tesla no va ser l'únic científic d'aquella època que va inventar dispositius de gran importància per a la humanitat, però sí que va fer possible la invenció de molts d'ells, ja que les seves patents serviren de base per a nous enginys d'altres científics. És a dir que, efectivament, sense les investigacions i els invents de Nikola Tesla, no tindríem el nivell de desenvolupament tecnològic que tenim avui en dia. I aquest fet encara és vigent en l'actualitat, ja que,

encara ara, s'estan desenvolupant sistemes i dispositius basats en les seves aportacions.

- Pel què fa a la construcció d'una bobina de Tesla, en primer lloc, he aconseguit construir-ne una i fer-la funcionar. Gràcies a això, he pogut realitzar diferents proves i experiments amb el muntatge que m'han permès comprovar que aquest invent du a terme la mateixa funció que un transformador, és a dir, que en rebre un determinat voltatge s'encarrega d'augmentar-lo. En el cas de la meva bobina Tesla, aquesta és capaç d'eleva la tensió unes 20 vegades, de manera que la diferència de potencial en la bobina secundària del muntatge és aproximadament 20 vegades més gran que el voltatge que alimenta el circuit.
- També he pogut comprovar que, un dels efectes d'aquests voltatges tan alts (de l'ordre dels 47 KV, en el moment en què circula la intensitat màxima a través del circuit), és la ionització de l'aire que es troba al voltant de l'elèctrode de la bobina secundària, de manera que és capaç de conduir el corrent elèctric. Aquest fenomen m'ha permès realitzar alguns experiments relacionats amb el transport d'energia elèctrica sense fils a petita escala (a una distància màxima d'uns pocs centímetres), gràcies als quals he aconseguit crear una làmpada de plasma (mitjançant una làmpada incandescent) i encendre un fluorescent.
- A partir d'aquests experiments, he pogut comprovar de manera pràctica que la bobina de Tesla acomplia la funció de generar poderosos camps elèctrics amb l'objectiu d'enviar energia elèctrica sense necessitat de fils. De manera que Nikola Tesla va ser el primer en proposar un sistema de transport d'energia d'aquest tipus.

## BIBLIOGRAFIA

ANFRIX. (2007) *El rayo de la muerte de Tesla.*

<<http://www.anfrix.com/2007/08/el-rayo-de-la-muerte-de-tesla/>>

¡ASÍ FUNCIONA! (2007) *Así funcionan las lámparas fluorescentes: Funcionamiento de las lámparas fluorescentes*

<[http://www.asifunciona.com/electrotecnia/af\\_fluorescentes/af\\_fluorescentes\\_4.htm](http://www.asifunciona.com/electrotecnia/af_fluorescentes/af_fluorescentes_4.htm)>

CHENEY M. (2009) *Nikola Tesla. El genio al que le robaron la luz.* Turner Publicaciones S.L., Madrid. ISBN: 978-84-7506-878-7

COMUNIDAD ELECTRÓNICOS. (2001) *El Flyback. Principios, funcionamiento, comprobación* <<http://www.comunidadelectronicos.com/articulos/flyback.htm>>

COMUNIDAD ELECTRÓNICOS. (2001) *Tabla de equivalencias: AWG- milimétricas* <<http://www.comunidadelectronicos.com/articulos/awg.htm>>

CORROSION DOCTORS. (1999) *Famous Scientists: Nikola Tesla (Tesla's Patents)*

<<http://www.corrosion-doctors.org/Biographies/TeslaBio.htm>>

FLICKR. (2008) *Galería de Origins of Business*

<<http://www.flickr.com/photos/businesshistory/2261673400/>>

MONOGRAFÍAS.COM. (2007) *Nikola Tesla: Un Científico Sabio*

<http://www.monografias.com/trabajos30/nikola-tesla-cientifico-sabio/nikola-tesla-cientifico-sabio.shtml>

PROYECTO FISILAB (2002) *Construya su bobina de Tesla*

<[http://www.dgdc.unam.mx/fisilab1\\_b.html](http://www.dgdc.unam.mx/fisilab1_b.html)>

PUBLIC BROADCASTING SERVICES, PBS. (2004) *Tesla - Master of Lightning (Life and Legacy)* < <http://www.pbs.org/tesla/II/index.html>>

TESLA MEMORIAL SOCIETY OF NEW YORK. (1998) *Lost Tesla Papers about the "Death-Rays"* <<http://www.teslasociety.com/deathray.htm>>

TESLA MEMORIAL SOCIETY OF NEW YORK. (1998) *Tesla Biography*

< <http://www.teslasociety.com/biography.htm>>

TESLA MEMORIAL SOCIETY OF NEW YORK. (1998) *Tesla Coil*

<<http://www.teslasociety.com/teslacoil.htm>>

THE TESLA WARDENCLYFFE PROJECT (1997) *Nikola Tesla Photo Archive*

<<http://www.teslascience.org/archive/archive.htm>>

TIME MAGAZINE. (1934) *Science: Tesla's Ray*

<<http://www.time.com/time/magazine/article/0,9171,747574,00.html>>

TOPBITS TECH COMMUNITY (2010) *Spark Gap*

<<http://www.tech-faq.com/spark-gap.html>>

WIKILLERATO. (2009) *Física: Autoinducción*

<<http://portales.educared.net/wikiEducared/index.php?title=Autoinducci%C3%B3n>>

WIKIPEDIA. (2010) *Arco voltaico* <[http://es.wikipedia.org/wiki/Arco\\_el%C3%A9ctrico](http://es.wikipedia.org/wiki/Arco_el%C3%A9ctrico)>

WIKIPEDIA. (2010) *Inducción electromagnética*

<[http://es.wikipedia.org/wiki/Inducci%C3%B3n\\_electromagn%C3%A9tica](http://es.wikipedia.org/wiki/Inducci%C3%B3n_electromagn%C3%A9tica)>

WIKIPEDIA. (2010) *Ionización* <<http://es.wikipedia.org/wiki/Ionizaci%C3%B3n>>

WIKIPEDIA. (2010) *Permeability (Electromagnetism)*

<[http://en.wikipedia.org/wiki/Permeability\\_\(electromagnetism\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Permeability_(electromagnetism))>

WIKIPEDIA. (2010) *Radio Frequency* <[http://en.wikipedia.org/wiki/Radio\\_frequency](http://en.wikipedia.org/wiki/Radio_frequency)>

WITRICITY. (2009) *About the company*

<<http://www.witricity.com/pages/company.html>>

XATAKA. GADGETS Y ELECTRÓNICA DE CONSUMO (2010) *Haier lanza un televisor totalmente inalámbrico*

<<http://www.xataka.com/hogar-digital/haier-lanza-un-televisor-totalmente-inalambrico>>

YOUTUBE (2006) *HAARP at work?*

<[http://www.youtube.com/watch?v=2jV6Dhza2G0&feature=player\\_embedded](http://www.youtube.com/watch?v=2jV6Dhza2G0&feature=player_embedded)>

# ANNEX I: PATENT DE LA BOBINA DE TESLA ORIGINAL

## UNITED STATES PATENT OFFICE.

NIKOLA TESLA, OF NEW YORK, N. Y.

APPARATUS FOR TRANSMITTING ELECTRICAL ENERGY.

1,119,732.

Specification of Letters Patent.

Patented Dec. 1, 1914.

Application filed January 18, 1902, Serial No. 90,245. Renewed May 4, 1907. Serial No. 371,817.

*To all whom it may concern:*

Be it known that I, NIKOLA TESLA, a citizen of the United States, residing in the borough of Manhattan, in the city, county, and State of New York, have invented certain new and useful Improvements in Apparatus for Transmitting Electrical Energy, of which the following is a specification, reference being had to the drawing accompanying and forming a part of the same.

In endeavoring to adapt currents or discharges of very high tension to various valuable uses, as the distribution of energy through wires from central plants to distant places of consumption, or the transmission of powerful disturbances to great distances, through the natural or non-artificial media, I have encountered difficulties in confining considerable amounts of electricity to the conductors and preventing its leakage over their supports, or its escape into the ambient air, which always takes place when the electric surface density reaches a certain value.

The intensity of the effect of a transmitting circuit with a free or elevated terminal is proportionate to the quantity of electricity displaced, which is determined by the product of the capacity of the circuit, the pressure, and the frequency of the currents employed. To produce an electrical movement of the required magnitude it is desirable to charge the terminal as highly as possible, for while a great quantity of electricity may also be displaced by a large capacity charged to low pressure, there are disadvantages met with in many cases when the former is made too large. The chief of these are due to the fact that an increase of the capacity entails a lowering of the frequency of the impulses or discharges and a diminution of the energy of vibration. This will be understood when it is borne in mind, that a circuit with a large capacity behaves as a slackspring, whereas one with a small capacity acts like a stiff spring, vibrating more vigorously. Therefore, in order to attain the highest possible frequency, which for certain purposes is advantageous and, apart from that, to develop the greatest energy in such a transmitting circuit, I employ a terminal of relatively small capacity, which I charge to as high a pressure as practicable. To accomplish this result I have found it imperative to so construct the elevated conductor, that its outer surface, on

which the electrical charge chiefly accumulates, has itself a large radius of curvature, or is composed of separate elements which, irrespective of their own radius of curvature, are arranged in close proximity to each other and so, that the outside ideal surface enveloping them is of a large radius. Evidently, the smaller the radius of curvature the greater, for a given electric displacement, will be the surface-density and, consequently, the lower the limiting pressure to which the terminal may be charged without electricity escaping into the air. Such a terminal I secure to an insulating support entering more or less into its interior, and I likewise connect the circuit to it inside or, generally, at points where the electric density is small. This plan of constructing and supporting a highly charged conductor I have found to be of great practical importance, and it may be usefully applied in many ways.

Referring to the accompanying drawing, the figure is a view in elevation and part section of an improved free terminal and circuit of large surface with supporting structure and generating apparatus.

The terminal D consists of a suitably shaped metallic frame, in this case a ring of nearly circular cross section, which is covered with half spherical metal plates P P, thus constituting a very large conducting surface, smooth on all places where the electric charge principally accumulates. The frame is carried by a strong platform expressly provided for safety appliances, instruments of observation, etc., which in turn rests on insulating supports F F. These should penetrate far into the hollow space formed by the terminal, and if the electric density at the points where they are bolted to the frame is still considerable, they may be specially protected by conducting hoods as H.

A part of the improvements which form the subject of this specification, the transmitting circuit, in its general features, is identical with that described and claimed in my original Patents Nos. 645,576 and 649,621. The circuit comprises a coil A which is in close inductive relation with a primary C, and one end of which is connected to a ground-plate E, while its other end is led through a separate self-induction coil B and a metallic cylinder B' to the terminal D.

The connection to the latter should always be made at, or near the center, in order to secure a symmetrical distribution of the current, as otherwise, when the frequency is very high and the flow of large volume, the performance of the apparatus might be impaired. The primary C may be excited in any desired manner, from a suitable source of currents G, which may be an alternator or condenser, the important requirement being that the resonant condition is established, that is to say, that the terminal D is charged to the maximum pressure developed in the circuit, as I have specified in my original patents before referred to. The adjustments should be made with particular care when the transmitter is one of great power, not only on account of economy, but also in order to avoid danger. I have shown that it is practicable to produce in a resonating circuit as E A B B' D immense electrical activities, measured by tens and even hundreds of thousands of horse-power, and in such a case, if the points of maximum pressure should be shifted below the terminal D, along coil B, a ball of fire might break out and destroy the support F or anything else in the way. For the better appreciation of the nature of this danger it should be stated, that the destructive action may take place with inconceivable violence. This will cease to be surprising when it is borne in mind, that the entire energy accumulated in the excited circuit, instead of requiring, as under normal working conditions, one quarter of the period or more for its transformation from static to kinetic form, may spend itself in an incomparably smaller interval of time, at a rate of many millions of horse power. The accident is apt to occur when, the transmitting circuit being strongly excited, the impressed oscillations upon it are caused, in any manner more or less sudden, to be more rapid than the free oscillations. It is therefore, advisable to begin the adjustments with feeble and somewhat slower impressed oscillations, strengthening and quickening them gradually, until the apparatus has been brought under perfect control. To increase the safety, I provide on a convenient place, preferably on terminal D, one or more elements or plates either of somewhat smaller radius of curvature or protruding more or less beyond the others (in which case they may be of larger radius of curvature) so that, should the pressure rise to a value, beyond which it is not desired to go, the powerful discharge may dart out there and lose itself harmlessly in the air. Such a plate, performing a function similar to that of a safety valve on a high pressure reservoir, is indicated at V.

Still further extending the principles underlying my invention, special reference is made to coil B and conductor B'. The

latter is in the form of a cylinder with smooth or polished surface of a radius much larger than that of the half spherical elements P P, and widens out at the bottom into a hood H, which should be slotted to avoid loss by eddy currents and the purpose of which will be clear from the foregoing. The coil B is wound on a frame or drum D' of insulating material, with its turns close together. I have discovered that when so wound the effect of the small radius of curvature of the wire itself is overcome and the coil behaves as a conductor of large radius of curvature, corresponding to that of the drum. This feature is of considerable practical importance and is applicable not only in this special instance, but generally. For example, such plates at P P of terminal D, though preferably of large radius of curvature, need not be necessarily so, for provided only that the individual plates or elements of a high potential conductor or terminal are arranged in proximity to each other and with their outer boundaries along an ideal symmetrical enveloping surface of a large radius of curvature, the advantages of the invention will be more or less fully realized. The lower end of the coil B—which, if desired, may be extended up to the terminal D—should be somewhat below the uppermost turn of coil A. This, I find, lessens the tendency of the charge to break out from the wire connecting both and to pass along the support F'.

Having described my invention, I claim:

1. As a means for producing great electrical activities a resonant circuit having its outer conducting boundaries, which are charged to a high potential, arranged in surfaces of large radii of curvature so as to prevent leakage of the oscillating charge, substantially as set forth.
2. In apparatus for the transmission of electrical energy a circuit connected to ground and to an elevated terminal and having its outer conducting boundaries, which are subject to high tension, arranged in surfaces of large radii of curvature substantially as, and for the purpose described.
3. In a plant for the transmission of electrical energy without wires, in combination with a primary or exciting circuit a secondary connected to ground and to an elevated terminal and having its outer conducting boundaries, which are charged to a high potential, arranged in surfaces of large radii of curvature for the purpose of preventing leakage and loss of energy, substantially as set forth.
4. As a means for transmitting electrical energy to a distance through the natural media a grounded resonant circuit, comprising a part upon which oscillations are impressed and another for raising the ten-

sion, having its outer conducting boundaries on which a high tension charge accumulates arranged in surfaces of large radii of curvature, substantially as described.

5. The means for producing excessive electric potentials consisting of a primary exciting circuit and a resonant secondary having its outer conducting elements which are subject to high tension arranged in proximity to each other and in surfaces of large radii of curvature so as to prevent leakage of the charge and attendant lowering of potential, substantially as described.

6. A circuit comprising a part upon which oscillations are impressed and another part for raising the tension by resonance, the latter part being supported on places of low electric density and having its outermost conducting boundaries arranged in surfaces of large radii of curvature, as set forth.

7. In apparatus for the transmission of electrical energy without wires a grounded circuit the outer conducting elements of which have a great aggregate area and are arranged in surfaces of large radii of curvature so as to permit the storing of a high charge at a small electric density and prevent loss through leakage, substantially as described.

8. A wireless transmitter comprising in combination a source of oscillations as a condenser, a primary exciting circuit and a secondary grounded and elevated conductor the outer conducting boundaries of which are in proximity to each other and arranged in surfaces of large radii of curvature, substantially as described.

9. In apparatus for the transmission of electrical energy without wires an elevated conductor or antenna having its outer high potential conducting or capacity elements arranged in proximity to each other and in surfaces of large radii of curvature so as to overcome the effect of the small radius of curvature of the individual elements and leakage of the charge, as set forth.

10. A grounded resonant transmitting circuit having its outer conducting boundaries arranged in surfaces of large radii of curvature in combination with an elevated terminal of great surface supported at points of low electric density, substantially as described.

NIKOLA TESLA.

Witnesses:

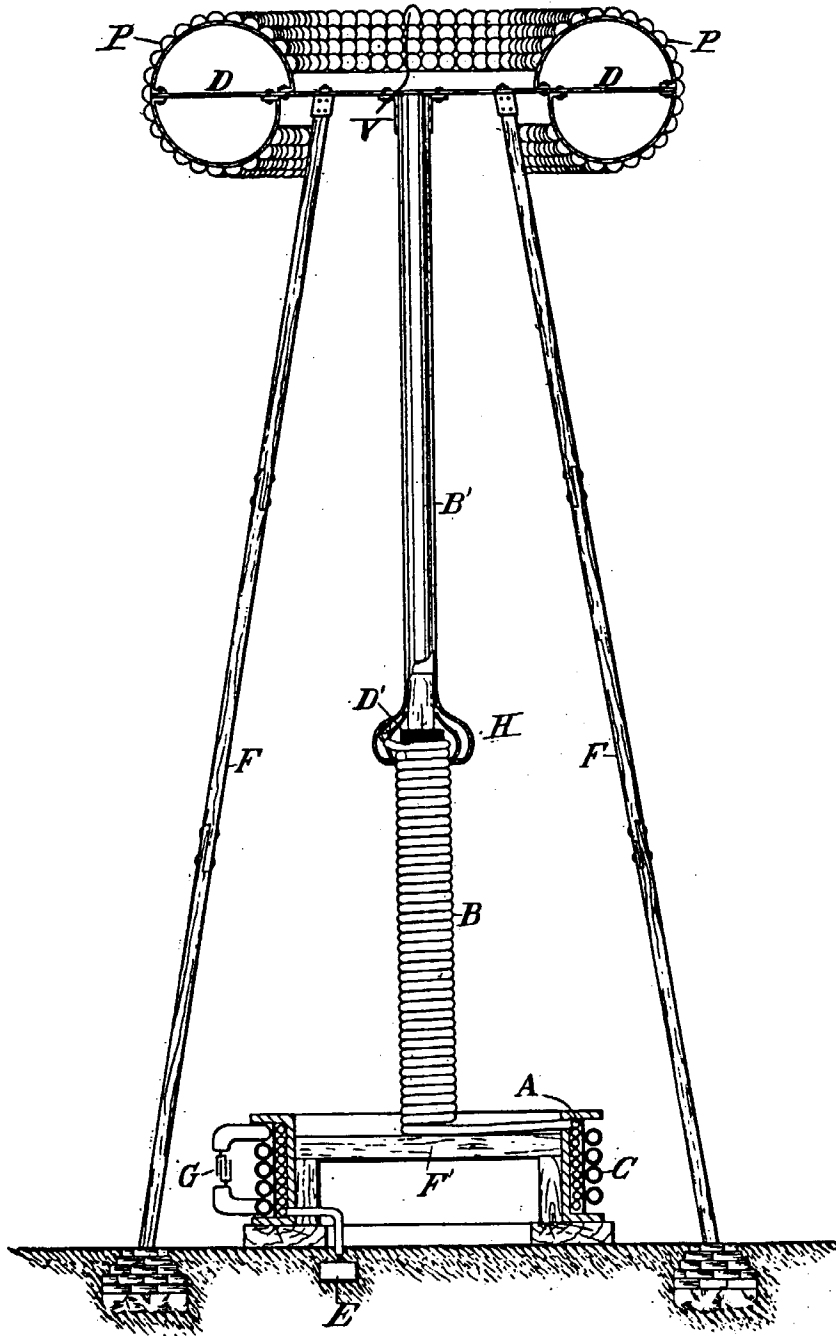
M. LAMSON DYER,  
RICHARD DONOVAN.

N. TESLA.

APPARATUS FOR TRANSMITTING ELECTRICAL ENERGY.  
APPLICATION FILED JAN. 18, 1902. RENEWED MAY 4, 1907.

1,119,732.

Patented Dec. 1, 1914.



WITNESSES:

*M. Lawson Dyer*  
*Benjamin Miller.*

*Nikola Tesla,* INVENTOR,  
BY *Wm. Page & Cooper,*  
*his* ATTORNEYS.

## ANNEX II: MATERIAL NECESSARI PER A LA CONSTRUCCIÓ D'UNA BOBINA TESLA

### MATERIALS:

Quantitat	Material	P. Unitari	P. Total
1	Transformador d'alta tensió (pri=220 V; sec=2.400 V)		Reciclat
1	Transformador (pri=24V ; sec=220V)		Reciclat
1	Ampolla d'1l (D=8cm x h=20cm)	2,75 €	2,75 €
4	Carrets de fil de coure esmaltat (D=0,6mm)	4,60 €	18,40 €
11	Condensadors de poliester (C=0,056µF ; DV=1.000V)	0,85 €	9,35 €
2	Placa de fibra de vidre per muntar components electrònics	2,30 €	4,60 €
1	Tauler d'aglomerat (60x20x1,5cm)	2,88 €	2,88 €
4	Caragols M3x40	0,10 €	0,40 €
16	Volanderes mètric 3	0,10 €	1,60 €
4	Femelles mètric 3	0,10 €	0,40 €
4	Cilindres de llautó mètric 3 (l=1cm)	0,10 €	0,40 €
3	Caragols M4x40	0,10 €	0,30 €
3	Caragols M4x30	0,10 €	0,30 €
15	Volanderes mètric 4	0,10 €	1,50 €
9	Femelles mètric 4	0,10 €	0,90 €
2	Escaires d'alumini foradats (D=4mm)	0,30 €	0,60 €
1	Depressor de fusta	0,20 €	0,20 €
4	Caragols M5x30	0,10 €	0,40 €
8	Volanderes mètric 5	0,10 €	0,80 €
4	Femelles mètric 5	0,10 €	0,40 €
3	Caragols autoroscants (D=3mm ; l=4cm)	0,10 €	0,30 €
6	Terminals de connexió	0,10 €	0,60 €
1	Cartolina gruixuda (370g/m2)	2,65 €	2,65 €
1	Làmina de cartró (1,5mm de gruix)	3,10 €	3,10 €
1	Làmina de plàstic (1mm de gruix)	1 €	1,00 €
1	Rotlle de 5 m de cinta aïllant	1,25 €	1,25 €
2	Brides	0,17 €	0,34 €
1	Cable d'alimentació amb endoll	6 €	6,00 €
2	Grapes per fixar cable	0,20 €	0,40 €
30	Resistències (R=1MΩ ; P=1W)	0,01 €	0,30 €
3	Cable de coure a metres (D=3mm)	1,80 €	5,40 €
3	Funda de plàstic termoretràctil a metres (D=4mm)	0,85 €	2,55 €
2	Cable de connexió a metres (D=2,5mm)	1,80 €	3,60 €
0,5	Cable paral·lel a metres (D=2x2mm)	0,50 €	0,25 €
<b>COST TOTAL</b>			<b>73,92 €</b>

### ESTRIS:

Tornavis pla  
 Barrina  
 Trepant manual i de sobretaula (broques de 3 mm, 4 mm i 5 mm de diàmetre)  
 Llimes planes per a metall i lima cilíndrica de 3 mm de diàmetre  
 Soldador i estany  
 Cola blanca i de contacte  
 Cúter  
 Tisores  
 Alicates  
 Claus de tub de 5 mm, 7 mm i 9 mm de diàmetre  
 Cinta adhesiva "cel·lo"  
 Martell  
 Regle, compàs i llapis (o bolígraf)  
 Polímetre digital i pinces cocodrill

# **ANNEX III: GLOSSARI DE LA CONSTRUCCIÓ DE LA BOBINA TESLA**

## **[1] FREQUÈNCIA NATURAL D'OSCIL·LACIÓ**

- La freqüència natural d'oscil·lació és aquella freqüència, pròpia de cada material o medi, a la qual dos objectes d'un mateix material i d'unes mateixes característiques poden entrar en ressonància. Aquest fenomen es dona tant de manera física (objectes elàstics) com en electromagnetisme. Així, si a través d'un conductor amb una certa freqüència natural d'oscil·lació hi passen ones electromagnètiques i s'hi acosta un altre conductor que té la mateixa freqüència natural d'oscil·lació, tots dos conductors entraran en ressonància i el primer serà capaç d'induir voltatge al segon.

## **[2] INDUCCIÓ ELECTROMAGNÈTICA**

- La inducció electromagnètica és un fenomen elèctric pel qual s'estableix una diferència de potencial en un conductor quan aquest es troba sota la influència d'un camp magnètic. Perquè tingui lloc aquest fenomen, el conductor i el camp magnètic han d'estar en moviment relatiu, de manera que hi ha diferents situacions en les quals es pot donar aquest fenomen:
  - Quan el camp magnètic és estàtic i el conductor està en moviment.
  - Quan el camp magnètic és variable i el conductor està quiet.
- Una bobina és un element elèctric format per un conductor (normalment fil de coure) enrotllat sobre un nucli magnètic que, en passar electricitat a través seu, genera un camp magnètic. En el cas de la *bobina Tesla*, el corrent que passa a través de la bobina primària és altern i de radiofreqüència i, per tant, el camp magnètic que apareix és variable. La bobina secundària es troba molt a prop de la primària, de manera que li és induït un corrent elèctric de les mateixes característiques que el corrent que passa a través de la bobina primària.

## **[3] RADIOFREQUÈNCIA**

- La radiofreqüència o freqüència de ràdio és una part de l'espectre electromagnètic que engloba les ones de freqüències entre els 30KHz i els 300Ghz. En el camp de l'electricitat, es consideren corrents elèctrics de radiofreqüències als corrents alterns d'una freqüència superior als 50KHz.

## **[4] ARC VOLTAIC**

- Un arc voltaic (també anomenat arc elèctric) és la descàrrega que es dona entre dos elements metàl·lics entre els quals existeix una certa diferència de potencial. Per tal

que aquesta descàrrega pugui tenir lloc entre dos objectes envoltats per aire, la diferència de potencial ha de ser molt elevada (l'aire és un molt bon aïllant). Això comporta que aquest aire, un cop s'ha produït l'arc voltaic, quedi ionitzat.

## **[5] IONITZACIÓ**

- En física, la ionització és un procés pel qual s'aconsegueix separar els electrons dels àtoms i les molècules amb càrrega elèctrica neutra. D'aquesta manera s'obtenen cations (ions amb càrrega elèctrica positiva) i electrons lliures. Un dels mètodes més comuns per ionitzar un medi consisteix a sotmetre'l a un poderós camp elèctric. Un cop ionitzat, en haver-hi electrons lliures, aquest medi serà conductor de l'electricitat.

## **[6] AUTOINDUCCIÓ**

- L'autoinducció és un fenomen electromagnètic que té lloc en les bobines. Quan a través d'una bobina hi circula un corrent elèctric altern, apareix un camp magnètic variable. Aleshores, la mateixa *bobina* genera un voltatge (anomenat autoinduït) que s'oposa a aquestes variacions del camp magnètic i, per tant, també a les variacions del corrent elèctric.
- En connectar una bobina a la xarxa elèctrica, que és una font de corrent altern, es genera un camp magnètic variable al seu voltant i, per tant, també apareix un voltatge autoinduït. Si la bobina es desconnecta de cop o fa un mal contacte, el circuit queda obert i la intensitat disminueix de cop. Tenint en compte el fenomen de l'autoinducció, la bobina intentarà oposar-se a aquesta variació en el corrent elèctric, de manera que generarà un pic de tensió molt alt, per tal de mantenir constant la intensitat del circuit.

## **[7] PERMEABILITAT MAGNÈTICA**

- La permeabilitat magnètica és la capacitat que presenten els materials a ser magnetitzats quan es troben sota la influència d'un camp magnètic. Així, segons el seu comportament en aquestes condicions, podem classificar els materials en ferromagnètics (s'ímanten i reforcen el camp magnètic), diamagnètics (s'ímanten molt feblement o no s'ímanten i debiliten el camp magnètic), i paramagnètics (s'ímanten molt feblement o no s'ímanten, i no modifiquen el camp magnètic).

