



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE UN SISTEMA DE RECARGA INDUCTIVA PARA AUTOS ELÉCTRICOS”

**CUJI CAISAGUANO HOLGUER RAMIRO
SÁNCHEZ CHÁVEZ LENIN HERIBERTO**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

**RIOBAMBA – ECUADOR
2015**

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2014-04-02

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**CUJI CAISAGUANO HOLGUER RAMIRO
SÁNCHEZ CHÁVEZ LENIN HERIBERTO**

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE UN SISTEMA DE
RECARGA INDUCTIVA PARA AUTOS ELÉCTRICOS”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Marco Santillán
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Javier Villagrán
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Celin Padilla
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: CUJI CAISAGUANO HOLGUER RAMIRO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE UN SISTEMA DE RECARGA INDUCTIVA PARA AUTOS ELÉCTRICOS”

Fecha de Examinación: 2015-12-09

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Dr. Mario Audelo PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Javier Villagrán DIRECTOR			
Ing. Celin Padilla ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Dr. Mario Audelo
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: SÁNCHEZ CHÁVEZ LENIN HERIBERTO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE UN SISTEMA DE RECARGA INDUCTIVA PARA AUTOS ELÉCTRICOS”

Fecha de Examinación: 2015-12-09

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Dr. Mario Audelo PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Javier Villagrán DIRECTOR			
Ing. Celin Padilla ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Dr. Mario Audelo
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Cuji Caisaguano Holguer Ramiro

Sánchez Chávez Lenin Heriberto

DEDICATORIA

A Dios primeramente ya que es nuestro creador quien nos ha guiado a lo largo del camino en este largo camino de nuestras vidas en la etapa académica.

A mis padres quienes han apoyado incondicionalmente este sueño gracias a sus consejos y paciencia que me han sabido dar se ha logrado culminar el presente trabajo de titulación.

A mis hermanos quienes se han sacrificado para que yo pueda continuar y terminar este reto académico.

Holguer Ramiro Cuji Caisaguano.

Dedico el presente trabajo a Dios por darme la fortaleza e inteligencia para poder tomar las mejores decisiones y continuar siempre hacia adelante, a mi madre quien siempre ha sabido darme su apoyo y amor para no renunciar en momentos de flaqueza a mi padre quienes me han dado su comprensión en todo momento dándome esas fuerzas para continuar cuando las fuerzas me han fallado para continuar y lograr culminar mis estudios académicos.

Lenin Heriberto Sánchez Chávez

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a primeramente a Dios y segundo a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en donde he tenido la oportunidad de continuar con mis estudios y en donde e culminado mis estudios de tercer nivel.

También agradezco a las personas a las cuales puedo llamar amigos con los cuales he podido contar siempre de manera incondicional el apoyo de ellos son de incalculable valor a quienes agradezco mucho de corazón.

Holguer Ramiro Cuji Caisaguano

Al finalizar un trabajo tan arduo y lleno de dificultades que hubiese resultado imposible sin la participación y apoyo de nuestro director del trabajo de titulación quien nos a guiado de la mejor manera para lograr culminar con éxito además a nuestro asesor quien supo darnos los mejores consejos.

Por ello, es para mí un verdadero placer darles mis más sinceros agradecimientos.

Lenin Heriberto Sánchez Chávez

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN

1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación	2
1.3	Objetivos.....	2
1.3.1	Objetivo general.	2
1.3.2	Objetivos específicos:	2
1.4	Metodología.....	3

2. MARCO TEÓRICO

2.1	Electrostática-Carga eléctrica	4
2.2	Campo eléctrico.	7
2.3	Potencial eléctrico.....	9
2.3.1	Ley de Gauss..	10
2.3.2	El campo magnético	11
2.3.3	Fuerzas magnéticas.....	12
2.3.4	Espectros magnéticos..	12
2.4	Fuerza magnética entre dos elementos de corriente.	13
2.4.1	Ley de Ampere.	14
2.5	Ley de Biot y Savart	15
2.5.1	Ley de Ampere aplicada a una corriente rectilínea..	16
2.5.2	Ley de ampere aplicada a un solenoide.	17
2.5.3	Ley de ampere aplicada a un toroide	17
2.6	Electromotriz inducida - Autoinducción.	18
2.6.1	Fuerza electromotriz debido al movimiento	18
2.6.2	Inductancia mutua.....	20
2.6.3	Autoinducción..	23
2.7	Ley de Faraday.	24
2.7.1	Ley de la inducción de Faraday.	26
2.7.2	Ley de la mano derecha.	28
2.8	Ley de Lenz	29
2.9	Toroide.....	30
2.9.1	Campo magnético producido por un toroide.	31
2.9.2	Dentro de una toroide.	32
2.9.3	Fuera del toroide ($r>r$).	32
2.10	Materiales Ferromagnéticos	33
2.10.1	Materiales ferromagnéticos para transformadores..	33
2.10.2	Materiales magnéticos blandos.....	34
2.10.3	. Materiales magnéticos duros.	35

3. DISEÑO DEL MODELO

3.1	Baterías de base Níquel.	36
3.2	Parámetros iniciales de carga.	37
3.2.1	Estado de carga “SOC”.....	37
3.2.2	Tensión en vacío.	37
3.2.3	Tensión de trabajo..	38

3.2.4	Profundidad de descarga.....	38
3.2.5	Resistencia interna.....	38
3.2.6	Capacidad.....	39
3.2.7	Auto descarga.....	39
3.2.8	Eficacia.....	40
3.2.9	Temperatura.....	40
3.2.10	Sobrecarga.....	40
3.3	Carga de batería.....	41
3.3.1	Fase de carga principal.....	41
3.3.2	Fase Absorción.....	42
3.3.3	Fase Flotación.....	43
3.4	Ciclo de carga.....	44
3.4.1	Carga rápida.....	44
3.4.2	Tiempo de recarga.....	45
3.5	Curvas de carga y descarga:.....	45
3.6	El cargador de batería.....	46
3.7	Intensidad de campo.....	46
3.8	Cálculos:.....	47
3.8.1	Calculo de la distancia.....	47
3.8.2	Cálculo para la construcción de las bobinas planas.....	48
3.8.3	Cálculo de la inductancia de la bobina.....	54
3.8.4	Cálculo de la intensidad de campo.....	56
3.8.5	Frecuencia del modelo de recarga inductiva.....	56
3.8.6	Los Campos Electromagnéticos (CEM).....	57
3.8.7	Efectos sobre la salud.....	58
3.9	Proceso de inducción de energía para recarga de las baterías de modelo.....	60
3.9.1	Recarga inductiva.....	61
3.9.2	Unidad de control.....	61
3.9.3	Esquema del emisor utilizado en el modelo de recarga inductiva.....	62
4.	DIGITALIZACIÓN DEL MODELO DE RECARGA INDUCTIVA	
4.1	Circuito oscilador de 130 kHz.....	64
4.1.1	Materiales del circuito oscilador.....	64
4.1.2	Diseño del circuito oscilador (ISIS).....	65
4.1.3	Desarrollo para la construcción del circuito oscilador.....	66
4.2	Circuito de carga de baterías.....	67
4.2.1	Materiales del circuito de carga de baterías.....	67
4.2.2	Diseño y construcción del circuito de carga de las baterías.....	68
4.2.3	Desarrollo para la construcción del circuito de carga.....	68
4.3	Circuito puente H.....	69
4.3.1	Puente H para el control de los motores de dirección y tracción.....	69
4.3.2	Diseño del circuito del puente – H.....	70
4.4	Placa de control central.....	72
4.4.1	Materiales de la placa de control central.....	72
4.4.2	Diseño de la placa de control (ISIS).....	72
4.4.3	Desarrollo para la construcción de la placa central.....	77
4.5	Circuito para visualización de carga.....	78
4.5.1	Materiales del circuito para visualización de carga.....	78
4.5.2	Diseño del circuito de la pantalla de control.....	78
4.5.3	Desarrollo para la construcción del circuito de la pantalla.....	79

4.6	Realización de las pruebas correspondientes.....	81
4.6.1	Pruebas realizada al circuito emisor.	81
4.6.2	Pruebas realizadas al circuito receptor..	81
4.6.3	Pruebas realizadas a la placa central de control.	81
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1	Conclusiones.....	82
5.2	Recomendaciones.	82

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

1	SOC de batería.....	37
2	Tensión en vacío	37
3	Tensión de trabajo	38
4	DOD de Batería.	38
5	Temperatura optima de carga	44
6	Materiales del circuito oscilador.....	64
7	Materiales del circuito de carga.....	67
8	Materiales del puente H.	70
9	Materiales de la placa de central.....	72
10	Materiales de la pantalla	78
11	Resultados circuito emisor.....	81
12	Resultados circuito receptor	81
13	resultados placa central.....	81

LISTA DE FIGURAS

Cargas de los átomos.	5
Ley de Coulomb.....	6
Cálculo de la fuerza	7
Potencial eléctrico.....	10
Ley de Gauss.....	10
Producto cruz regla de la mano derecha.	11
Fuerzas magnéticas.	12
Campo magnético.	13
Fuerza de atracción entre dos hilos paralelos con corrientes del mismo sentido.	13
Ley de Ampere.....	14
Corriente rectilínea	16
Solenoides	17
Toroide.....	17
Movimiento en un campo magnético produce una corriente en la espira conductora....	18
Inductancia mutua entre dos circuitos.	21
Autoinducción de un circuito.....	23
Ley de Faraday.....	24
Ley de Faraday.....	25
FEM inducida - Ley de Faraday	26
Campo eléctrico inducido por un campo magnético variable.....	27
Ley de la mano derecha.	28
Primera experiencia de Faraday.....	29
Segunda experiencia de Faraday.....	30
Tercera experiencia de Faraday.	30
Toroide.....	31
Campo producido por un Toroide.....	32
Dentro del toroide.	32
Fuera del toroide	33
Materiales magnéticos blandos.	34
Materiales magnéticos duros.	35
Fases de carga.	44
Curvas de carga y descarga.....	45
Niveles de referencia para campos 0Hz-300GHz.....	47
Nissan Leaf.	48
Bobina emisora.	49
Cálculo del espesor de una bobina plana.	52
Comportamiento de las líneas de campo la bobina.....	56
Lectura del osciloscopio.	57
Campos electromagnéticos	58
Clasificación de campos	59
Espectro	60
Esquema general	61
Esquema de la unidad de control	62
Esquema del emisor	63
Circuito oscilador.....	65
Pista del circuito oscilador.....	65
Circuito oscilador en 3D	66

Circuito de carga de baterías.....	68
Circuito del puente - H.....	70
Circuito del puente H en 3D - Frontal	71
Pista del circuito del puente H.	71
Placa de control.....	73
Placa de control – Pista frontal	74
Placa de control – Pista posterior.....	75
Placa de control en 3D – Frontal.	76
Circuito de la pantalla de control.	78
Pista del circuito de la pantalla de control.	79
Circuito de la pantalla de control en 3D	79

SIMBOLOGÍA

B	Campo magnético
T	Tesla
Wb	Weber
V	Voltio
W	Vatio – Watt
A	Amperio
L	Inductancia
H	Henry
R	Resistencia
Ω	Ohmio
r	Radio
n	Numero de vueltas

LISTA DE ABREVIACIONES

CC	Corriente continua
CA	Corriente alterna
Vpp	Voltaje pico a pico
TRAF	Transformador

LISTA DE ANEXOS

- A** Tipos de baterías
- B** Campos electromagnéticos y salud
- C** Programación
- D** Data Sheet – Módulo HC-05 Bluetooth
- E** Data Sheet – TIP 35
- F** Data Sheet – Arduino Mega

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo el diseño y construcción de un modelo de un sistema de recarga inductiva para autos eléctricos con esta alternativa ya no se necesitaran cables para recargar las baterías de los autos eléctricos el proceso de recarga comenzara de manera automática al posicionar el auto sobre la plataforma de recarga inductiva sin necesidad que exista contacto entre el auto y la plataforma para que las baterías comiencen a recargar, esto facilitará para la gestión investigativa y académica en la Escuela de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH.

Su metodología es de tipo experimental y radica básicamente en el diseño y construcción de dos bobinas (emisor y receptor), el flujo enlazante pasara de la bobina uno a la bobina dos, el trabajo para ello dependerá de la distancia a la que se encuentren dichas bobinas.

Conociendo los avances tecnológicos que existen en el campo automotriz en cuanto a autos eléctricos la recarga de sus baterías es un parámetro importante para el uso de los mínimos debido a ello es de importancia de esta alternativa de recarga inductiva, la Escuela valida esta actividad a través de procedimientos de diseño y construcción de recarga inductiva, tomando en cuenta la importancia de la aplicación, todo esto se lo ha plasmado en la investigación en la Escuela de Ingeniería Automotriz.

Con este estudio se busca demostrar el funcionamiento de los cargadores de baterías de tipo inductivos sus beneficios y desventajas de su uso.

ABSTRACT

This research objective is to design and build an inductive charging system for electric, with this alternative there is no need for cables to recharge the batteries because this new system of inductive charges facilitates and reduces the electric cars batteries time, the recharge process start automatically when the car is put over the inductive charging platform, contact between the car and the platform is not necessary for the battery to start charging.

The implemented methodology is experimental and it is based on the design and construction of two coils (transmitter and receiver), the mutual inductance of these coils depends on the distance.

The technological advances in the automotive field specifically electric vehicles batteries recharging is a key to generate research in the Automotive Engineering Mayor.

Through this study it is proved that the use of the inductive charging system is a great benefit to future users of electric vehicles.

CAPÍTULO I

1. Introducción.

1.1 Antecedentes.

“La base de esta tecnología no es nueva, ya en la antigua Grecia se comienzan a estudiar estos fenómenos para averiguar la causa del magnetismo y la electricidad estática observados en la magnetita y el ámbar. Sin embargo, tuvieron que pasar muchos siglos para poder descifrar la naturaleza de estos fenómenos y su relación entre ellos.

Michael Faraday (1791–1867) quien introdujo la noción de campo en la Física para poder explicar la interacción a distancia (interactuar sin tocarse) que ocurre entre cuerpos.

En Física, el concepto de campo señala un sector del espacio en el que a cada punto de él, se le puede asociar un vector o una cantidad escalar” (Gonzalez, ca 2012).

“El uso de recarga inductiva de vehículos eléctricos (EV) se basa en el proyecto presentado por la Universidad de Zaragoza a través del CIRCE - UNPLUGGED.

En el cual se investigará una infraestructura inteligente de recarga inductiva en modo estático facilitando la integración del uso de vehículos eléctricos (EV) en los sistemas viales urbanos”. (Universidad Saragoza, ca 2011)

Con el presente estudio se pretende construir un prototipo de un sistema de recarga para autos eléctricos los cuales ya no necesitaran cables para recargar sus baterías debido a este nuevo sistema de recarga inductiva lo que facilitara y disminuirá el tiempo para recargar las baterías de los autos eléctricos ya que el procesos de recarga comenzara de manera automática al posicionar el auto. Sobre la plataforma de recarga inductiva sin necesidad que exista contacto entre el auto y la plataforma para que las baterías comiencen a recargar.

Para ello contara con dos bobinas (emisor y receptor), el flujo enlazante pasara de la

Bobina uno a la bobina dos, el trabajo para ello dependerá de la distancia a la que se encuentren dichas bobinas.

1.2 Justificación

En la actualidad el Ecuador apunta a la utilización de la energía eléctrica desarrollando proyectos tales como: cocinas de inducción y los autos eléctricos dichos artículos son amigables con el medio ambiente disminuyendo el consumo de CO₂.

“El Ministerio Coordinador de la Producción propondría un plan integral para la instalación de una red de recarga de autos eléctricos.

Agencia de Regulación y Control Eléctrico y el Instituto Nacional de Energía (INER), Richard Espinosa, ministro coordinador de Producción, Empleo y Competitividad, suscribió el ‘Convenio Marco para la promoción y comercialización para lo cual redujo a 0% los aranceles para la importación de autos eléctricos terminados y para la fabricación de piezas en este tipo de autos’ (El Telégrafo, 2015).

El tiempo de carga de estos autos asila entre 8 horas con una durabilidad de recorrido de 120 km por lo que se plantea este nuevo sistema de recarga de baterías mucho más fácil y rápido en comparación a una carga que utilice cable.

Contribuyendo de esta manera al desarrollo de la sociedad; siempre conservando el criterio científico, tecnificado, perfeccionista y ambientalista que caracteriza en sí a un Ingeniero Automotriz de la ESPOCH.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general. Diseñar y construir un modelo de un sistema de recarga inductiva para autos eléctricos.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Diseñar el sistema de recarga inductiva.
- Construir el sistema de control electrónico de potencia para el sistema de recarga.

- Realizar pruebas de funcionamiento del prototipo de carga.

1.4 Metodología.

Por medio de la investigación se obtendrá toda la información necesaria y requerida para el desarrollo del proyecto. Esta investigación es de tipo experimental porque se trata de un proceso sistemático y una aproximación científica al tema de investigación en la cual se manipula variables y mide los cambios en las variables como efecto de la manipulación.

El tipo de estudio correlacionales por que se definirá si las dos variables (tiempo-carga) están o no relacionadas de manera que se pueda anticipar el comportamiento de una variable en función de la otra determinando así la dependencia de una en función de la otra.

El método científico debido a que tiene su base y postura sobre la teoría mecanicista (todo es considerado como una máquina, y para entender el todo debemos descomponerlo en partes pequeñas que permitan estudiar, analizar y comprender sus nexos, interdependencia y conexiones entre el todo y sus partes)

CAPITULO II

2. Marco teórico

2.1 Electrostática-Carga eléctrica

Este concepto es muy antiguo ya que en la antigua Grecia alrededor de los años 600 mediante un experimento muy fácil y conocido hasta nuestros tiempos como es el flotar un peine de ebonita con un pedazo de lana, el peine adquiere la capacidad de levantar pequeños pedacitos de papel ligeros. El resultado era que se creaba una fuerza de atracción debido a que estos cuerpos están en contacto a causa del movimiento, este fenómeno no fue estudiado sino hasta los años 1600 cuando William Gilbert estudio definiendo dos tipos de materiales los aislantes y los conductores en base a que los materiales eran capaces de adquirir esta fuerza atractiva.

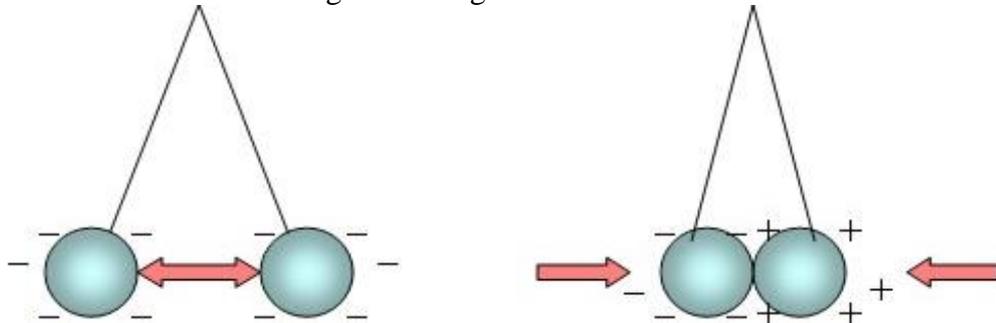
“El conocimiento acerca de la carga eléctrica se desarrolló más por Du Fay 100 años después quien demostró que la electrificación era de dos tipos. Frotando entre si aislantes de varias clases, pudo comprobar que en ciertas condiciones se repelían unos contra otros. Sus resultados podían explicarse postulando la existencia de dos clases de cargas. Las fuerzas que tienen cargas iguales resultan ser repulsivas, mientras que las cargas con fuerzas desiguales son atractivas”. (Kip, 1967 pág. 22)

Las partículas que son la bases de la materia que están formadas por protones y electrones que las dos partículas que poseen carga a diferencia de un neutrón que no posee carga eléctrica Pero la carga es una propiedad fundamental y característica de las partículas elementales que forman la materia.

En la naturaleza los cuerpos materiales se comportan de forma neutral y para que cambien de estado es necesario la interacción con otro material que retire o inserte protones o electrones sea cual sea la condición se dice que la materia está cargada, ya sea un exceso de electrones (negativa) o un exceso de protones (positivo). “La carga no puede crearse ni destruirse. La carga total de un sistema cerrado no puede cambiar. Desde el punto de vista macroscópico las cargas pueden recuperarse y combinarse mutuamente.

Distintas formas; sin embargo podemos establecer que en un sistema cerrado la carga neta se conserva”. (Reizt, 1995 pág. 27)

Figura 1. Cargas de los átomos.



Fuente: www.profesorenlinea.cl

Los sólidos resultan al combinar átomos si estos átomos tienen la libertad de moverse libremente por dicho sólido reciben el nombre conductores caso contrario al de los aislantes donde no existe dicha facilidad para moverse los átomos por el sólido .

Con el concepto de carga eléctrica podemos cuantificar la ganancia o pérdida de electrones o protones además de ser la base de la teoría compleja de lo que se conoce como magnetismo ya que la base de la existencia del electromagnetismo está en las cargas eléctricas.

$$F \propto \epsilon \frac{q'q_1}{R} \quad (1)$$

Esta ecuación expresa el valor de la fuerza F entre dos cargas puntuales q' y q_1 separadas a una distancia R .

Una carga puntual se define como una carga eléctrica localizada en un punto geométrico del espacio en un caso ideal lo que no ocurre realmente.

Debemos su formulación a los experimentos de Priestley, fueron repetidos por Coulomb en 1785 generalmente se conoce como ley de Coulomb.

“De los resultados de estas observaciones refinadas de las fuerzas entre las cargas eléctricas existen tres principios.

- Hay dos y solo dos clases de carga eléctrica, conocida ahora como positiva y negativa.
- Dos cargas puntuales ejercen entre si fuerzas que actúan a lo largo de la línea que la une y que son inversamente proporcionales al cuadrado de las distancias que las separa.
- Estas fuerzas son también proporcionales al producto de las cargas, son repulsivas para cargas iguales, y atractivas para cargas contrarias”. (Reizt, 1995 pág. 31)

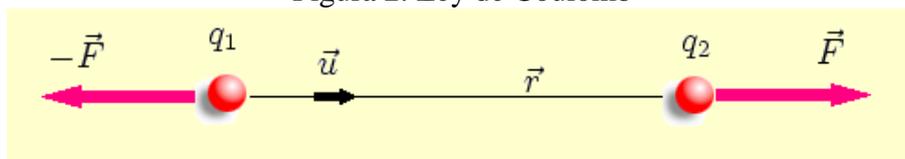
De estos postulados son consideramos como la ley de Coulomb (Charles Agustín de Coulomb)

La ley de Coulomb para cargas puntuales puede además formularse de forma vectorial.

$$F = c_u \frac{q'q_1}{R} \quad (2)$$

c_u : Es una constante de la ecuación con la que se determina el sistema de unidades del resultado de la ecuación.

Figura 2. Ley de Coulomb



Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7c/Ley_de_Coulomb.PNG

La magnitud de la unidad de SI de carga, el coulomb, se establece a partir de experimentos magnéticos.

$$c_u = 8.9874 \times 10^9 \frac{N \times m^2}{c^2} \quad (3)$$

Para simplificar otras ecuaciones hacemos la aparente complicada sustitución:

$$c_u = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad (4)$$

La constante ϵ_0 se conoce como permeabilidad del espacio libre y numéricamente es (Reizt, 1995):

$$\epsilon_0 = 10^{-12} \frac{c^2}{N m^2} \quad (5)$$

2.2 Campo eléctrico.

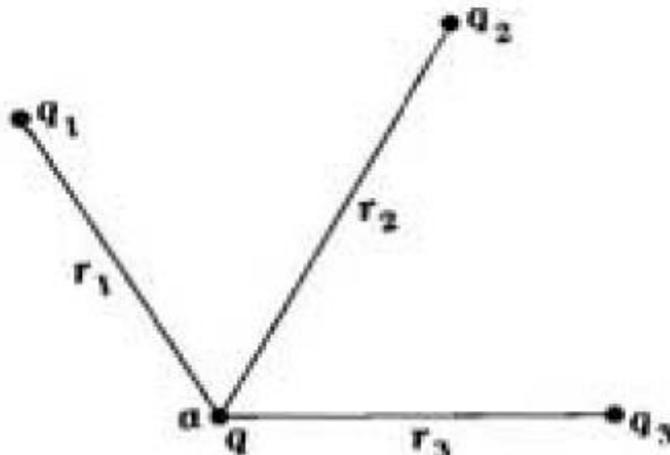
Las cargas eléctricas ejercen influencia en otras cargas sin necesidad de un medio real o material para tal efecto este fenómeno es conocido como campo eléctrico (produce efecto sobre las cargas en reposo).

El campo eléctrico para una carga o un conjunto de cargas se define como la región del espacio donde se siente los efectos de este fenómeno o como también sería el límite de la fuerza sobre una carga de puntual colocada en el punto a una cierta distancia de una carga prueba. Una de las propiedades del campo eléctrico se trata de la dirección de la fuerza que ejerce sobre una carga positiva de prueba.

El campo eléctrico está dirigido radialmente hacia fuera o hacia adentro dependiendo de la carga puntual sea positiva o negativa. El campo eléctrico es una magnitud vectorial, designada con el símbolo E. “La siguiente ecuación describe la fuerza por unidad de carga que actuaría sobre una carga situada en dicho punto” (Kip, 1967 pág. 37).

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum \frac{q_i}{r_i^2} r_i \quad (6)$$

Figura 3. Cálculo de la fuerza



Fuente. Fundamentos de Electricidad y Magnetismo pág. 39

La ecuación nos queda:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{qq_1}{r_1^2} \vec{r}_1 + \frac{qq_2}{r_2^2} \vec{r}_2 + \frac{qq_3}{r_3^2} \vec{r}_3 \right) \quad (7)$$

El campo eléctrico en el punto a vendrá dado por:

$$E = \frac{F}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{qq_1}{r_1^2} \vec{r}_1 + \frac{qq_2}{r_2^2} \vec{r}_2 + \frac{qq_3}{r_3^2} \vec{r}_3 \right) \quad (8)$$

En general el campo en un punto dado será:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_i \frac{q_i}{r_i^2} \vec{r}_i \quad (9)$$

Y para una distribución continua de las cargas:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq}{r^2} \vec{r} \quad (10)$$

En las que \vec{r} es el vector unitario de f dirección variable que está dirigido desde q_1 o dq hacia el punto del espacio en el que estamos calculando el campo E . Quedando así la siguiente ecuación en función de las fuerza de atracción con respecto al campo eléctrico de una carga puntual en un punto determinado.

$$F = q_0 * E \quad (11)$$

Mediante el uso de esta fórmula se puede obtenerse la fuerza que actúa sobre una carga cualquiera calculando su campo eléctrico y multiplicando por la magnitud de la carga.

Además de ser una ecuación vectorial, E y F tienen la misma dirección; además tiene el mismo sentido si q_0 es positiva pero tiene sentidos opuestos si es negativa.

Para un ejemplo tan sencillo podríamos igualmente haber calculado la fuerza sobre nuestra carga q_0 directamente de la ecuación sin hacer referencia alguna al campo eléctrico.

La introducción del campo eléctrico E permite un tratamiento más general, facilitando el estudio de situaciones mucho más complicadas.

“Podemos pensar que el campo es una descripción del estado del espacio en una región dada. De este modo alejamos nuestra atención de las cargas individuales que crean el campo y es su lugar la concentramos en el efecto que su presencia tiene en el espacio que rodea las cargas”. (Kip, 1967 pág. 39)

El campo eléctrico está definido por la siguiente ecuación que puede ser en algunos casos cero debido a que la distancia puede ser muy pequeña como es el caso de las cargas como electrón y protón que se encuentran muy juntas y con una distancia mínima que tiende a ser cero.

$$E = \lim_{\Delta q \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta q} \quad (12)$$

El valor límite del campo eléctrico es también el límite de la fuerza por unidad de carga.

$$E = \frac{dF}{dq} \quad (13)$$

2.3 Potencial eléctrico.

Es el trabajo realizado para trasladar una carga de referencia desde un punto inicial hasta otro un punto.

“En particular, para el caso eléctrico, definimos el potencial eléctrico del punto A al punto B, como el trabajo realizado para trasladar una carga positiva unitaria q de un punto a otro, desde B hasta A”. (Universidad Michoacana de San Nicolas, 2013)

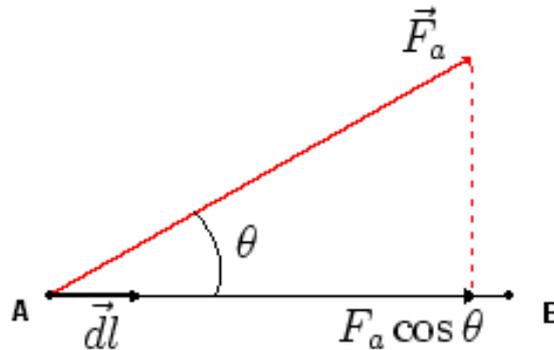
$$W \int_A^B F \cdot x \cos \varphi \, dl = -q \int_A^B E \cdot x \cos \varphi \quad (14)$$

La variación de distancia es mutua r entre las dos cargas cuando q se desplaza a lo largo de dl sustituyendo esta expresión y la E que nos da la ley de Coulomb tenemos.

$$W = \frac{q \cdot Q}{4\pi\epsilon_0} \int_A^B \frac{1}{r^2} dr = \frac{q \cdot Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_a} \right) \quad (15)$$

Mediante esta ecuación demostramos que el trabajo necesario para mover q desde A hasta B es independiente del camino escogido y depende de las posiciones desde A hasta B.

Figura 4. Potencial eléctrico



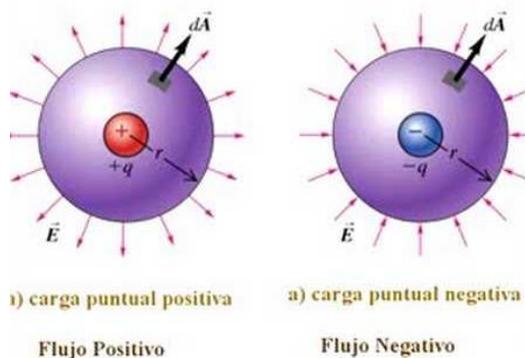
Fuente. <https://tecnoatocha.wordpress.com/trabajo-y-energia/>

2.3.1 Ley de Gauss. Es una propiedad del campo eléctrico donde el flujo del campo eléctrico en una superficie cerrada que pasa a través de ella es proporcional a la cantidad de carga que se encuentran encerradas y se determina con la siguiente ecuación.

$$W = \frac{q \cdot Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_a} \right) \quad (16)$$

El flujo del campo dependerá de la carga si negativa será un flujo hacia el interior y si es positiva será un flujo hacia el exterior.

Figura 5. Ley de Gauss



Fuente. [Http://i.ytimg.com/vi/16RpS2OjH9s/hqdefault.jpg](http://i.ytimg.com/vi/16RpS2OjH9s/hqdefault.jpg)

2.3.2 El campo magnético. El campo magnético B es producido por que se ejercen fuerzas sobre los cuerpos es una magnitud vectorial al igual que el campo eléctrico pero el campo magnético no ejerce ningún efecto sobre las cargas en reposo. Puede estar producido por una carga en movimiento o por un conjunto de cargas en movimiento, es decir, por una corriente eléctrica.

El tesla es una unidad muy grande, por lo que a veces se emplea como unidad de campo magnético el gauss (G), aunque no pertenece al Sistema Internacional sino al sistema CGS, tiene un valor más acorde con el orden de magnitud de los campos magnéticos que habitualmente se manejan.

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} * \frac{(q * \vec{v}) \vec{u}_r}{r^2} \quad (17)$$

Dónde:

q = carga creadora del campo

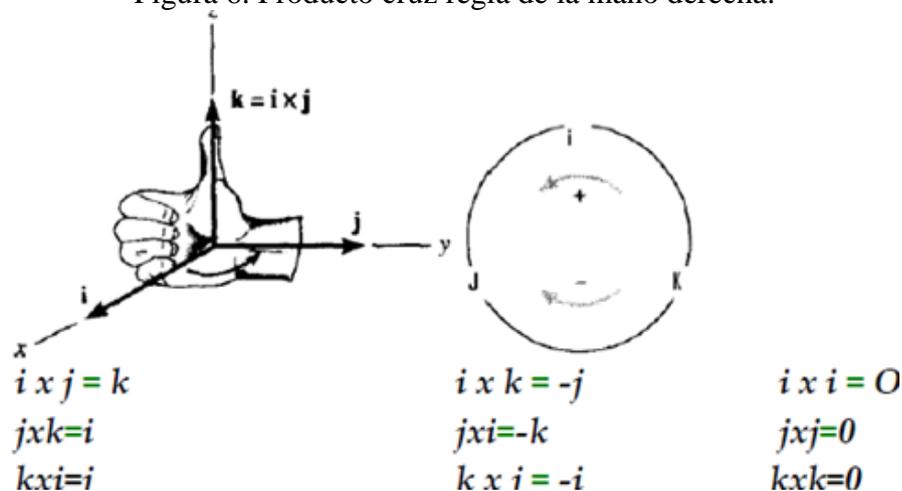
v = velocidad de dicha carga

r = distancia desde el punto donde se encuentra la carga hasta el punto P donde se está calculando el campo.

u_r = vector unitario que va desde el punto donde se encuentra la carga hacia el punto donde se calcula el campo

μ_0 = permeabilidad del espacio; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T m/A}$ (Universidad de Vigo, 2012)

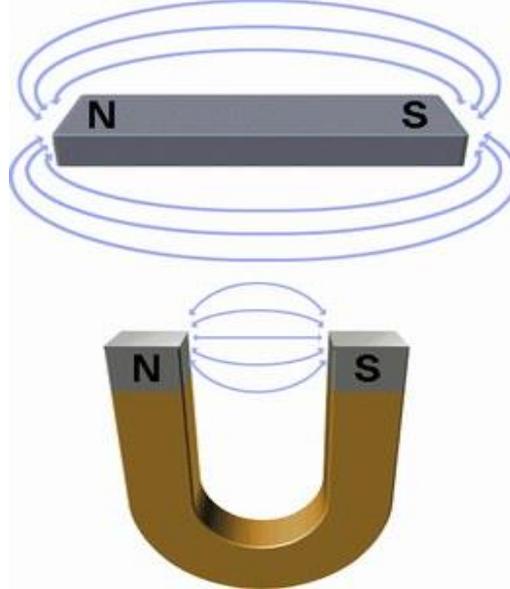
Figura 6. Producto cruz regla de la mano derecha.



Fuente: http://www.fismec.com/escalaresyvectores_cantidadesvectoriales_metodosanaliticos

2.3.3 Fuerzas magnéticas. Las fuerzas magnéticas son fuerzas de acción que actúan a distancia, es decir, se producen sin la necesidad que exista contacto físico entre los imanes.

Figura 7 .Fuerzas magnéticas.



Fuente. http://imblog.aufeminin.com/blog/D20090219/373541_118400215_norte-sur_H195450_L.jpg

La intensidad de la fuerza magnética de interacción entre imanes disminuye con el cuadrado de su distancia que se representa con la siguiente ecuación.

$$F_m \cong \frac{1}{r^2} \quad (18)$$

Dónde:

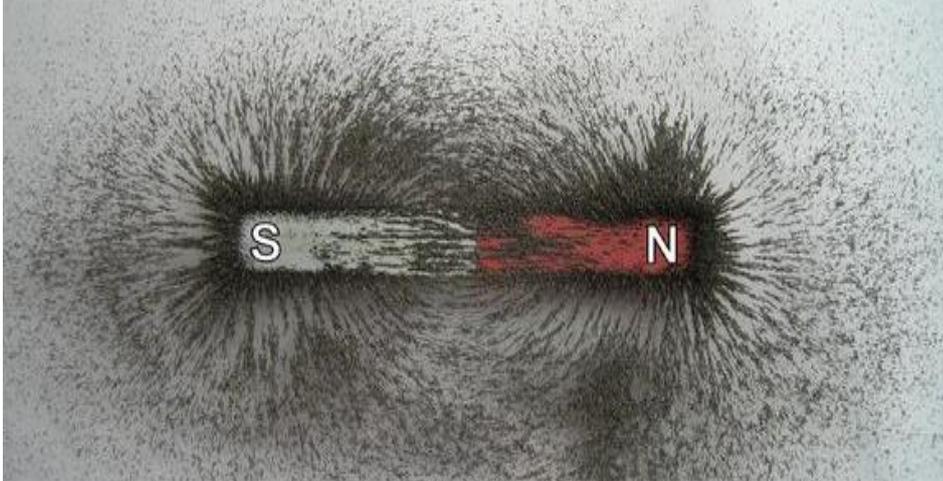
F_m = representa la fuerza magnética,

r =la distancia

2.3.4 Espectros magnéticos. “Se denomina espectro electromagnético a la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas. Referido a un objeto se denomina espectro electromagnético o simplemente espectro a la radiación electromagnética que emite (espectro de emisión) o absorbe (espectro de absorción) una sustancia. Dicha radiación sirve para identificar la sustancia de manera análoga a una huella dactilar.

Los espectros se pueden observar mediante espectroscopios que, además de permitir ver el espectro, permiten realizar medidas sobre el mismo, como son la longitud de onda, la frecuencia y la intensidad de la radiación”. (Wikipedia, 2003)

Figura 8. Campo magnético.

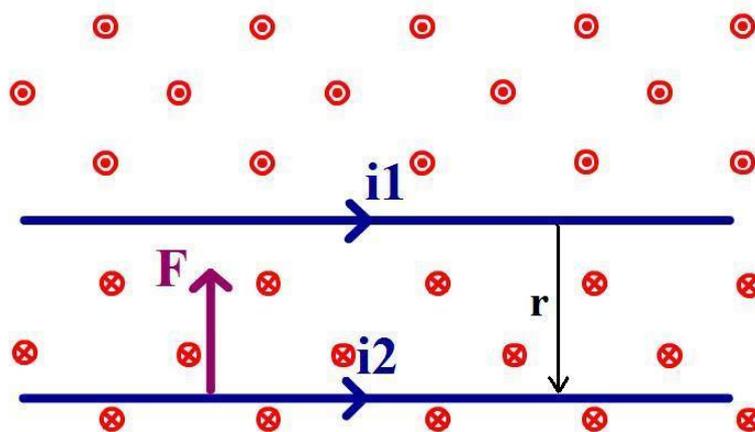


Fuente. http://magnetismoyelectricidad.wikispaces.com/file/view/campo_magnetico.jpg/264975854/575x348/campo_magnetico.jpg

2.4 Fuerza magnética entre dos elementos de corriente.

“Las corrientes eléctricas que circulan por hilos conductores próximos ejercen una influencia mutua de origen magnético que modifica sus magnitudes y propiedades”. (Universidades e Investigación del Gobierno Vasco, 2011)

Figura 9. . Fuerza de atracción entre dos hilos paralelos con corrientes del mismo sentido.



Fuente. <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQkueFK9mLEY2o7KooaqP4atQ5NkzcEVO0K2RxbG3C6b6T0E9qLDQ>

Ampere fue el primero en experimentar este fenómeno con por primera con un experimento que consistía en colocar dos hilos de alambre y posteriormente cargarlos ya sea de electrones o protones llegando a dos conclusiones.

- Corrientes del mismo sentido, los conductores se atraen entre sí.
- Corrientes en sentido, los conductores se repelen y se alejan uno de otro.

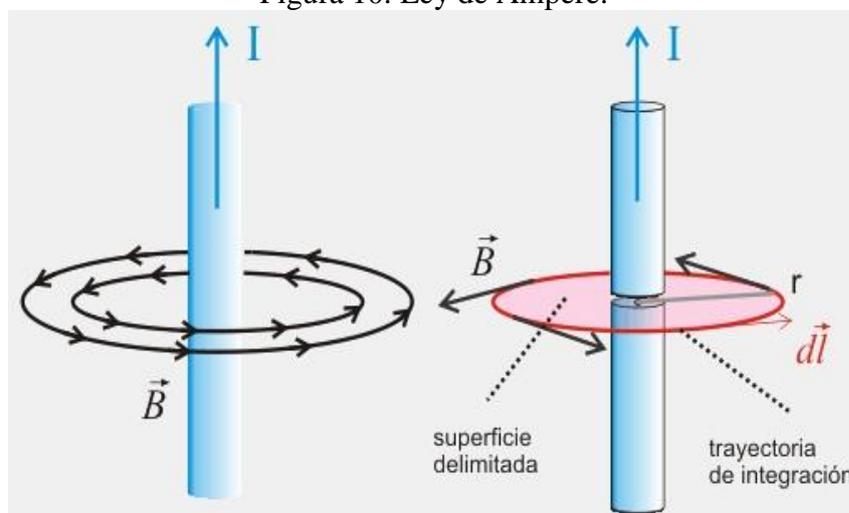
La permeabilidad en el espacio es en el sistema mks:

$$\mu_0 = 4\pi * 10^{-7} \text{ Wb/A-m} \quad (19)$$

Esta expresión no contiene el campo magnético. Pero en electrostática y en magnetismo se introducen los campos para simplificar.

2.4.1 Ley de Ampere. “El campo magnético en el espacio alrededor de una corriente eléctrica, es proporcional a la corriente eléctrica que constituye su fuente, de la misma forma que el campo eléctrico en el espacio alrededor de una carga, es proporcional a esa carga que constituye su fuente. La ley de Ampere establece que para cualquier trayecto de bucle cerrado, la suma de los elementos de longitud multiplicada por el campo magnético en la dirección de esos elementos de longitud, es igual a la permeabilidad multiplicada por la corriente eléctrica encerrada en ese bucle”. (M Olmo R Nave, 2010)

Figura 10. Ley de Ampere.



http://electromagnetismotest.wikispaces.com/file/view/de_la_ley_de_ampere.jpg/230830696/de_la_ley_de_ampere.jpg

La ecuación de la ley de Ampere es la siguiente:

$$\oint_C \vec{B} * d\vec{l} = \mu_0 * i \quad (20)$$

Dónde:

\vec{B} = Campo magnético

$d\vec{l}$ = Diferencial de longitud

μ_0 = Permeabilidad en el espacio

i = Intensidad

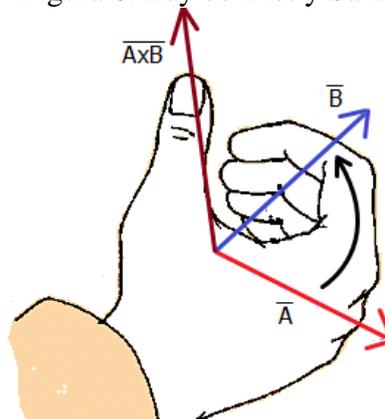
2.5 Ley de Biot y Savart

Cuando se formulan en función del campo de inducción magnética los experimentos sobre la fuerza entre dos circuitos de corriente, pueden explicarse los resultados experimentales si se admiten en cada elemento de corriente ($i \times dl$) da lugar a una contribución al campo de inducción magnética.

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} * \frac{i dL * r}{r^2} \quad (21)$$

Donde r es un vector unitario, que tiene de modúló unidad, dirección y sentido la de la línea trazada desde el elemento de corriente al punto en el que se está calculando dB . Esta es la ley de Biot y Savart. En el sistema mks la unidad de B es el weber por metro cuadrado. (Kip, 1967 págs. 129-130)

Figura 6. Ley de Biot y Savart



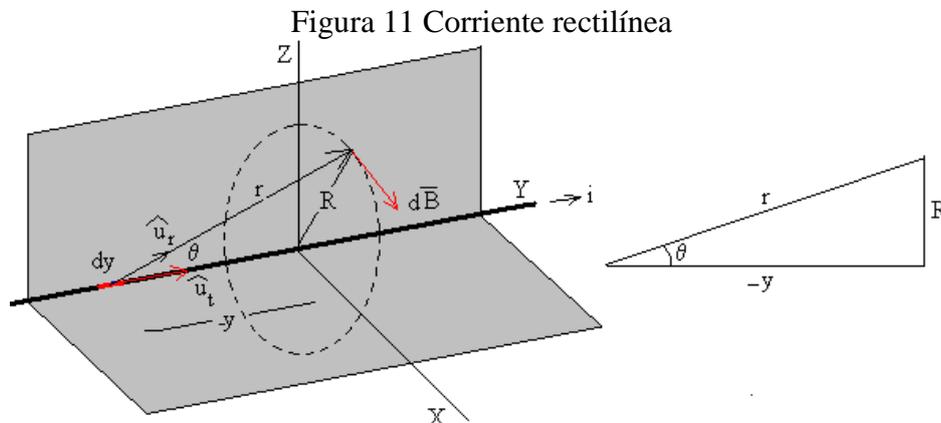
Fuente. Fundamentos de Electricidad y Magnetismo pág. 130

Las líneas de la inducción magnética son continuas en el espacio, su dirección es la del campo eléctrico y su densidad la intensidad del mismo. Sin embargo, existe gran diferencia entre las configuraciones del campo eléctrico y del magnético es un aspecto. Las líneas magnéticas no tienen fuente (como ocurre en el caso del campo eléctrico, en el que son cargas), sino continuas y se cierran sobre sí mismas. Esto puede comprobarse examinando las ecuaciones.

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} * \frac{i dl * r}{r^2} \quad (22)$$

2.5.1 Ley de Ampere aplicada a una corriente rectilínea. “El campo magnético B producido por el hilo rectilíneo en el punto P tiene una dirección que es perpendicular al plano formado por la corriente rectilínea y el punto P, y sentido el que resulta de la aplicación de la regla de la mano derecha al producto vectorial ($u_t \times u_r$).

Para calcular el módulo de dicho campo es necesario realizar una integración”. (Garcia, 2013)



Fuente, http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica_/elecsmagnet/campo_magnetico/ampere/ampere1.gif

Ecuación de Ley de Biot y Savart:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} * \frac{i dL * r}{r^2} \quad (23)$$

Interacción de la ecuación:

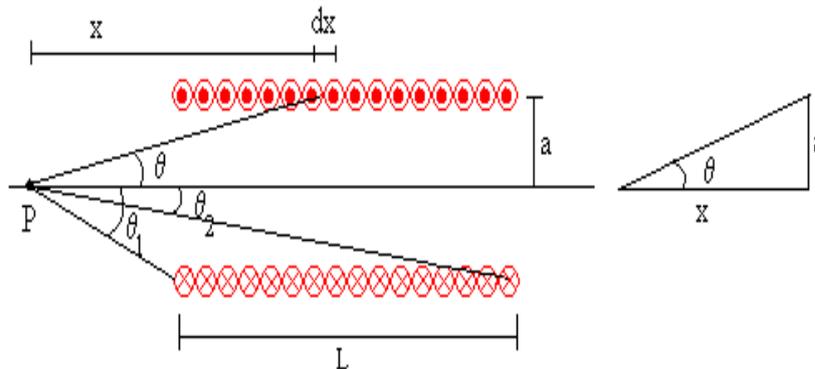
$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} * \int_0^{\infty} \frac{\sin \theta}{r^2} dy$$

Ecuación en función del diferencial del ángulo:

$$B = \frac{i * u_0}{4\pi R} * \int_0^\pi \frac{\sin \theta}{.} d\theta \quad (24)$$

2.5.2 Ley de ampere aplicada a un solenoide. Para el cálculo de campo magnético en un solenoide de n vuelta en un punto P del eje procedemos con la siguiente ecuación.

Figura 12. Solenoide



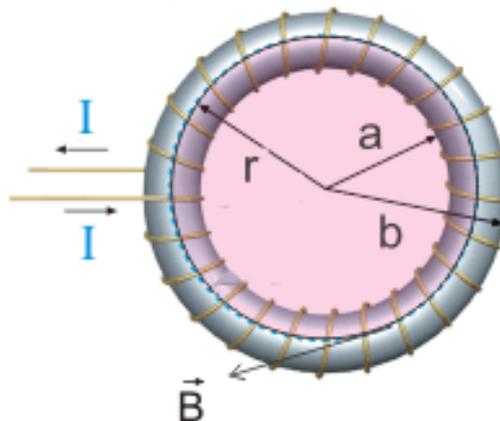
Fuente, <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/magnetico/solenoide.gif>

Ecuación para realizar en cálculo del campo.

$$B = \frac{u_0 * i * a^2}{(\sqrt{a^2 + x^2})^3}; B = \frac{u_0 * i * n}{L} \quad (25)$$

2.5.3 Ley de ampere aplicada a un toroide. Elegimos como camino cerrado una circunferencia de radio r, cuyo centro está en el eje del toroide.

Figura 13. Toroide



Fuente, <http://2.bp.blogspot.com/-1jtle9PJX3s/USYNYUYV-qI/AAAAAAAAADLs/Wr9GFzJRmNs/s1600/toroide.gif>

Calculamos el campo magnético con la siguiente ecuación.

$$\oint B dl = \oint B dl \cos 0 \quad (26)$$

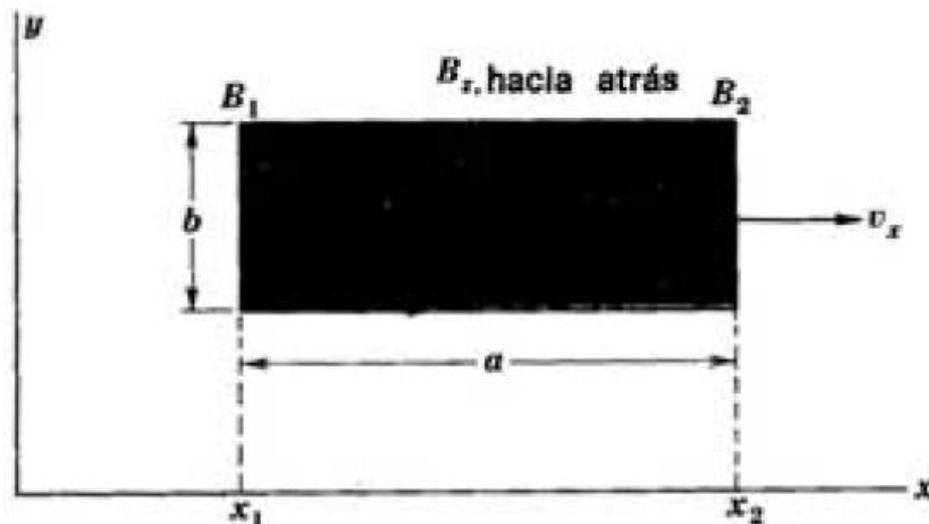
$$l = B 2 \pi \quad (27)$$

2.6 Electromotriz inducida - Autoinducción.

2.6.1 Fuerza electromotriz debido al movimiento. FEM es la energía de cualquier fuente de alimentación que debe ser capaz de mantener un diferencial de potencial en dos puntos del circuito abierto o también ser producir corriente eléctrica en un circuito cerrado.

La fuerza electromotriz es una característica de los generadores eléctricos en general y la unidad de medida es el voltio en modelo matemático de la fuerza electromotriz es menor a la del generador, el trabajo del generador para pasar una carga positiva del polo negativo al polo positivo dividido por el culombio de la carga.

Figura 14. Movimiento en un campo magnético produce una corriente en la espira conductora



Fuente. Fundamentos de Electricidad y Magnetismo pág. 196

En la figura se ha dibujado un caso sencillo, el de una espira rectangular conductora que se mueve hacia la derecha en un campo que es perpendicular al plano de la espira y que varía únicamente a lo largo del eje x .

Vamos a calcular r ahora la fuerza de origen magnético ejercida sobre una carga q , situada en una posición fija respecto a la espira.

La Ecuación (26) Nos da esta fuerza, F dirigida hacia la parte positiva del eje y si q es positiva, B es la inducción magnética hacia adentro del papel y v_x la velocidad con la que se mueve la espira en la dirección x . esta fuerza actuara sobre todas las cargas existentes en el hilo y realizara trabajo sobre aquella que puede moverse verticalmente por los lados de la espira.

Solo necesitamos tomar en cuenta estos lados verticales, puesto que en los horizontales la fuerza de origen magnético es perpendicular, y no puede realizar trabajo sobre cargas que se mueven a lo largo de ellos. La FEM que aparecerá en la espira puede hallarse calculando el trabajo por unidad de carga realizando por las fuerzas magnéticas al recorrer una carga toda realizando por las fuerzas magnéticas al recorrer una carga toda la espira.

De acuerdo con nuestro convenio anterior, de considerar positiva una corriente que circule por la espira en sentido anti horario, tomaremos las fuerzas que tengan este sentido como positivas, mientras que la fuerza F_1 aunque dirigida igualmente hacia arriba, es negativa. La fuerza magnética neta en toda la espira es, pues, $F_2.F_1$.

Para aclarar la situación, supongamos que el valor B_2 del campo en el derecho de la espira es mayor que su valor B_1 en el de la izquierda. La fuerza neta entonces es en sentido anti horario, o sea, positiva". (Kip, 1967 págs. 194-197)

El trabajo realizado por las fuerzas magnéticas al hacer recorrer a una carga q la espira queda dado por:

$$F = q * v_x * B_z \quad (28)$$

$$W = \oint F * dl = (F_2 - F_1)b = -q \frac{d\phi}{dt} \quad (29)$$

En la que $\frac{d\phi}{dt}$ es la derivada respecto al tiempo del flujo de inducción magnética abrazada por la espira. Este resultado se deduce del hecho de que $B_2 dx$, representa el aumento de flujo en el tiempo dt correspondiente al lado derecho:

$$Bb v_x = B \frac{dx}{dt} \quad (30)$$

De la espira, mientras que $B_1 dx$ es la disminución de flujo correspondiente al lado izquierdo en el mismo tiempo.

La variación neta de flujo a través de la espira con el tiempo es:

$$(B_2 - B_1)V_{xb} = \frac{d\phi}{dt}, \quad (31)$$

El signo negativo procede del hecho que hemos elegido B en la dirección negativa (hacia dentro del papel, o sea alejándose del observador).

A medida que la espira se mueve hacia la derecha aumenta el valor de flujo negativo.

Si dividimos la ecuación por q, tenemos la fem:

$$\frac{w}{q} = \varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} \quad (32)$$

Esta FEM arrastrara las cargas alrededor de la espira exactamente igual que la de una pila. Por lo tanto, si la resistencia de la espira es R la corriente estará dada por:

$$\varepsilon = i * R. \quad (33)$$

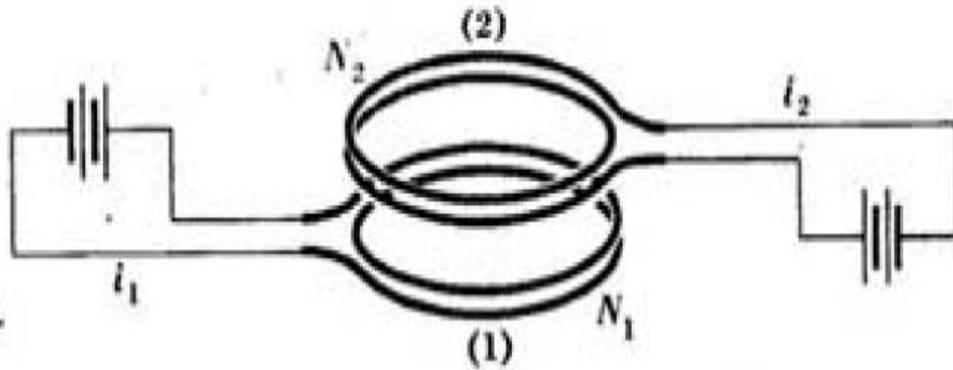
Cuando una espira se mueve en una región en la que la inducción magnética varía de un punto a otro aparece una FEM que puede expresarse en función de la velocidad de variación del flujo magnético abrazado por la espira. (Kip, 1967 págs. 198-199)

2.6.2 Inductancia mutua. El estudio de la interacción entre dos circuitos debida al flujo magnético que los enlaza. Este flujo común, en combinación con la ley de Faraday, determinan que los cambios en uno de los circuitos afecten al otro.

Vamos a expresar esta interacción en función de la inductancia mutua de los dos circuitos. La energía asociada al hecho de aproximar dos circuitos.

En la figura se han dibujado dos bobinas, por las que pasan corriente i_1 e i_2 y tienen N_1 y N_2 espiras, respectivamente.

Figura 15. Inductancia mutua entre dos circuitos.



Fuente. Fundamentos de Electricidad y Magnetismo pág.204

Inicialmente las dos bobinas están muy separadas y vamos a determinar la cantidad de trabajo exterior que debe realizarse para llevar la bobina 1 a las proximidades de la bobina 2.

$$dW = -N_1 * i_1 * d\varphi_{12} \quad (34)$$

Donde $d\varphi_{12}$ es el flujo adicional que atraviesa la bobina 1, cuando las dos se aproximan, debido a la corriente que pasa por la 2. El trabajo mecánico total realizado al aproximar las bobinas desde una distancia muy grande es:

$$W = \int_{\infty}^{posicion\ final} dW = -N_1 * i_1 \int_{\infty}^{posicion\ final} d\varphi_{12} = -N_1 * i_1 * \varphi_{12} \quad (35)$$

Podríamos haber alcanzado igualmente bien el estado final, manteniendo fija la bobina 1 y acercando la 2 desde el infinito. Esto nos daría:

$$W = -N_2 * i_2 * \varphi_{21} \quad (36)$$

Y como los estados finales son equivalentes, independientemente del modo con que se hayan alcanzado, estas energías deben ser iguales, así podemos escribir:

$$N_2 * i_2 * \varphi_{21} = N_1 * i_1 * \varphi_{12} \quad (36)$$

Se denomina inductancia mutua M entre las dos bobinas al valor de esas razones. La magnitud $N_1 * i_1 * \varphi_{12}$ se denomina flujo enlazante en la bobina 1 debido a la corriente

en a bobina 2. Esto es el flujo en 1 debido a la corriente en 2 multiplicando por el número de espiras en 1. Con esta nomenclatura, la inductancia mutua es simplemente el flujo enlazante en una bobina cuando pasa una corriente unidad en la otra. Además, resulta así que, independientemente de la forma geométrica de las bobinas, $M_{12} = M_{21}$ son respectivamente:

$$M_{21} = \frac{N_2 * \varphi_{21}}{i_1} \quad (37)$$

Tienen el mismo valor.

Vamos a emplear ahora el concepto de inductancia mutua entre dos bobinas para calcular el efecto de un cambio en la corriente de una de ellas sobre la corriente que circula por la otra. Supongamos que se mantiene fijas en el espacio las bobinas de la figura y que se cambia, por ejemplo, la corriente en la bobina 2, el resultado es una FEM inducida en la bobina 1 cuyo valor es:

$$E_1 = N_1 \frac{d\varphi_{12}}{dt} \quad (38)$$

Como:

$$\varphi_{12} = \frac{M * i_2}{N_1} \quad (39)$$

Podemos diferenciar esta ecuación para calcular la variación de φ_{12} cuando se cambia i_2 , obteniendo.

$$d\varphi_{12} = \frac{M * d i_2}{N_1} \quad (40)$$

Y al sustituir en la anterior, tenemos:

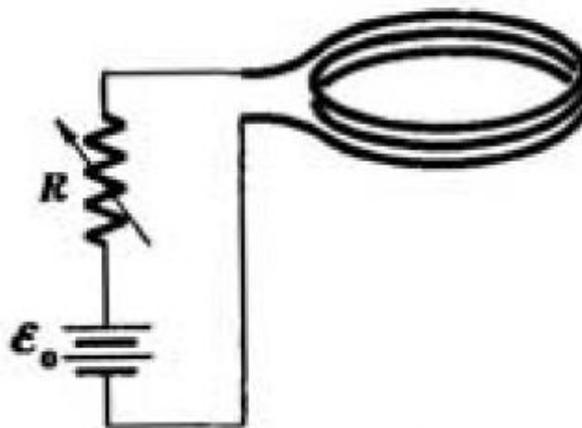
$$E_1 = -M \frac{d i_2}{dt} \quad \text{Voltios} \quad (41)$$

“La unidad de inductancia mutua en los sistemas de unidades mks es el Henry, así se llamada en honor del científico americano Joseph Henry, que desarrollo el concepto de

inductancia casi simultáneamente con Faraday. La inductancia mutua en unidad cuando el cambio de 1 amperio/segundo en una bobina, induce una FEM de 1 voltio en la otra. Por lo tanto, un Henry equivale a un voltio - segundo por ampere”. (Kip, 1967 págs. 204-206)

2.6.3 Autoinducción. Si se hace cambiar la corriente que pasa por la bobina variando la resistencia el flujo que atraviesa la bobina cambian y aparece la consiguiente FEM inducida en ella.

Figura 16. Autoinducción de un circuito



Fuente. Fuente. Fundamentos de Electricidad y Magnetismo pág.206

Por analogía con la definición de inductancia mutua, podemos definir la autoinducción L según:

$$L = \frac{N_1 \phi_{11}}{i_1} \quad (42)$$

Siendo ϕ_{11} el flujo en la bobina debido a su propia corriente de modo que la autoinducción es el flujo enlazante en un circuito cuando pasa por él una corriente unidad.

Como antes, para la FEM inducida por la corriente variable, obtenemos:

$$\epsilon_1 = \frac{N_1 d\phi_{11}}{dt}$$

Luego:

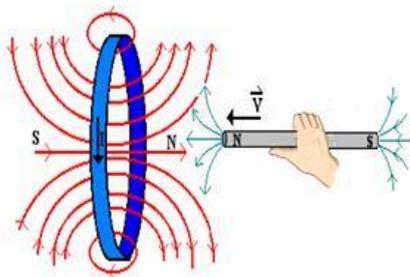
$$\epsilon_1 = -L \frac{di_1}{dt} \text{ Voltios} \quad (43)$$

Un circuito completo constituye, por lo menos, una espira que es se hace muy pequeña el flujo enlazante también lo será y la autoinducción resultara pequeña atravesada por un cierto flujo cuando pasa la corriente. Sim embargo, si el área de la espira

2.7 Ley de Faraday.

“En 1831 Michael Faraday realizó importantes descubrimientos que probaban que efectivamente un campo magnético puede producir una corriente eléctrica, pero siempre que algo estuviera variando en el tiempo”. (Universidad de Sevilla, 2013)

Figura 17. Ley de Faraday.



Fuente. <http://docencia.udea.edu.co/regionalizacion/irs-404/imagenes/capitulo10/image052.jpg>

Las observaciones de Faraday le llevaron a deducir que:

- “Aparece corriente inducida cuando hay movimiento relativo entre el inductor (bobina con corriente o imán) y el inducido (circuito en que aparece la corriente).
- Cuanto más rápido es el movimiento, mayor es la corriente inducida.
- Cuantas más espiras tenga la bobina del inducido, mayor es la intensidad de corriente inducida.
- La corriente inducida cambia al cambiar el sentido del movimiento”. (Catedu, 2003)

“No es imprescindible que haya movimiento. Faraday mostró que si arrollan dos bobinas alrededor de un núcleo de hierro, si por una de ellas (el “primario”) circula una corriente continua, en la otra (el “secundario”) no hay corriente alguna.

Sin embargo, justo tras el cierre del interruptor, cuando la corriente del primario cambia en el tiempo, se induce una corriente en el secundario.

Asimismo, tras la apertura del interruptor también aparece una corriente en el secundario, pero de sentido contrario a la anterior”. (Universidad de Sevilla, 2013)

“La ley de Faraday es una relación fundamental basada en las ecuaciones de Maxwell. Sirve como un sumario abreviado de las formas en que se puede generar un voltaje, por medio del cambio del entorno magnético.

La FEM inducida en una bobina es igual al negativo de la tasa de cambio del flujo magnético multiplicado por el número de vueltas (espiras) de la bobina. Implica la interacción de la carga con el campo magnético” (HyperPhysics, 2010)

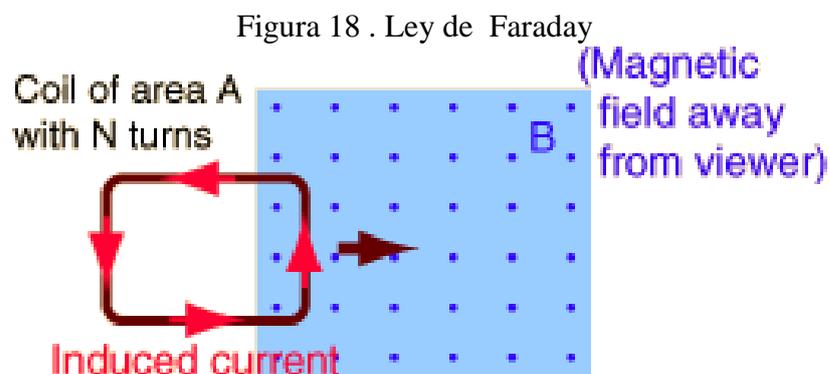
Formula de la ley de Faraday:

$$Emf = N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad (44)$$

Dónde:

$\Delta\phi$ = Angulo de la línea de acción del campo

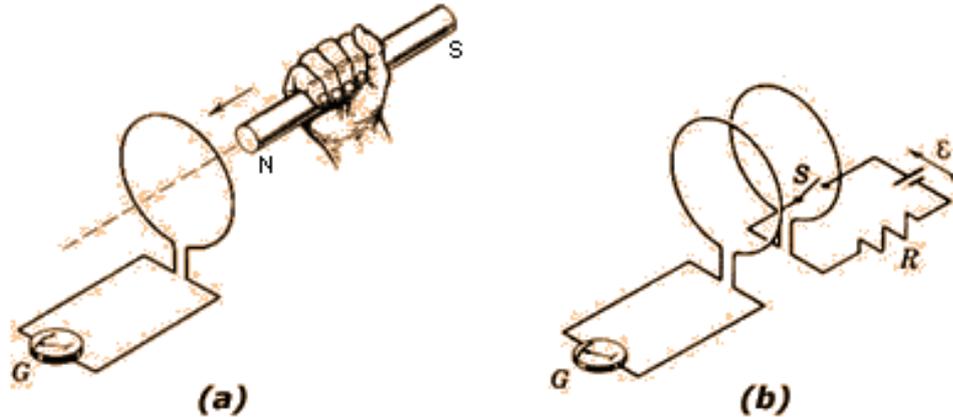
N = número e vueltas



Fuente. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/electric/imgele/fday.gif>

2.7.1 Ley de la inducción de Faraday. Otro aporte más de Faraday es la ley de la inducción que se basó en un experimento donde se observa en cambio en el flujo.

Figura 19 .FEM inducida - Ley de Faraday



Fuente. http://www.espacial.org/images/gif/faraday_exper.gif

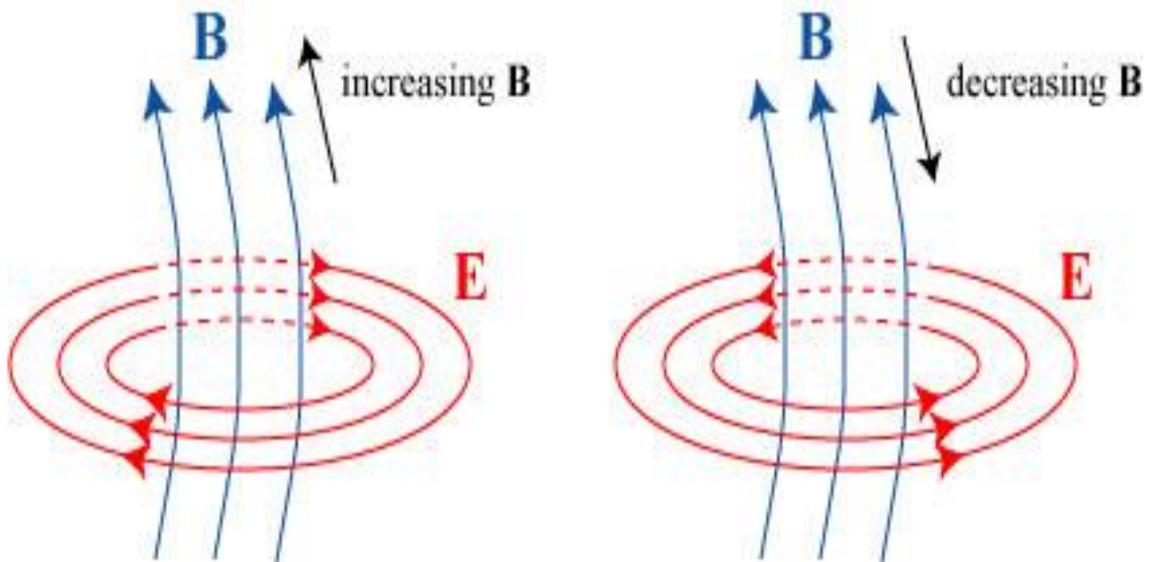
“La figura puede verse una bobina con un gramómetro en serie, colocada sobre otra espira cuando el imán se mueve hacia la espira (figura 19a), la aguja del galvanómetro defleca en una dirección mostrando la presencia de una corriente eléctrica. Si el imán se mueve alejándose del conductor (figura 19b) entonces la aguja del galvanómetro defleca en sentido contrario, es decir la corriente se invierte. Si el movimiento entre ambos cuerpos es inverso, esto es, si es la espira la que se mueve alejándose o acercándose al imán fijo, la aguja del galvanómetro también defleca en una u otra dirección según el caso”. (Sabelotodo, 2013)

La característica esencial de la variación de flujo magnético a través de cualquier superficie es que induce un campo eléctrico no electrostático en el contorno que delimita esta área. Las líneas de campo son cerradas y el campo eléctrico inducido es un campo no conservativo 2; la FEM inducida está definida como la circulación de este campo a lo largo del contorno:

$$\varepsilon = \oint_C E \cdot dl \quad (45)$$

“El subíndice C en la integral indica que el producto escalar del integrando se realiza en los puntos pertenecientes al contorno, y el círculo que rodea la integral simboliza que ésta se calcula sobre el contorno completo”. (J., c.a 2010)

Figura 20. Campo eléctrico inducido por un campo magnético variable.



Fuente. <http://laplace.us.es/wiki/images/7/7f/CampoE-inducido.jpg>

La ley de Faraday puede escribirse como una relación integral entre los campos eléctrico y magnético a partir de las definiciones de flujo y FEM. La superficie S a través de la que calculamos el flujo es una superficie delimitada por el contorno C donde se calcula la f.e.m.

$$\varepsilon = \oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} \quad (46)$$

“El flujo de un campo vectorial a través de un área es una cantidad escalar que puede ser positiva o negativa, y ello depende de la orientación relativa de los vectores campo y superficie.

A veces existe un criterio claro para determinar el sentido positivo de uno de ellos.

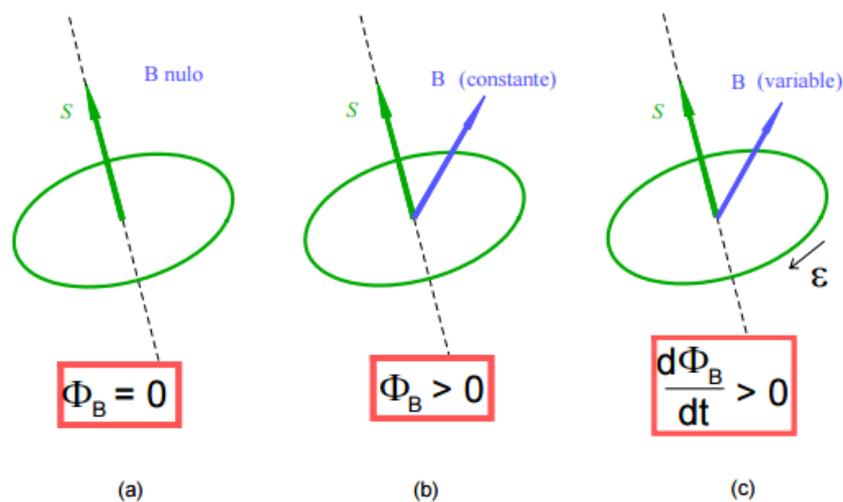
Por ejemplo, cuando se define el flujo del campo eléctrico en conexión con el teorema de Gauss, siempre tratamos con superficies cerradas de modo que el vector superficie elemental en cada punto está dirigido en sentido saliente, y en consecuencia el signo del flujo dependerá exclusivamente del sentido de las líneas de campo.

Sin embargo, cuando tratamos con el flujo magnético consideramos superficies no cerradas y por eso no puede hablarse sin ambigüedad de sentido entrante o saliente”. (J., c.a 2010)

2.7.2 Ley de la mano derecha. “La regla de la mano derecha o del sacacorchos es un método para determinar direcciones vectoriales, y tiene como base los planos cartesianos. Se emplea prácticamente en dos maneras; para direcciones y movimientos vectoriales lineales, para movimientos y direcciones rotacionales” (Wikipedia, 2015)

Para deducir el sentido de la FEM inducida en un ejemplo sencillo nos remitimos a la figura siguiente. Supongamos que hemos escogido como sentido positivo para el vector superficie el de la figura”. (J., c.a 2010)

Figura 21. Ley de la mano derecha.



Fuente. https://www.uclm.es/profesorado/ajbarbero/Teoria/Leccion_Induccion_Electromagnetica.pdf

Figura (21 a), Esto significa que para nosotros un giro anti horario es positivo. Sea la dirección del campo magnético la que aparece en la figura.

Figura (21 b), Formando un ángulo menor que 90° con S . El flujo magnético es entonces positivo, pues el producto escalar $B \cdot S$ es positivo. Supongamos ahora que el campo B aumenta su módulo con el tiempo sin variar su dirección. Tal aumento implica que la derivada del flujo respecto al tiempo es positiva. Y de acuerdo con la ley de Faraday, esto produce una FEM negativa.

Figura (21 c), En ella se ha representado la FEM mediante una flecha en sentido horario para ilustrar el razonamiento cualitativo, pero no ha de olvidarse que la FEM es una magnitud escalar: en realidad dibujando el sentido del vector campo eléctrico inducido”. (J., c.a 2010)

2.8 Ley de Lenz

Faraday explica por qué se producen las corrientes inducidas, pero no determina la dirección de estas. Es aquí donde entra la aportación de Heinrich Friedrich Lenz. Lenz siguió indagando en las corrientes inducidas descubiertas por Faraday y enunció la ley que lleva su nombre:

“El sentido de la corriente inducida es tal que se opone siempre a la causa que la ha producido”. (Universidad de Vigo, 2012)

La ley de Faraday en forma matemática.

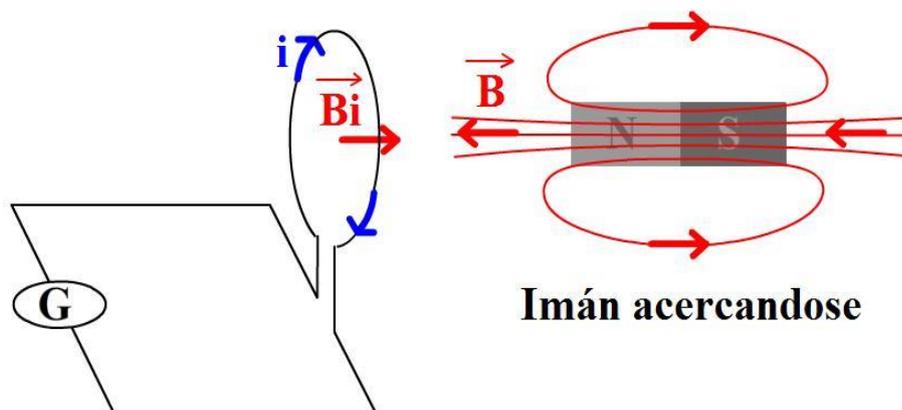
$$E = - \frac{d\phi}{dt} \Rightarrow \mathcal{E} = \frac{l}{R} \frac{d\phi}{dt} \quad (47)$$

Teniendo en cuenta la Ley de Lenz, es fácil deducir el sentido de la corriente en las experiencias de Faraday.

Primera experiencia de Faraday:

Al acercar el polo norte del imán, las líneas de campo que atraviesan la superficie de la espira aumentan y con ello el flujo. Por tanto en la espira se inducirán unas corrientes i , tales que contrarresten el aumento de flujo, esto es, dichas corrientes generaran un campo B_i contrario al provocado por el imán para contrarrestar su aumento.

Figura 22. Primera experiencia de Faraday.

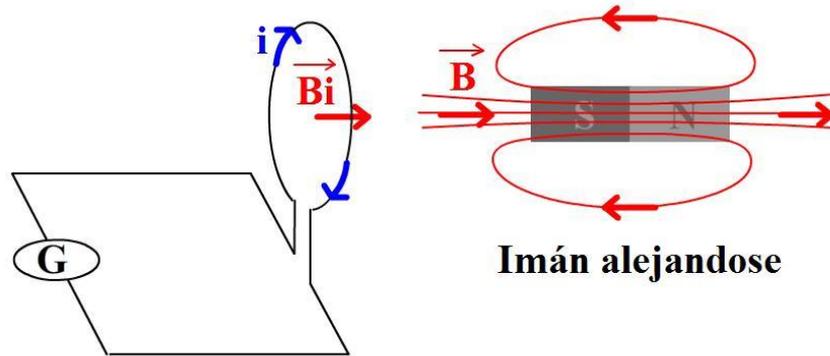


Fuente: http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web_electromagnetismo/electromagnetismo/imagenes/lenz_ley.jpg

Segunda experiencia de Faraday:

Si el flujo de corriente disminuye, se volverá a generar corriente en la espira que constara resten esta disminución.

Figura 23. Segunda experiencia de Faraday

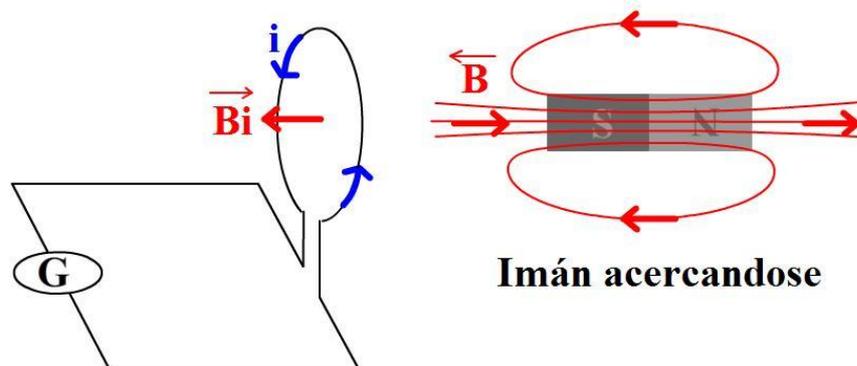


Fuente: http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web_electromagnetismo/electromagnetismo/imagenes/lenz_ley3.jpg

Tercera experiencia de Faraday:

Si el flujo de corriente disminuye entonces en la espira se volverán a generar corrientes que disminuyan este efecto.

Figura 24. Tercera experiencia de Faraday.

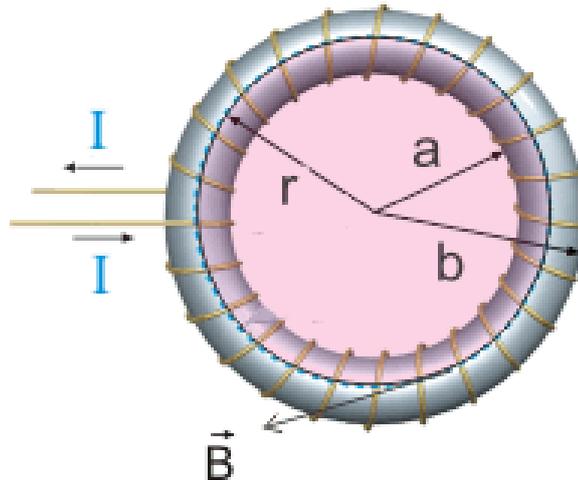


Fuente: http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web_electromagnetismo/electromagnetismo/imagenes/lenz_ley2.jpg

2.9 Toroide.

Un toroide es de geometría de curva plana que se cierra de tal manera que los extremos de esta figura se unan está formado de N vueltas doblado circularmente.

Figura 25. Toroide



Fuente. <http://2.bp.blogspot.com/-1jtle9PJX3s/USYNYUYV-qI/AAAAAAAAADLs/Wr9GFzJRmNs/s1600/toroide.gif>

“La obtención del campo magnético interior de un toroide, es un buen ejemplo del alcance de la ley de Ampere. La corriente encerrada en la línea punteada es exactamente el número de vueltas multiplicado por la corriente en cada bucle. Luego, la ley de Ampere da el campo magnético en la línea central del toroide como la inductancia se puede calcular de manera similar a la empleada para cualquier bobina de cable”. (M Olmo R Nave, ca 2008)

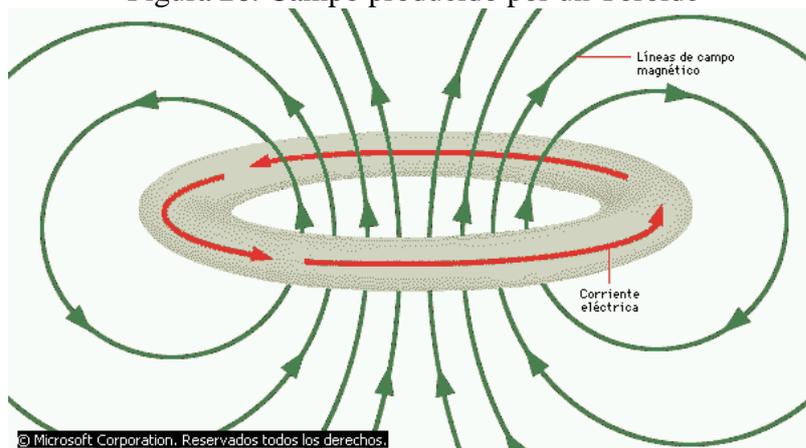
2.9.1 *Campo magnético producido por un toroide.* Aplicamos la ley de Ampere para determinar el campo producido por un toroide de radio medio R.

Si tomamos un solenoide, lo curvamos y pegamos sus extremos obtenemos un anillo o toroide.

Las líneas de campo magnético en el solenoide son segmentos rectos, se transforman en circunferencias concéntricas, el campo magnético es tangente en cada punto a dichas circunferencias el sentido de dicho campo viene determinado por la regla de la mano derecha.

Elegimos como camino cerrado una circunferencia de radio r, cuyo centro está en el eje del toroide y situada en su plano meridiano; el campo magnético B es tangente a la circunferencia de radio r, tiene el mismo módulo en todos los puntos de dicha circunferencia”. (García, ca 2010)

Figura 26. Campo producido por un Toroide

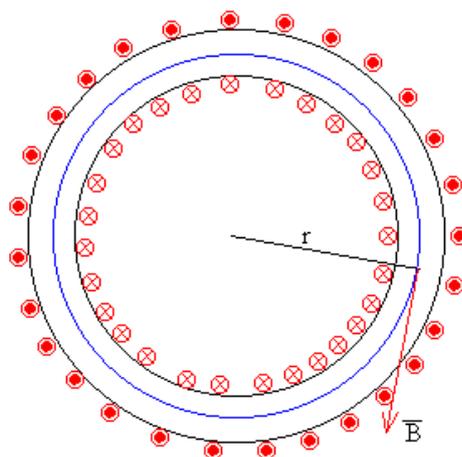


Fuente. <http://html.rincondelvago.com/000136912.png>

2.9.2 *Dentro de una toroide.* “Cada espira del toroide atraviesa una vez el camino cerrado (la circunferencia de color azul de la figura) la intensidad será Ni , siendo N el número de espiras e i la intensidad que circula por cada espira”. (García, ca 2010)

$$B = \frac{\mu_0 Ni}{2\pi r} \quad (48)$$

Figura 27. Dentro del toroide.

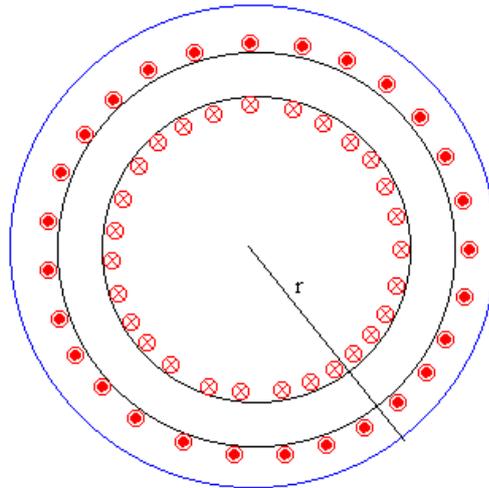


Fuente. <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/magnetico/ampere12.gif>

2.9.3 *Fuera del toroide ($r > r$).* “Cada espira del toroide atraviesa dos veces el camino cerrado (circunferencia de color azul de la figura) transportando intensidades de sentidos opuestos” (García, ca 2010)

La intensidad neta es $Ni - Ni = 0$, y $B = 0$ en todos los puntos del camino cerrado.

Figura 28. Fuera del toroide



Fuente. <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/magnetico/ampere13.gif>

2.10 Materiales Ferromagnéticos

Los materiales ferromagnéticos compuestos básicamente de hierro con aleaciones de cobalto, aluminio, níquel, y entre otros metales que son utilizados en la fabricación de núcleos o máquinas eléctricas.

En los transformadores son utilizados por que maximizan el acoplamiento de los devanados además disminuir la corriente de excitación para una correcta operación de los transformadores.

2.10.1 *Materiales ferromagnéticos para transformadores.* La aleación ferromagnética más utilizada para el diseño de núcleos de transformadores es la aleación hierro-silicio, esta aleación es la producida en mayor cantidad y está compuesta por hierro esencialmente puro con 1-6% de silicio, dependiendo este porcentaje del fin a que se destine el material. Dando a esta aleación un tratamiento térmico adecuado, se obtiene un material que comparado con el hierro, tiene mejores propiedades magnéticas para campos magnéticos débiles, una resistividad mayor y sufren pérdidas totales menores en el núcleo.

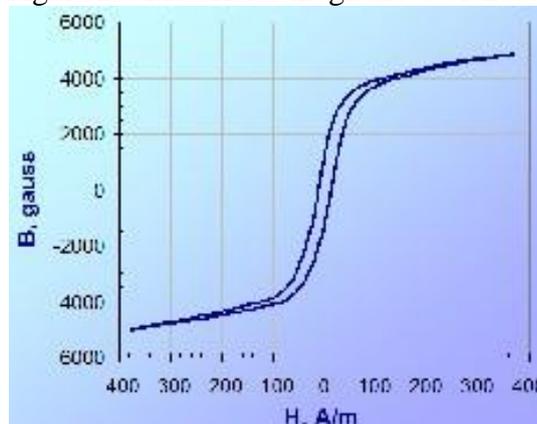
Esta aleación se lamina en chapas y flejes, principalmente de espesores comprendidos entre 0,35 y 0,635 mm recocidos; en el lenguaje corriente se le conoce con el nombre de acero al silicio o chapa magnética.

Las chapas de mejor calidad presentan mayor contenido en silicio, entre el 4 y el 5. El silicio eleva la dureza del material, por lo que su porcentaje se determina según el empleo al que se designa la chapa. Para máquinas rotatorias el límite superior es aproximadamente del 4%, teniendo en cuenta el peligro de la fragilidad. También se prefieren chapas de menor contenido de silicio cuando las densidades de funcionamiento son elevadas o cuando se desea una elevada conductividad calorífica. Las pérdidas en el núcleo y el coeficiente de envejecimiento aumentan al disminuir el contenido de silicio. La fabricación de la chapa magnética ha llegado a estar normalizada en considerable extensión por lo que los datos magnéticos publicados por diversos fabricantes no se diferencian, calidad por calidad, excesivamente”. (Reverté, ca 1981)

2.10.2 Materiales magnéticos blandos. Un material magnético blando es aquel que una vez magnetizado hasta la saturación B_s , si se elimina el campo aplicado H se desmagnetiza con facilidad, es decir, presenta de forma espontánea un valor B_r bajo, que desaparece completamente con valores de H de signo contrario también bajos. Como consecuencia, presentan curvas de histéresis magnética muy estrecha, con bajas pérdidas de energía por ciclo.

Estas características de fácil imantación y desimantación permiten su utilización para construir circuitos magnéticos en aplicaciones con corriente alterna: transformadores, generadores, motores, etc. y también en otras aplicaciones donde el material debe desmagnetizarse con facilidad, como relés, electroimanes, accionamiento de servo válvulas”. (Universitat Politècnica de València, 2013)

Figura 29. Materiales magnéticos blandos.

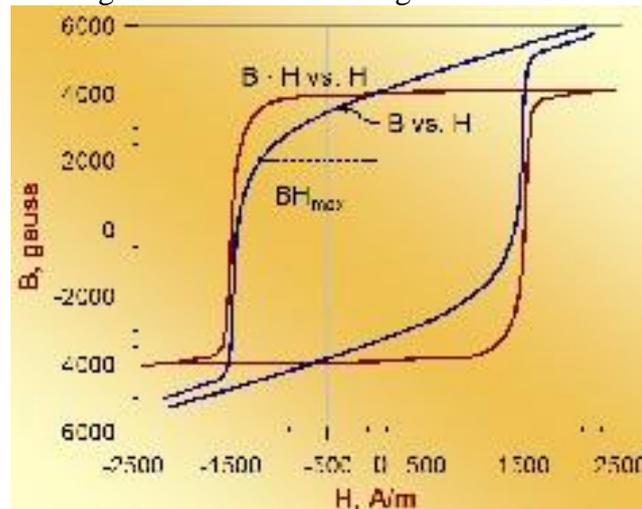


Fuente. http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm10/Imagenes/Fig10_11apeq.jpg

2.10.3 . Materiales magnéticos duros. Una definición simple de material magnético duro es aquel, que una vez magnetizado, se comporta como un imán permanente. Es decir, presenta un alto valor de B_r y resulta difícil de desmagnetar aún en presencia de campos H de sentido contrario grandes, lo que significa que también deben presentar una alta fuerza coercitiva H_c . Este comportamiento se debe a que una vez orientados los dominios tienen grandes dificultades para volver al estado original, con direcciones de sus momentos magnéticos al azar.

Un imán permanente proporciona un campo magnético al exterior, al igual que una bobina por la que circula corriente. Gracias a ello, se emplean en la construcción de motores eléctricos y generadores de corriente continua. Las aplicaciones electrónicas incluyen imanes para auriculares, altavoces, timbres de teléfonos”. (Universitat Politècnica de València, 2013)

Figura 30. Materiales magnéticos duros.



Fuente. http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm10/Imagenes/Fig10_11bpeq.jpg

CAPÍTULO III.

3. Diseño del modelo

Diseñar cada uno de los circuitos que se adaptaran al modelo de recarga inductiva.

3.1 Baterías de base Níquel.

Las baterías de base níqueles más importantes son las de siguientes:

- Níquel-hidruro metálico (Ni-MH)
- Níquel cadmio (Ni-Cd)
- Níquel-zinc

De este grupo las más viables para aplicaciones varias son:

- Níquel-hidruro metálico (Ni-MH)
- Níquel cadmio (Ni-Cd)

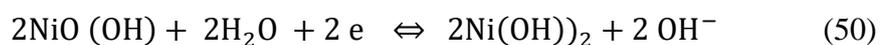
Las baterías de níquel cadmio son una gran alternativa al ser las menos afectadas por el efecto memoria. Qué presentan las demás baterías.

Además posee una capacidad de energía aceptable de 50 Wh / kg lo que representa el doble de una batería de plomo.

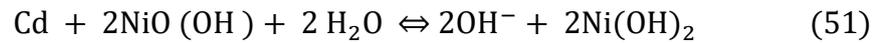
Este tipo de baterías utilizan oxihidroxido de níquel que está situado en el electrodo positivo y el cadmio. Se encuentra en forma metálico en el negativo la fórmula de esta reacción es la siguiente: Ecuación de oxidación.



Ecuación de reducción.



Ecuación de carga y descarga



Además las baterías de base de níquel poseen un alto número de ciclos de vida pueden soportar altos índices de temperatura.

3.2 Parámetros iniciales de carga.

3.2.1 Estado de carga "SOC". Es el estado actual de carga de una batería. Es un valor expresado en porcentaje representado a continuación:

Tabla 1. SOC de batería

Voltaje	% SOC
12	100
6	50
3	25
0	0

Fuente. Autores

Cabe recalcar que el porcentaje mínimo para cualquier batería es de un SOC de 30 % tomando en cuenta que si una batería tiene un valor menor es posible que sufra daños irreparables en el interior de la batería.

Además el SOC de batería es importante para proteger la batería de una sobrecarga cuando esta llega al 100% de su capacidad evitando que temperatura se eleve demasiado dañando los componentes internos de la batería.

3.2.2 Tensión en vacío. Este parámetro no es muy importante ya que solo mide la tensión que una batería tiene entre sus terminales, cuando no se cierra un circuito es decir cuando no está siendo utilizada.

Tabla 2. Tensión en vacío

Tensión de batería en vacío	13.4 V
-----------------------------	--------

Fuente los autores

3.2.3 Tensión de trabajo. Tensión de trabajo o tensión con carga este valor es inferior al de tensión de vacío que depende de la cantidad de intensidad que pase por la batería además disminuye dependiendo de la demanda de intensidad y del tiempo.

Tabla 3. Tensión de trabajo

Tensión de batería con carga	12.4 V
------------------------------	--------

Fuente. Los autores

3.2.4 Profundidad de descarga. El DOD es considerado un complemento del SOC ya que al igual que el SOC este parámetro también nos permite observar el estado de carga de las baterías tomando en cuenta que si el SOC de batería aumenta el DOC tiende bajar así por ejemplo:

Tabla 4.DOD de Batería.

DOC "Ah"	SOC%	Voltaje
VACÍO	100	12,4
	50	6,0
	30	3,6
COMPLETO	0	0

Fuente. Los Autores

El DOD además permite observar que la capacidad de carga de una batería excede de su capacidad máx. Imposible observar mediante el SOC que representaría un valor de 105% de carga superando en 100% de carga total de una batería. Valor por ejemplo una batería de 2 Ah puede llegar a un valor de 2,25 Ah que resulta imposible de detectar mediante el parámetro del SOC.

3.2.5 Resistencia interna. Debido a que una batería no es resistiva sino también capacitiva esto porque no se puede almacenar energía en elementos resistivos sino que deben tener elementos capacitivos para almacenar energía, la batería se podría definir como un capacitor por la capacidad de almacenamiento de energía que poseen.

Este parámetro es afectado por los siguientes aspectos:

- El estado de carga.

- La densidad.
- Capacidad de la celda.
- Temperatura de régimen.
- El desgaste que ha tenido en su vida útil.
- Construcción física de la celda.

La resistencia interna o impedancia sus unidades son los ohmios y esta indica el estado actual de la batería con una sencilla medición entre sus terminales positivo y negativo además se puede calcular este valor con la siguiente ecuación:

$$R_i = \frac{V \text{ en vacío} - V \text{ con carga}}{\text{intecidad de la batería}} \quad (52)$$

$$R_i = \frac{13,4 - 12,6}{2} = 0,4 \text{ ohm}$$

La impedancia calculada determina el envejecimiento de las celdas ya que a medida que pasa el tiempo este valor se incrementa por lo cual pierde la capacidad de almacenamiento de energía.

3.2.6 Capacidad. Es parámetro nos permite saber la cantidad de amperios hora que una batería puede suministrar o recibir desde una fuente externa que voltaje de la batería.

La capacidad de una batería se puede calcular como la integral de la corriente a lo largo de un determinado periodo de tiempo.

$$\text{capacidad} = \int_{t_1}^{t_2} i \, dt \quad (53)$$

Para $t_2=1$ $t_1= 0$

$$\text{capacidad} = 2 \frac{\text{amperios}}{\text{hora}}$$

3.2.7 Auto descarga. El proceso de auto descarga depende de los materiales con los cuales está fabricado las baterías, aun cuando la batería no está siendo utilizado tiende a

perder la cantidad de energía almacenada en su interior a este fenómeno se lo conoce como auto descarga el porcentaje de pérdida también está determinado por el tiempo que la batería esta almacenando la energía.

3.2.8 Eficacia. Este parámetro es la relación que existe entre la energía suministrada y la energía recibida que depende del uso de la batería cuanto más alto sea este parámetro más será su rendimiento además este parámetro es afectado por el tiempo por lo que es importante que una batería tenga una eficacia aceptable.

3.2.9 Temperatura. La temperatura es un factor importante para la carga de la batería del modelo.

La absorción óptima y el voltaje de flotación son inversamente proporcionales a la temperatura. Esto significa que en caso de una carga fija en voltaje, una batería fría no será cargada suficientemente y una batería caliente será sobrecargada.

3.2.10 Sobrecarga. El proceso de sobrecarga se produce por los aspectos descritos a continuación:

- Exceso de corriente.
- Excesivo tiempo de recarga.

Temperatura excesiva, más aún cuando la batería se recarga en ambientes cerrados.

Para evitar un problema por sobrecarga se debe tener un sistema de recarga dependiendo del tipo de batería y aplicación de la misma.

El modelo de recarga inductiva posee un sistema inteligente que detecta cuando el porcentaje de capacidad de batería está en sus niveles máx.

Para evitar que la energía en exceso se transforme en calor y cause posibles daños internos a la batería.

3.3 Carga de batería

El proceso de carga de las baterías comienza cuando existe una diferencia de potencial entre sus bornes tanto positivo como negativo este fenómeno es conocido como FEM.

Para llevar a cabo la carga en el modelo de recarga inductiva es necesario que el voltaje externo supere al voltaje máximo de las baterías para lograr cambiar el sentido de la intensidad y comience a almacenar la energía.

El tipo de carga limitada por el voltaje es un método seguro ya que elimina alteraciones en las lecturas de nivel de carga de las baterías.

El presente sistema de recarga de la batería consta de las siguientes fases que son:

- Fase de carga principal.
- Fase absorción.
- Fase de flotación.

3.3.1 Fase de carga principal. La fase principal comienza cuando la batería se encuentra total o parcialmente descargada considerando que la batería no tenga un SOC menor al 30% ya que si este parámetro es menor la batería puede estar dañada lo que dificultaría la carga de las baterías.

Al comienzo de la carga de las baterías, el voltaje comienza a subir su valor máximo de 12.6 voltios en nuestro caso que se trata de una batería de 12 voltios ideal para nuestro modelo.

Al paso del tiempo el voltaje de las mismas comienza a incrementarse hasta que llega a un primer límite de voltaje donde la primera fase de recarga termina y da paso a la siguiente etapa que se trata de la fase de absorción.

En nuestra primera etapa se trata de alimentar a la batería con la mayor cantidad de corriente que debe ser constante para lo cual se ha diseñado el circuito de carga de las baterías considerando este aspecto importante.

Para el presente circuito de recarga de baterías se tomó muy en cuenta el siguiente aspecto que el límite máximo de carga de las baterías de este tipo es de un 20% de la intensidad nominal de la batería.

Esta primera fase es hasta que la batería llega a un nivel aproximado del parámetro de SOC. De un 80% que equivale alrededor de 9,6 V de la capacidad de la batería evitando así daños en la batería.

Además hay que considerar que el paso de electrones hacia la batería representa calor por el movimiento propio de los electrones pero este incremento no es muy evidente por lo que no es necesario un sistema de enfriamiento para la batería.

El amperaje de carga del cargador es muy importante ya que este si este valor es muy elevado tan solo se conseguirá acortar el tiempo de carga de la primera etapa.

Además del total de la capacidad de carga de las baterías en este caso una de 12 voltios o también el 100 % del SOC. De carga de batería.

Si no se considerase el valor del amperaje se produciría que la masa activa de la batería sea expulsado del cátodo y también el ánodo por un exceso de temperatura lo representaría una producción de gas excesivo.

3.3.2 Fase Absorción. Segunda fase de carga de baterías comienza una vez alcanzado y superado el límite de la primera etapa que oscila entre 9,6 voltios para una batería de 12 voltios utilizada en nuestro modelo.

El límite de voltaje para esta segunda etapa oscila entre 10,8 voltios y superiores además se considera que las baterías están a un 90% de su capacidad cargada.

Una vez alcanzado el valor de voltaje de absorción, la carga de la batería se limita a la cantidad de amperaje que la misma es capaz de absorber a un voltaje constante.

El amperaje que soporta la batería es de 0,5 amperios dato de la propia batería.

Durante la segunda fase de carga el amperaje disminuirá paulatinamente para evitar

daños de baterías y llegar a un 100% de carga. La carga y descarga de una batería implica un proceso de difusión que es alterado en función al tiempo mientras más tiempo estén almacenadas descargadas más difícil resulta cargarlas.

Si aplicamos un voltaje excesivo produciríamos que las baterías incrementen su temperatura interna exponiendo las baterías a una sobrecarga.

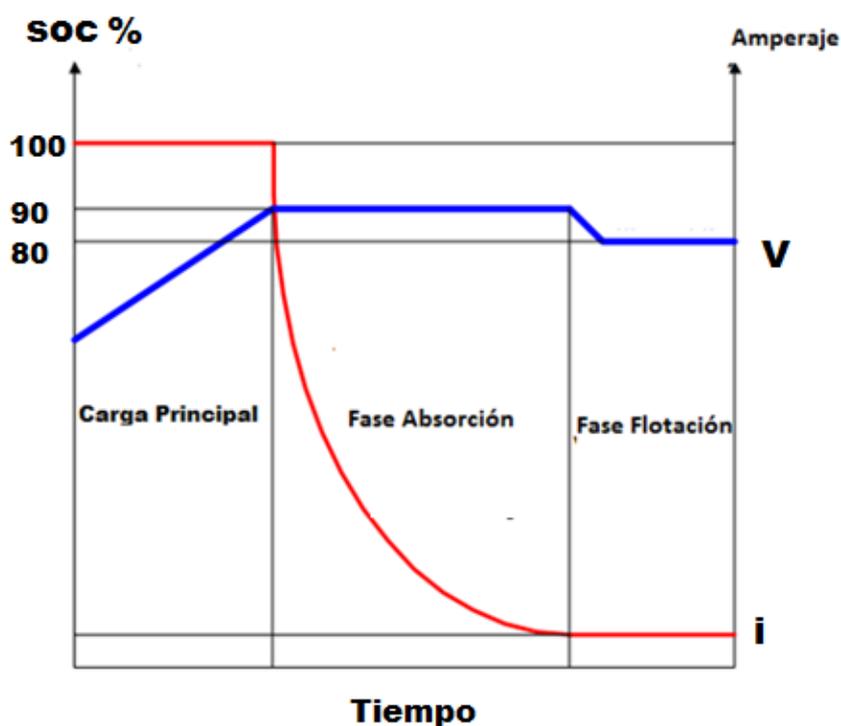
3.3.3 Fase Flotación. En esta etapa hay que considerar que las baterías deben llegar a un 100% del SOC. De la batería y hay que mantenerlas cargadas evitando que por la auto descarga propia de la batería se descargue esto es posible manteniendo un voltaje constante.

El voltaje no debe ser muy bajo ya que este caso podría producir sulfatación en las placas

El voltaje de flotación está alrededor de 13,2- 13,6 voltios (tensión en vacío), y 12,4 voltios (tensión en carga).

Claro que un voltaje insuficiente no mantiene la batería totalmente cargada y podemos provocar sulfatación de las placas. Vuelve a ser fundamental definir exactamente el voltaje de flotación. Todas las baterías de gel pueden ser mantenidas en flotación durante largos periodos de tiempo.

Figura 31. Fases de carga.



Fuente. Los autores

3.4 Ciclo de carga

Los ciclos de carga son directamente afectados por la temperatura ya que este parámetro afecta considerablemente el tiempo de carga de las baterías.

Tabla 5. Temperatura optima de carga

Temperatura (Celsius)	Tipo de carga
0° - 10°	Lenta
20° - 25°	Normal
40° - 60°	Rápida

Fuente. Los autores

3.4.1 Carga rápida. Una carga rápida es posible este tipo de batería debido a que admiten corrientes superiores a 1 C.

Amperios - Hora del cargador 1.09

C= culombio es una unidad derivada definida como la cantidad de carga desplazada por una corriente de un amperio en un período de tiempo de un segundo.

Para ello es necesario tener mucha precaución al momento de proceder con este tipo de carga, la temperatura para este proceso es necesaria que su temperatura supere los 20°C pero que no superen los 45° C.

$$1 \text{ Amperio} = 1 \frac{\text{Culombio}}{\text{segundo}}$$

3.4.2 Tiempo de recarga. Es el tiempo que la batería tarda para llegar al 100% de su capacidad.

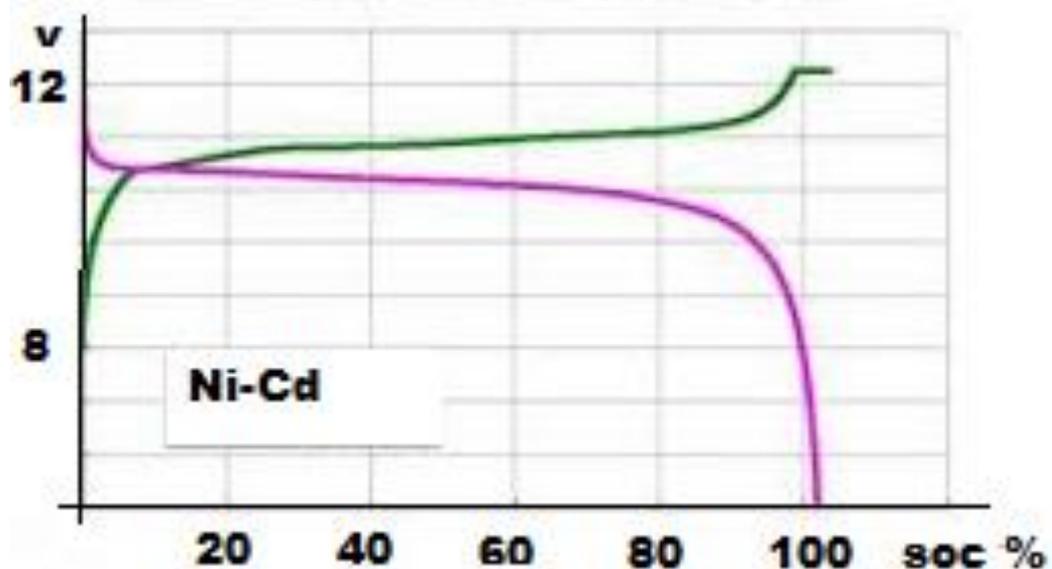
$$T = \frac{\text{Ah batería}}{\text{Ah cargador}} \quad (54)$$

$$T = \frac{2}{1.09}$$

$$T = 1.82 \text{ horas} \neq 103 \text{ minutos}$$

3.5 Curvas de carga y descarga:

Figura 32. Curvas de carga y descarga.



Fuente. Los Autores

3.6 El cargador de batería

Transforma corriente alterna a corriente directa o continua, mediante un circuito de carga adecuado para ello además de ser regulada y es almacenada en las baterías es necesario además que el nivel de voltaje este constantemente monitoreado ya que si existe un voltaje excesivo puede causar accidentes para lo cual se apoyara en la electrónica avanzada para lograr cumplir con varios parámetros de carga.

Los límites de recarga están definidos en función al voltaje aproximadamente a los 13.4 voltios representados además en la curva de carga.

Es importante que el cargador no provea demasiada corriente a la batería, ya que podría sobrecalentarla y dañarla. La recarga de mantenimiento permite que la batería recupere su carga perdida por descarga natural cuando se encuentra sin usar.

3.7 Intensidad de campo.

“Los campos magnéticos generados por las corrientes y que se calculan por la ley de Ampere o la ley de Biot-Savart, se caracterizan por el campo magnético B medido en Teslas. Pero cuando los campos generados pasan a través de materiales magnéticos que por sí mismo contribuyen con sus campos magnéticos internos, surgen ambigüedades sobre que parte del campo proviene de las corrientes externas, y que parte la proporciona el material en sí. Como práctica común se ha definido otra cantidad de campo magnético, llamada usualmente "intensidad de campo magnético", designada por la letra H. (Nave, M Olmo R, 2015).

Campo magnético y frecuencia de oscilación según la OMS determina que para niveles que están en el rango de 100 kHz – 10 GHz no son consideradas como peligrosas para la salud de los humanos.

Figura 33. Niveles de referencia para campos 0Hz-300GHz

Gama de frecuencia	Intensidad de campo E (V/m)	Intensidad de campo H (A/m)	Campo B (μT)	Densidad de potencia equivalente de onda plana (W/m ²)
0-1 Hz	-	3,2 x 10 ⁴	4 x 10 ⁴	
1-8 Hz	10 000	3,2 x 10 ⁴ /f ²	4 x 10 ⁴ /f ²	
8-25 Hz	10 000	4 000/f	5 000/f	
0,025-0,8 kHz	250/f	4/f	5/f	-
0,8-3 kHz	250/f	5	6,25	-
3-150 kHz	87	5	6,25	-
0,15-1 MHz	87	0,73/f	0,92/f	-
1-10 MHz	87/f ^{1/2}	0,73/f	0,92/f	-
10-400 MHz	28	0,73/f	0,092	2
400-2000 MHz	1 375 f ^{-1/2}	0,0037/f ^{1/2}	0,0046 f ^{-1/2}	f/200
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

Fuente. <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/>

Nos indica lo intenso que es el campo magnético. La intensidad de campo en una bobina depende de la fuerza magnetomotriz ($N * I$). Ahora bien, cuanto más larga sea la bobina, más se dispersan las líneas de campo, dando como resultado una intensidad de campo más débil; por lo que se puede decir que, para una fuerza magnetomotriz constante, la intensidad de campo (H) es inversamente proporcional a la longitud media de las líneas de campo, tal como se expresa en la siguiente ecuación:

$$H = \frac{n \cdot i}{L} \quad (55)$$

Dónde:

H= Intensidad de campo (Av/m) – amperio –vuelta/metro

n= Número de vueltas de la bobina

i= Intensidad de la corriente (A)

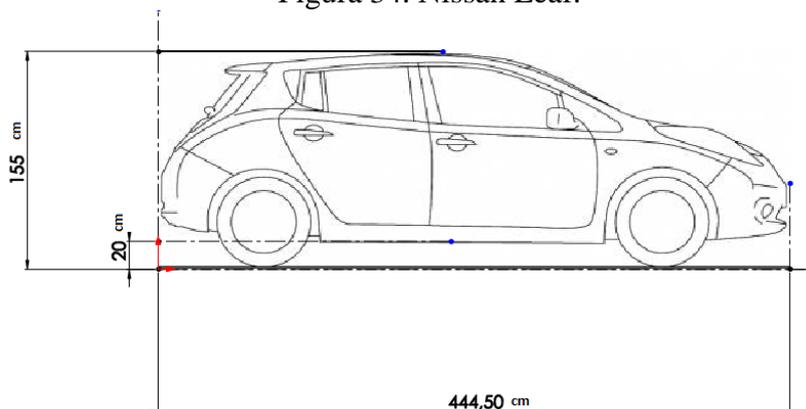
L= Longitud de la bobina (m)

3.8 Cálculos.

Mediante la aplicación de matemática se determinara los parámetros para la construcción de las bobinas para que resuenen a una determinada frecuencia.

3.8.1 Calculo de la distancia. Como referencia se toma las dimensiones de un auto eléctrico, Nissan Leaf la escala tomada para el diseño de este modelo es de 10-1.

Figura 34. Nissan Leaf.



Fuente. Los autores.

La distancia que debe inducir de manera eficiente el modelo de recarga inductiva es de 2 centímetros donde debe ser capaz de inducir energía para que las baterías del modelo se recarguen sin la necesidad de un medio materia es decir sin el uso de alambres.

$$x = 2 \text{ cm}$$

Además el tiempo que tarde en recargar es menor al tiempo que se tardara si las bateras se cargaran de manera convencional.

De acuerdo los niveles de referencia para campos magnéticos tenemos:

$$f = 150 \text{ kHz}$$

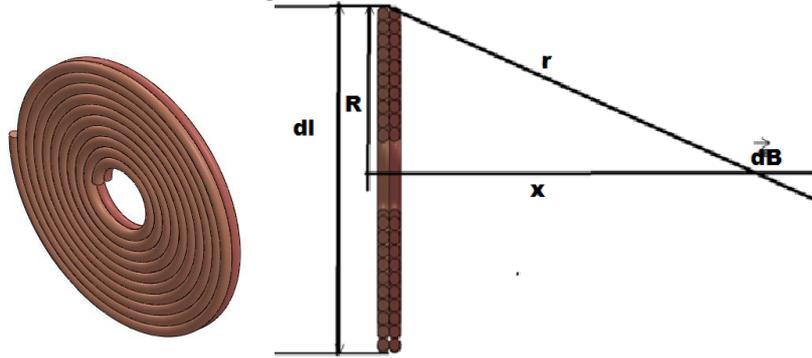
$$B = 6.25 * 10^{-6} \text{ T}$$

3.8.2 Cálculo para la construcción de las bobinas planas. Para el cálculo del campo magnético nos apoyamos dos leyes ya establecidas como son:

- Ley de Ampere.
- Ley de Biot-Savart.

Estable la siguiente ecuación para determinar el campo magnético.

Figura 35. Bobina emisora.



Fuente. Los autores.

$$dB = \frac{i * R * u_o}{4 * r^3 * \pi} dl$$

Integrando la ecuación a lo largo de todo el contorno, mediante la aplicación de una integral de superficie.

$$\oint dB = \oint \frac{i * R * u_o}{4 * r^3 * \pi} dl$$

Obtenemos.

$$B = \frac{i * R * u_o}{4 * r^3 * \pi} \oint dl$$

La integral del diferencial de longitud del contorno en este caso resulta ser el perímetro de la bobina.

$$\oint dl = 2\pi R \quad r = \sqrt{R^2 + x^2}$$

Reemplazando en la ecuación.

$$B = \frac{i * R * u_o}{4 * r^3 * \pi} 2\pi R$$

La ecuación obtenida es para determinar el campo magnético para una espira.

$$B = \frac{i * R^2 * u_o}{2 * r^3}$$

En nuestro caso se trata de una bobina de n espiras y la siguiente ecuación nos permite determinar Campo magnético.

$$B = n * \frac{i * R^2 * u_o}{2 * r^3}$$

Datos:

$$u_o = \text{permeabilidad} = 4\pi * 10^{-7} \frac{wb}{Am}$$

$$\text{Calibre del alambre} = 18 = 1,02 \text{ mm}$$

$$i = 14,36 \text{ mA}$$

$$r = \sqrt{R^2 + x^2}$$

$$B = 6,25 * 10^{-6} T$$

$$B = n * \frac{i * R^2 * u_o}{2 * r^3}$$

$$R^2 = \frac{2 * r^3 * B}{n * i * u_o}$$

Dónde:

$$R = \frac{n * \emptyset \text{ alambre}}{2}$$

$$n = \frac{2 * R}{\emptyset \text{ alambre}}$$

Reemplazando la relación en la ecuación tenemos:

$$R^2 = \frac{2 * r^3 * B}{\frac{2 * R}{\emptyset \text{ alambre}} * i * u_o}$$

$$R^2 = \frac{\emptyset \text{ alambre} * r^3 * B}{R * i * u_o}$$

$$R^3 = \frac{\emptyset \text{ alambre} * r^3 * B}{i * u_o}$$

Sacando la raíz cubica a cada término tenemos:

$$\sqrt[3]{R^3} = \sqrt[3]{\frac{\emptyset \text{ alambre} * r^3 * B}{i * u_o}}$$

$$R = r * \sqrt[3]{\frac{\emptyset \text{ alambre} * B}{i * u_o}}$$

Reemplazando r en la ecuación tenemos:

$$r = \sqrt{R^2 + x^2}$$

$$R = \sqrt{R^2 + x^2} * \sqrt[3]{\frac{\emptyset \text{ alambre} * B}{i * u_o}}$$

Elevando al cuadrado cada término tenemos:

$$R^2 = (\sqrt{R^2 + x^2})^2 \left(\sqrt[3]{\frac{\emptyset \text{ alambre} * B}{i * u_o}} \right)^2$$

Despejando la ecuación:

$$R^2 = (R^2 + x^2) * \left(\frac{\emptyset \text{ alambre} * B}{i * u_o} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$R^2 * \left[1 - \left(\frac{\emptyset \text{ alambre} * B}{i * u_o} \right)^{\frac{2}{3}} \right] = x^2 * \left(\frac{\emptyset \text{ alambre} * B}{i * u_o} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$R^2 = \frac{x^2 * \left(\frac{\phi \text{ alambre} * B}{i * u_o} \right)^{2/3}}{\left[1 - \left(\frac{\phi \text{ alambre} * B}{i * u_o} \right)^2 \right]}$$

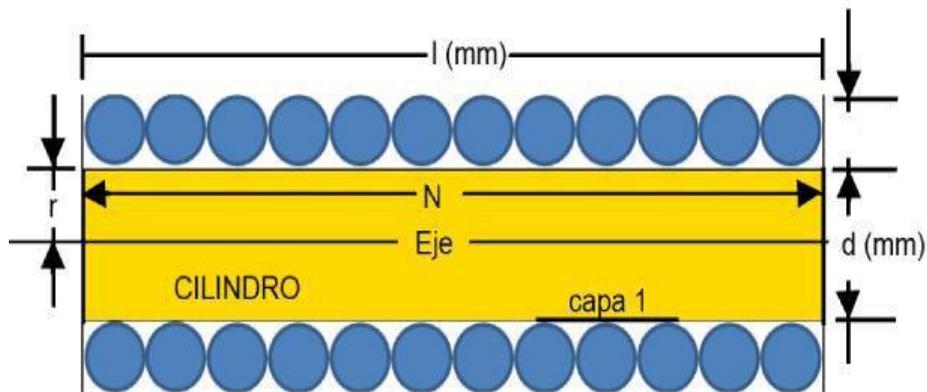
Reemplazando datos tenemos:

$$R^2 = \frac{(0,02 \text{ m})^2 * \left(\frac{0,00102 * 6,25 * 10^{-6} \text{ T}}{0,0145 \text{ A} * 4\pi * 10^{-7} \frac{\text{wb}}{\text{Am}}} \right)^{2/3}}{\left[1 - \left(\frac{0,00102 * 6,25 * 10^{-6} \text{ T}}{0,0145 \text{ A} * 4\pi * 10^{-7} \frac{\text{wb}}{\text{Am}}} \right)^2 \right]}$$

$$R^2 = 7,69 * 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$R = 0,074 \text{ m}$$

Figura 36. Cálculo del espesor de una bobina plana.



Fuente.

<https:// analisisdecircuitos1.files.wordpress.com/2014/03/screenshot196.jpg?w=640>

Datos:

N=100

d=3 cm tomado del diámetro del bocín.

L = 0,273 mH

Partimos de la ecuación:

$$N = \frac{\sqrt{25,4 * (4,5 * d + 10 * l)L}}{0,5d}$$

Despejamos el ancho de la bobina representado por la letra l .

$$N * 0,5 d = \sqrt{25,4 * (4,5 * d + 10 * l)L}$$

$$l = \frac{\frac{(N * 0,5 * d)^2}{25,4 * L} - 4,5d}{10}$$

Reemplazando datos en la ecuación:

$$l = \frac{\frac{(100 * 0,5 * 0,03 m)^2}{25,4 * L} - 4,5 * 0,03 m}{10}$$

$$l = \frac{\frac{2,252 m^2}{25,4 * L} - 0,135 m}{10}$$

$$l = \frac{22,52 m^2}{25,4 * L} - 0,0135 m$$

Reemplazando en la ecuación anterior el valor de la inductancia tenemos.

$$L = 2,571 mH$$

$$l = \frac{22,52 m^2}{25,4 * 2,571 mH} - 0,0135 m$$

$$l = 0,00227 m$$

$$l = 2,27 mm$$

Datos calculados para la construcción de las bobinas planas del presente modelo de recarga inductiva.

3.8.3 Cálculo de la inductancia de la bobina utilizada en el modelo de recarga inductiva. Aplicamos la ley de Ampere que establece la siguiente ecuación.

$$L = \frac{d\Phi}{di}$$

Multiplicando por el diferencial de tiempo a cada miembro:

$$L = \frac{d\Phi}{di} * \frac{dt}{dt}$$

La fuerza electromotriz es igual a:

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

Reemplazando en la ecuación:

$$L = \varepsilon * \frac{dt}{di}$$

$\frac{di}{dt}$ = la rapidez con la que cambia la corriente en la bobina.

$$L = \frac{d\Phi}{di} \quad L * di = d\Phi$$

Aplicando una integral cerrada tenemos:

$$\oint L * di = \oint d\Phi$$

$$L * i = \Phi \quad L = \frac{\Phi}{i}$$

Flujo de campo magnético de la bobina.

$$\Phi = \frac{\mu_0 * N * i}{2R}$$

Permeabilidad en el espacio:

$$\mu_0 = 4 * \pi * 10^{-7} \frac{H}{m}$$

Reemplazando en la ecuación tenemos la fórmula para calcular la inductancia en una bobina de una vuelta:

$$L = \frac{\mu_0 * N * A}{4R}$$

Como tenemos una bobina de N vueltas multiplicamos y obtenemos la siguiente ecuación descrita a continuación donde la inductancia queda en función de variables conocidas como son el número de vueltas.

$$L = \frac{\mu_0 * N^2 * A}{4R}$$

El área de la sección circular es:

$$A = \pi R^2$$

$$A = \pi(6,5 \text{ cm})^2 = 132,73 \text{ cm}^2$$

Reemplazando valores en la ecuación:

$$L = \frac{200^2 * 4\pi 10^{-7} \frac{H}{m} * 0,0133m^2}{4 * 0,065m}$$

$$L = 0,002571 \text{ H}$$

Inductancia medida con un instrumento de medición.

$$L = 0,273 \text{ mH}$$

Los datos calculados no difieren en gran medida con lo obtenido por el instrumento de medición.

$$L = 0,273 \text{ mH}$$

3.8.4 Cálculo de la intensidad de campo. La intensidad de campo magnético está directamente afectada por la fuerza magnetomotriz, en el caso de las bobinas mientras más largas sean las bobinas menor será la intensidad de campo magnético por que la fuerza magnetomotriz se dispersa en la superficie.

La intensidad de campo es posible determinar mediante la siguiente ecuación:

$$H = \frac{N * i}{L}$$

Datos:

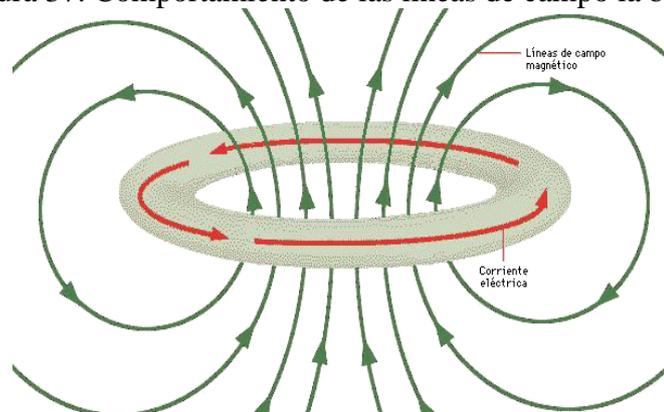
$N=200$

$i=12 \text{ mA}$

$L = 0,273 \text{ mH}$

$$H = \frac{200 * 12 \text{ mA}}{273 \text{ mH}} = 8,79 \text{ (A/m)}$$

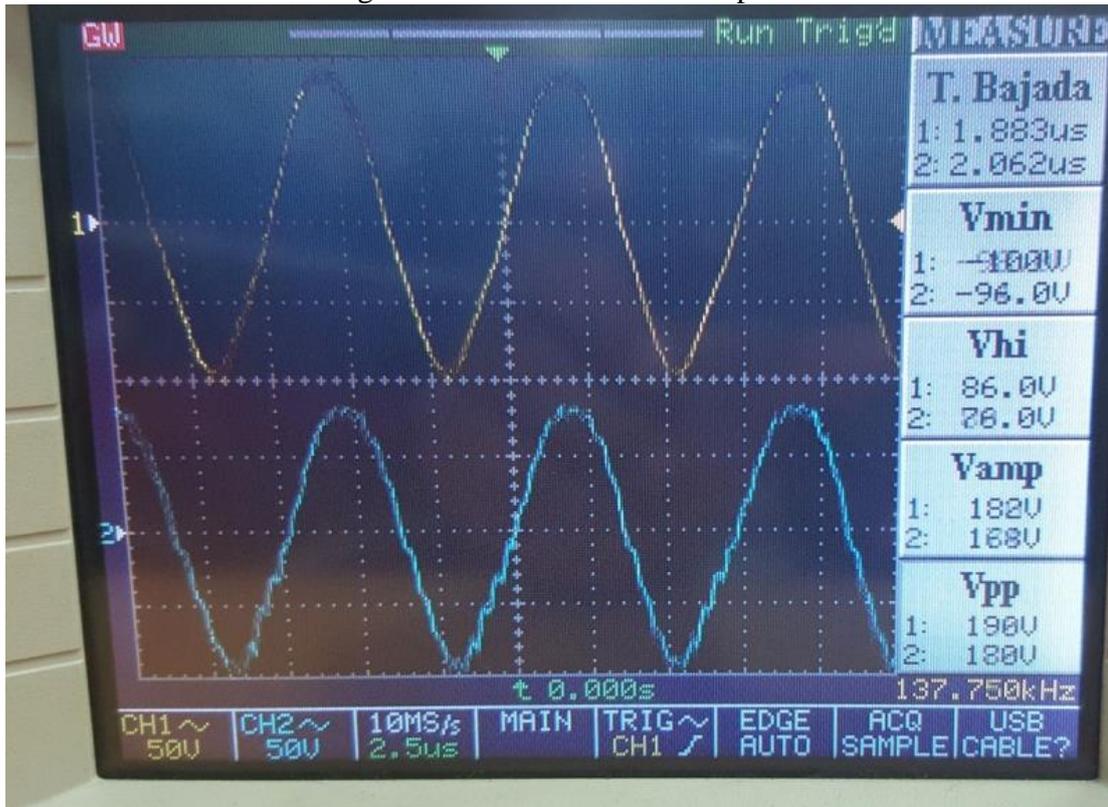
Figura 37. Comportamiento de las líneas de campo la bobina



Fuente. <http://patricioconcha.ubb.cl/maquinas/images/dibujo1.gif>

3.8.5 Frecuencia del modelo de recarga inductiva. La frecuencia de oscilación es de 137.759 kHz con los cual se logra inducir la energía a través del espacio sin la utilización de cables o un medio material.

Figura 38. Lectura del osciloscopio.



Fuente. Los autores

Longitud de onda de la bobina receptora y emisora que son casi iguales.

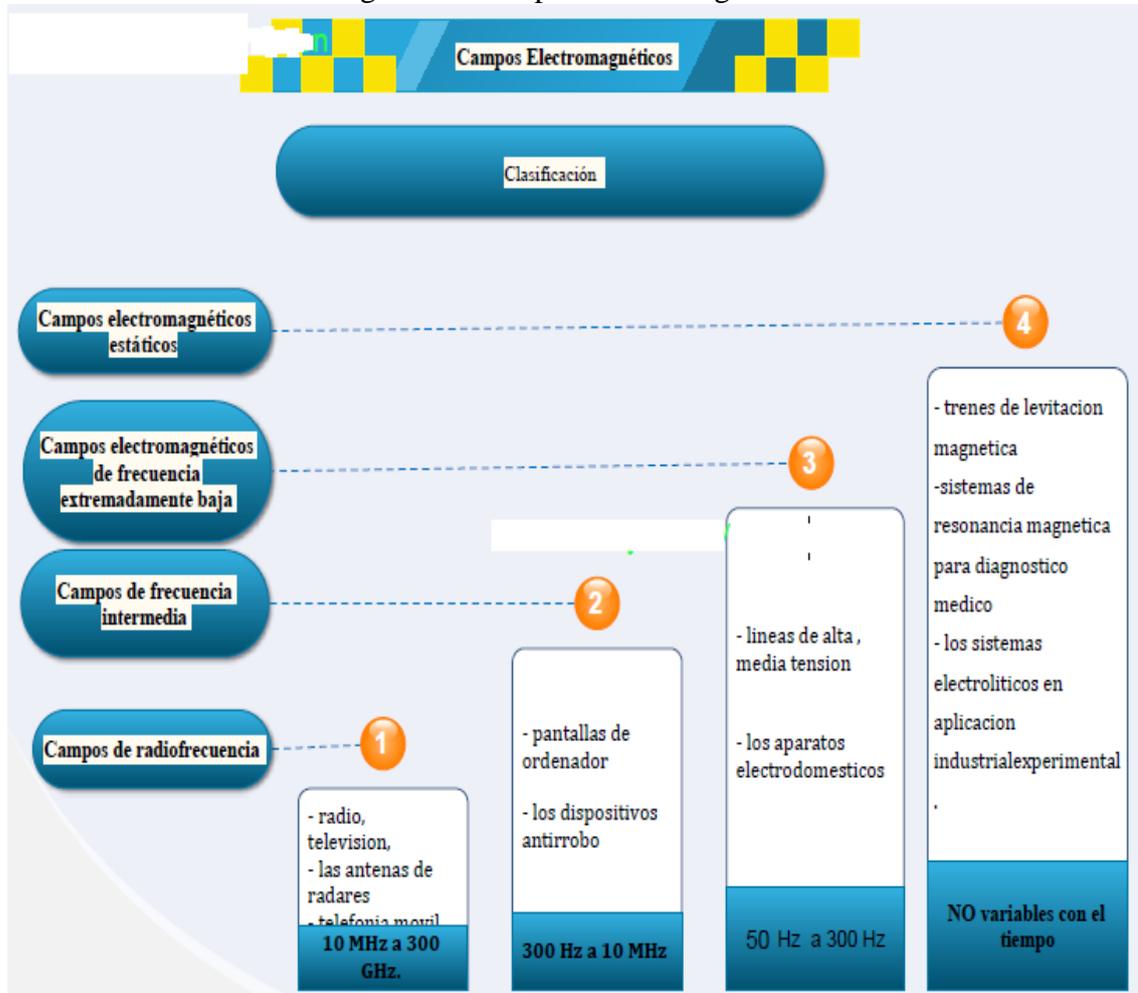
Datos:

- Bobina emisora
- Frecuencia=137,750 kHz
- Amplitud=7,259
- Vpp=190 V
- Bobina receptora
- Frecuencia=137,750 kHz
- Amplitud=7,259
- Vpp=180 V

3.8.6 Los Campos Electromagnéticos (CEM). Son producto de una combinación de ondas tanto eléctricas (carga estática) y carga magnéticas (carga dinámica) que se desplazan a la velocidad de la luz la cantidad de energía que transporta la onda es proporcional a la frecuencia de la onda.

Clasificación:

Figura. 39 Campos electromagnéticos



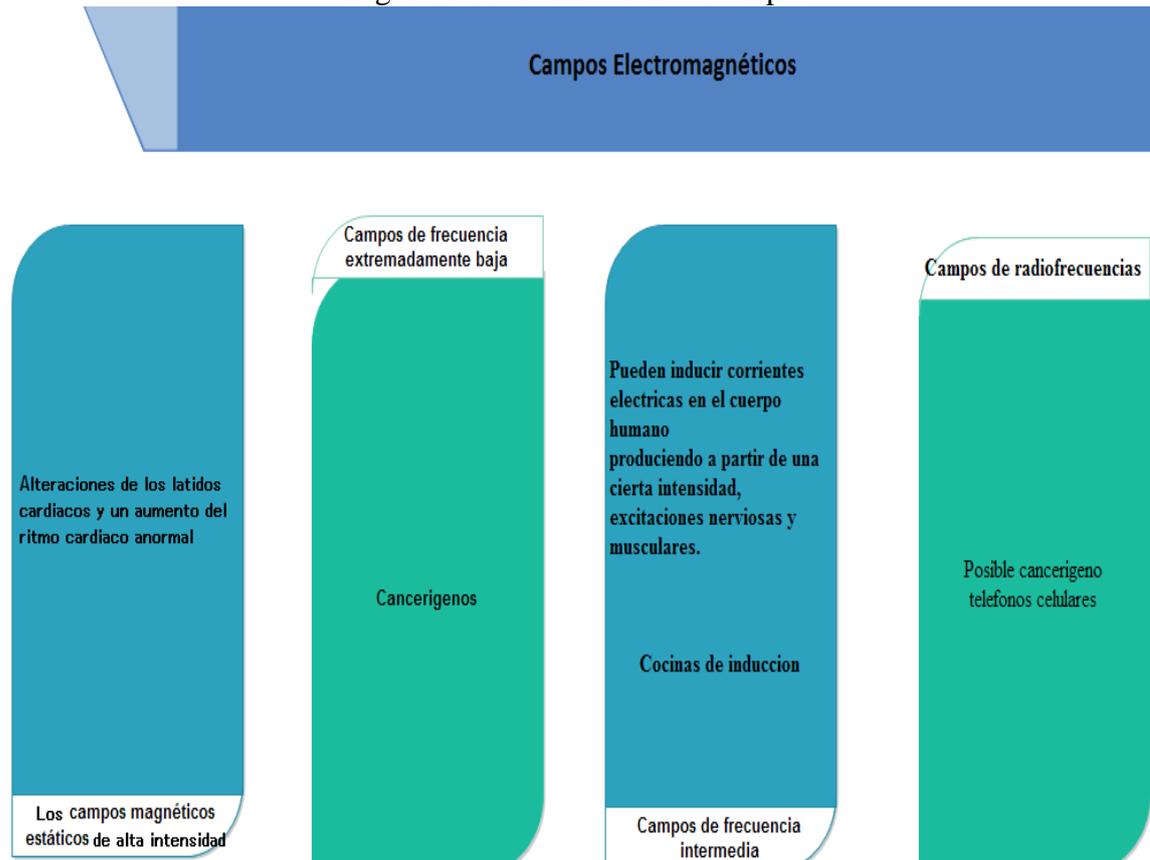
Fuente. Los autores

La clasificación de campos electromagnéticos está según la organización mundial de la salud OMS.

3.8.7 Efectos sobre la salud. Los efectos sobre la salud este el parámetro más importante en del uso y la aplicación de campos electromagnéticos ya que si los niveles de campos magnéticos son altos causan efectos negativos sobre la salud de los humanos.

La exposición a campos magnéticos bajos a largo plazo están en estudio para determinar si estos podrían causar afecciones negativas en la salud según la clasificación descrita anteriormente se realizó un las afecciones sobre la salud según el rango de frecuencia que se encuentra.

Figura 40 . Clasificación de campos



Fuente. Los autores

Los efectos sobre la salud son en base a estudios a largo plazo y de acuerdo con la IARC se consideran como posible cancerígeno para los humanos es decir se encuentran en el grupo 2B según los estudios publicados en el 2011 sin embargo se continua los estudios de los efectos de los campos en la salud de las personas.

La radiación electromagnética

Proceso en el cual en base a ondas es posible transferir energía a través del espacio o un medio material.

Para la propagación de la radiación no es necesario que exista un medio material pero si puede afectar la velocidad con la que se transfiere la energía.

Longitud de onda.

La unidad de medida es el metro es la distancia que existe entre los puntos que corresponden a un ciclo completo de la onda.

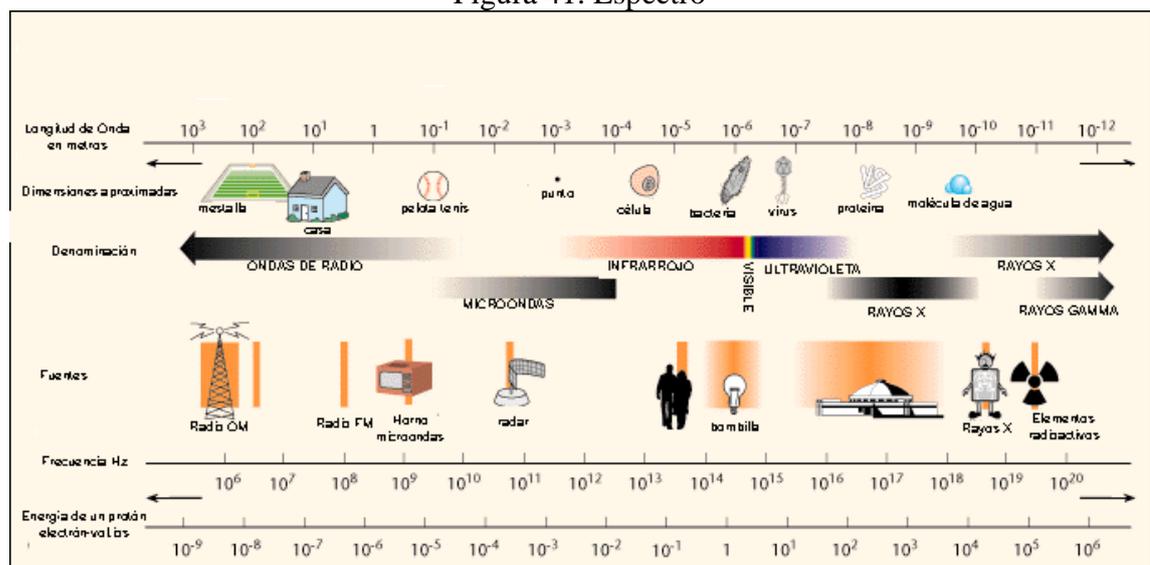
La frecuencia.

Es el número de oscilaciones completas que pasan por un punto por unidad de tiempo, la unidad de medida es el hertzios (Hz)

El valor de la frecuencia influye en la cantidad de energía que transporta mayor valor de frecuencia mayor cantidad de energía transportada.

Las señales de baja frecuencia tienen una longitud de onda muy larga, mientras que en la señales de frecuencia alta, la longitud de onda será corta.

Figura 41. Espectro



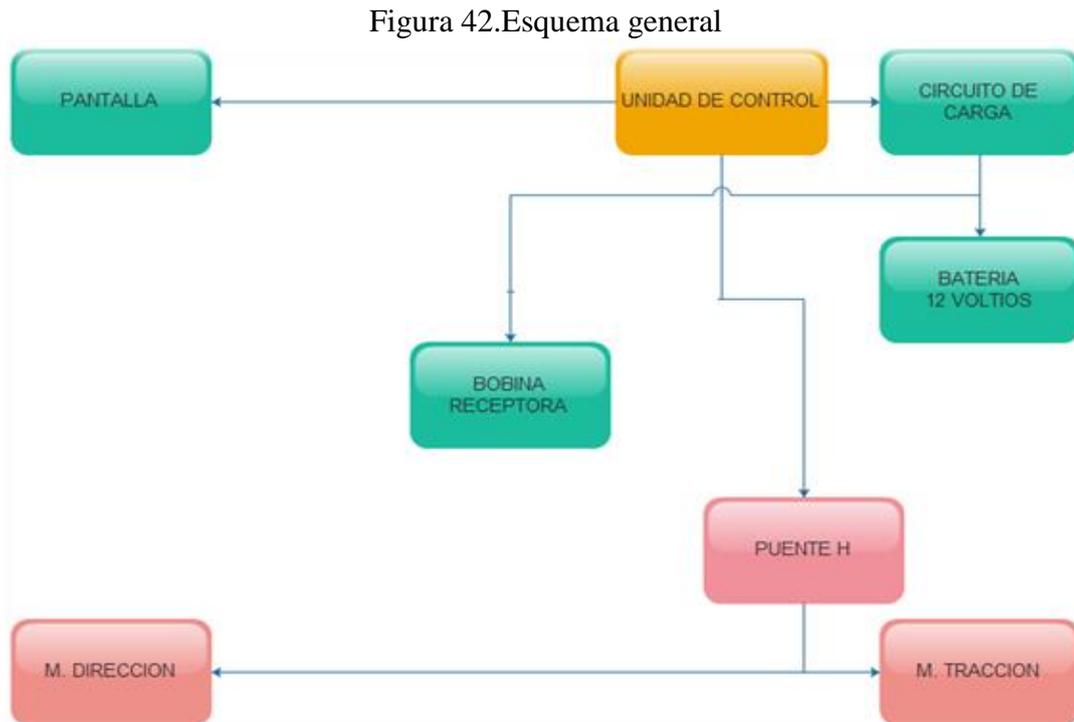
Fuente: http://www.upv.es/antenas/images/espectro_EM.gif

3.9 Proceso de inducción de energía para recarga de las baterías de modelo.

La transferencia de energía sin un medio material se dice ir sin cables comenzara sin de manera automática al posicionar el modelo sobre la plataforma de recarga ubicado en la parte inferior del modelo sin necesidad que entren en contacto la energía se transferirá desde la bobina emisora hasta la bobina receptora a una alta frecuencia de oscilación con un voltaje de 1200 voltios medidos de pico a pico de la gráfica obtenida por el osciloscopio.

3.9.1 Recarga inductiva. Se trata de la transmisión de la energía eléctrica a través de campos magnéticos donde se utiliza dos circuitos un emisor y un receptor ambos circuitos poseen bobinas de igual características con la diferencia que la bobina inductora posee center tap necesaria para que pueda asilar.

Esquema de los elementos del modelo utilizado para la demostración de la recarga:



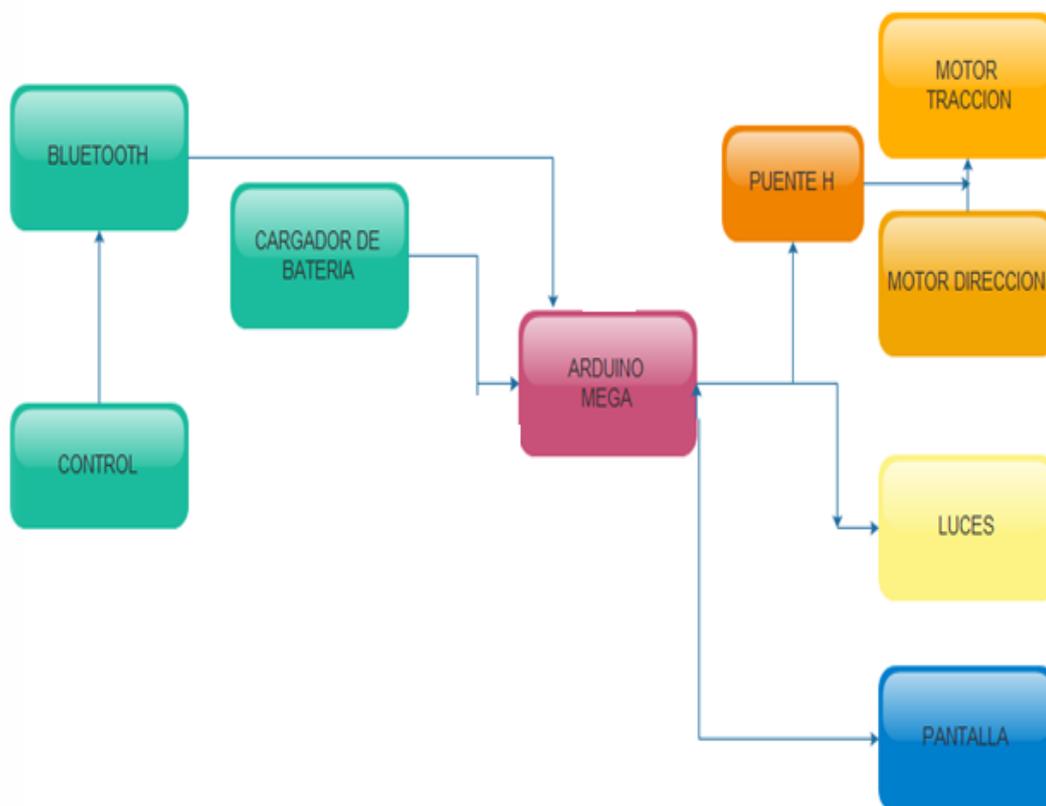
Fuente. Los autores

3.9.2 Unidad de control. Esquema de la unidad de control. Mediante el uso de un micro controlador en este caso un arduino mega el cual posee 54 pines digitales de entrada y salida además 16 entradas análogas, un cristal oscilador de 16 MHz, el voltaje de operación es de 7 a 12 como máx.

La programación de este micro controlador es sencilla lo que facilita su aplicación en este modelo recibiendo señales y a la vez controlando a los actuadores para que cumplan su función en momentos exactos.

La comunicación con la placa central será por medio de un teléfono inteligente mediante la aplicación bluetooth rc controller.

Figura 43. Esquema de la unidad de control



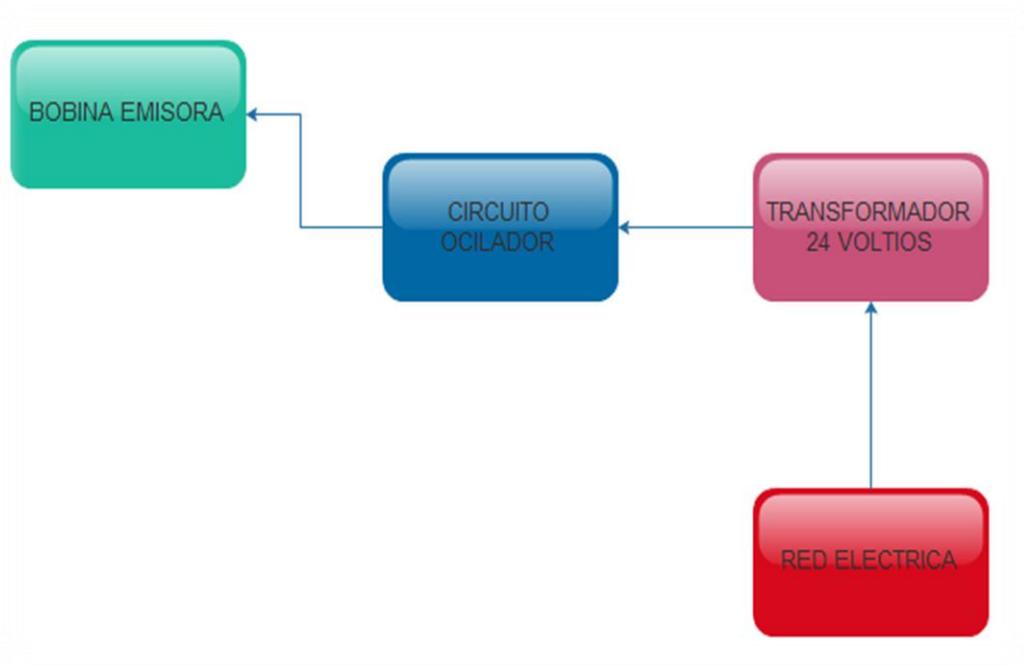
Fuente. Los autores

3.9.3 *Esquema del emisor utilizado en el modelo de recarga inductiva.* El tipo de recarga inductiva es llamada recarga por resonancia debido a que la carga se realizara sin contacto de las bobinas se produzca la transferencia de energía con el uso de dos bobinas de alambre de cobre que deben tener la misma frecuencia.

El circuito oscilador posee capacitores, bobina, transistores de potencia necesarios para elevar la frecuencia de oscilación en este caso alrededor de 150 kilohercios la resonancia se produce cuando la impedancia capacitiva es igual a la impedancia inductiva caso contrario el sistema no es suficientemente eficiente.

El transformador que se utiliza en de 120 corriente alterna a 24 de corriente continua para la entrada del circuito emisor que elevará a una frecuencia de 130 kHz logrando así trasferir la energía de la bobina emisora hasta la bobina receptora que está colocada en la parte inferior del modelo.

Figura 44 Esquema del emisor



Fuente. Los autores

Resultados:

- Numero de vueltas = 100 por capa
- Calibre del alambre = 18 = 1,02 mm
- Capas= 2
- Diámetro externo de la bobina= 13 cm aproximado
- Diámetro interno de la bobina= 3 cm aproximado

CAPITULO IV

4. Digitalización del modelo de recarga inductiva.

La digitalización del modelo de recarga inductiva consiste en diseñar y construir los circuitos electrónicos necesarios para lograr demostrar el proceso de recarga de una batería de un autos eléctrico.

4.1 Circuito oscilador de 130 kHz.

De acuerdo al estudio realizado para el desarrollo del modelo se tiene que la frecuencia de oscilación debe estar sobre los 130 kHz un valor que es el valor mínimo frecuencia a la cual debe oscilar nuestro modelo para que no afecte a la salud.

4.1.1 *Materiales del circuito oscilador.* Para lograr que el circuito oscile y funcione de manera correcta se debe utilizar capacitores cerámicos ya que los capacitores de tipo electrolítico no son adecuados para tal efecto.

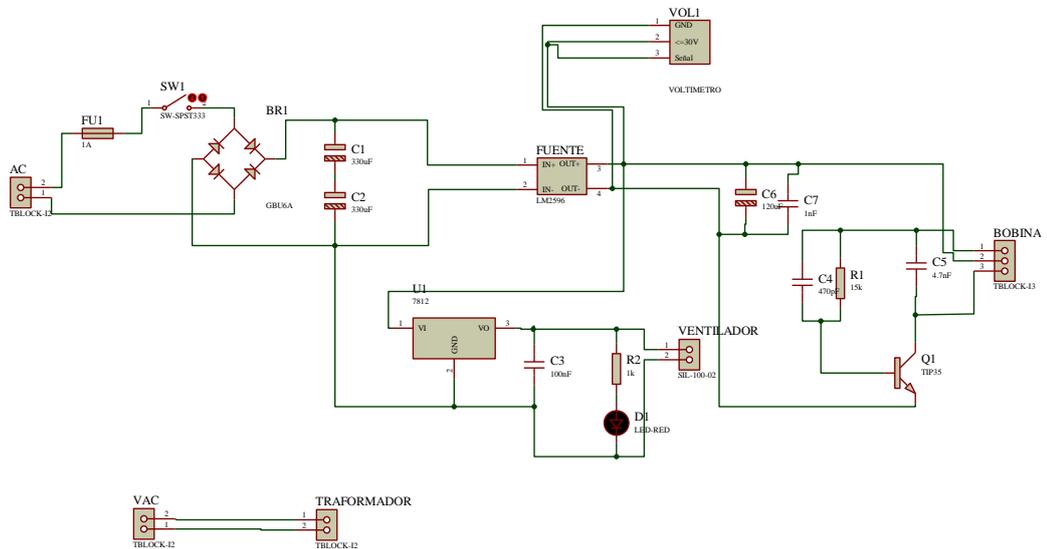
Tabla 6. Materiales del circuito oscilador

Categoría	Cantidad	Valor
Capacitores	2	330uF
Capacitores	1	100nF
Capacitores	1	470pF
Capacitores	1	120uF
Resistencias	1	15k
Integrado	1	7812
Transistor	1	TIP35
Diodo	1	LED-Rojo
Conectores	3	2 pines
Conector	1	3 pines
Fusibles	1	1 A
Modulo	1	LM2596
Pulsador	1	Normalmente abierto
Conector	1	12 V
Voltímetro	1	0-100 V

Fuente. Los autores

4.1.2 *Diseño del circuito oscilador (ISIS).* El circuito es de configuración paralelo capacitor inductor necesario para lograr ampliar la frecuencia y llegar a límites donde se puede inducir la energía.

Figura 45. Circuito oscilador

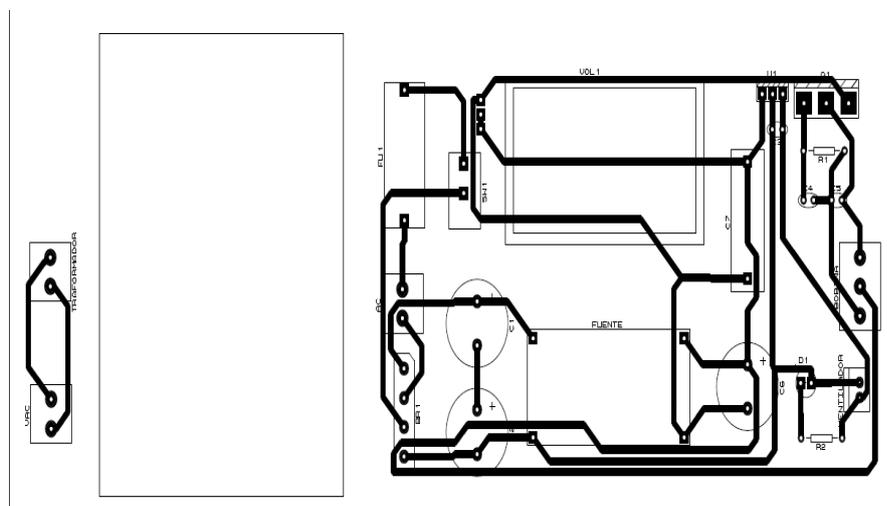


Fuente. Los autores

Pista del Circuito oscilador

Las pistas son de 3mm de ancho necesarios para que no existan problemas de exceso de temperatura afectando el funcionamiento del circuito

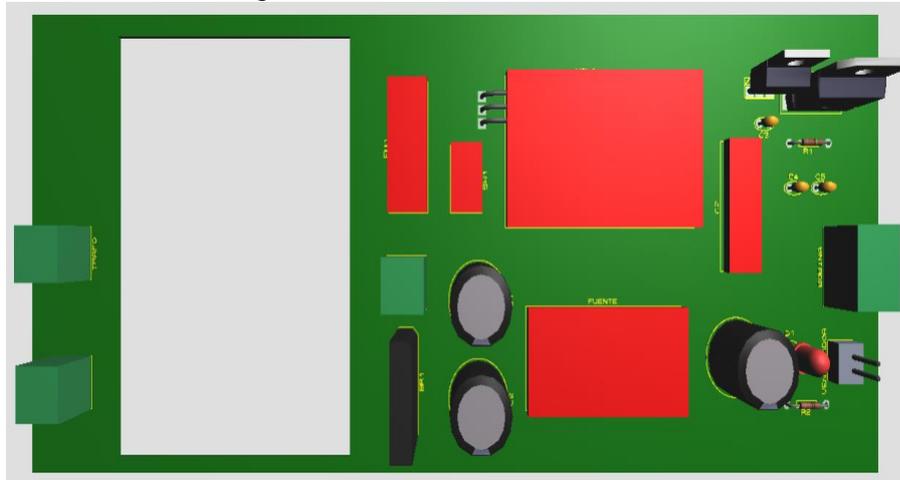
Figura 46. Pista del circuito oscilador



Fuente. Los autores

Circuito oscilador (ARES) en 3D permite visualizar como están posicionados cada uno de los elementos que forman parte del circuito.

Figura 47. Circuito oscilador en 3D



Fuente. Los autores

4.1.3 *Desarrollo para la construcción del circuito oscilador.*

Investigación de los tipos de circuitos resonantes para elevar la frecuencia de oscilación y lograr inducir energía sin que exista un medio material.

Diseño de los circuitos en ISIS que nos permite representar de forma digital al circuito y ejecutar pruebas de funcionalidad todos los circuitos utilizados.

Diseño de las pistas de cada uno de los circuitos en la aplicación ARES de Proteus para determinar las medidas de las placas de los circuitos.

Visualización de los elementos en las placas en 3D gracias a las aplicaciones de Proteus.

Impresión de todos los circuitos utilizados en hojas de papel crulle que permitan realizar un estampado de las pistas en la fibra doble capa.

Lavado de las pistas con ácido para definir las pistas en la fibra doble capa en donde se colocaran los demás elementos de los circuitos.

Taladrado de la fibra donde se posicionaran los pines de los elementos y los pernos de sujeción de las placas.

Proceder al soldado de los pines de los elementos de cada una de las diferentes placas.

Realizar un lavado con tñer de las placas para retirar impurezas y evitar que exista continuidad en la placa para evitar dañar el circuito.

Lectura en el osciloscopio dela frecuencia de oscilación del circuito emisor que se utiliza en este circuito.

4.2 Circuito de carga de bacterias.

El circuito de carga de baterías transforma la corriente alterna que recibe la bobina receptora y la trasforma a corriente continua para logra almacenar la energía en la batería

4.2.1 *Materiales del circuito de carga de baterías.* Los materiales utilizados de alta potencia para que soporte la intensidad de corriente que pasara por todo el circuito de carga evitando así un exceso de temperatura en los elementos que forman parte del circuito.

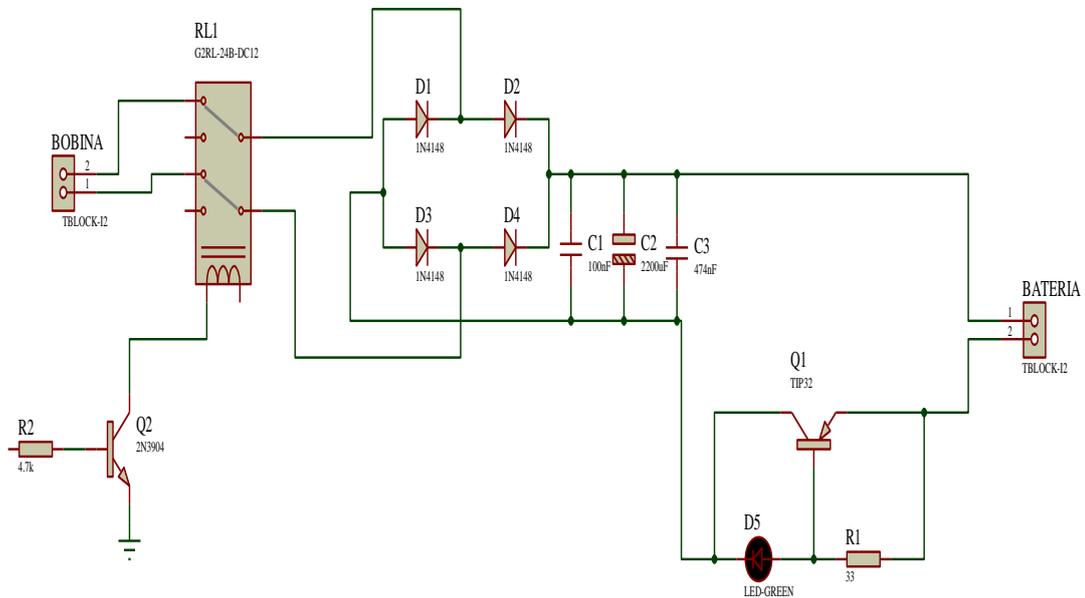
Tabla 7. Materiales del circuito de carga

Categoría	Cantidad	Valor
Capacitores	1	100 nF
Capacitores	1	2200 uF
Capacitores	1	474 nF
Resistencias	1	33 ohm
Resistencias	1	4.7k
Transistores	1	TIP32
Transistores	1	2N3904
Diodos	4	1N4148
Diodos	1	LED-Verde
Conectores	2	2 pines
Relé	2	DC 12 V

Fuente. Los autores

4.2.2 *Diseño y construcción del circuito de carga de las baterías.* Con el uso de un relé se logra abrir y cerrar en circuito de carga de las baterías de manera automática.

Figura 48. Circuito de carga de baterías



Fuente. Los autores

4.2.3 *Desarrollo para la construcción del circuito de carga.*

Aplicaciones de los micro controladores de licencia gratuita como lo son los de la familia arduino.

Diseño de los circuitos ISIS que nos permite representar de forma digital al circuito y ejecutar pruebas de funcionalidad todos los circuitos utilizados.

Diseño de las pistas de cada uno de los circuitos en la aplicación ARES de Proteus para determinar las medidas de las placas de los circuitos.

Visualización de los elementos en las placas en 3D gracias a las aplicaciones de Proteus.

Impresión de todos los circuitos utilizados en hojas de papel crulle que permitan realizar un estampado de las pistas en la fibra doble capa.

Lavado de las pistas con ácido para definir las pistas en la fibra doble capa en donde se colocaran los demás elementos de los circuitos.

Taladrado de la fibra donde se posicionaran los pines de los elementos y los pernos de sujeción de las placas.

Determinación de los parámetros de protección de carga de la batería utilizada en el modelo.

Proceder al soldado de los pines de los elementos de cada una de las diferentes placas.

Realizar un lavado con tñer de las placas para retirar impurezas y evitar que exista continuidad en la placa para evitar dañar el circuito.

Colocar todas las placas de los diferentes circuitos el modelo para posteriormente realizar pruebas de funcionamiento.

Programación del arduino para que controle el proceso de carga de las baterías, luces y pantalla de visualización de datos en tiempo real del SOC de batería.

Lectura en el osciloscopio de la frecuencia de oscilación del circuito emisor que se utiliza en este circuito.

Realización de las pruebas correspondientes.

4.3 Circuito puente H.

El circuito puente H es necesario para poder controlar los motores de la dirección (izquierda, derecha) y de la tracción (delante, atrás) para que el modelo de recarga se logre posicionar de manera correcta sobre la plataforma de recarga de las baterías.

4.3.1 *Puente H para el control de los motores de dirección y tracción.* Los transistores contarán con disipadores de calor para garantizar que funcionen de manera óptima sin que el exceso de temperatura afecte el funcionamiento.

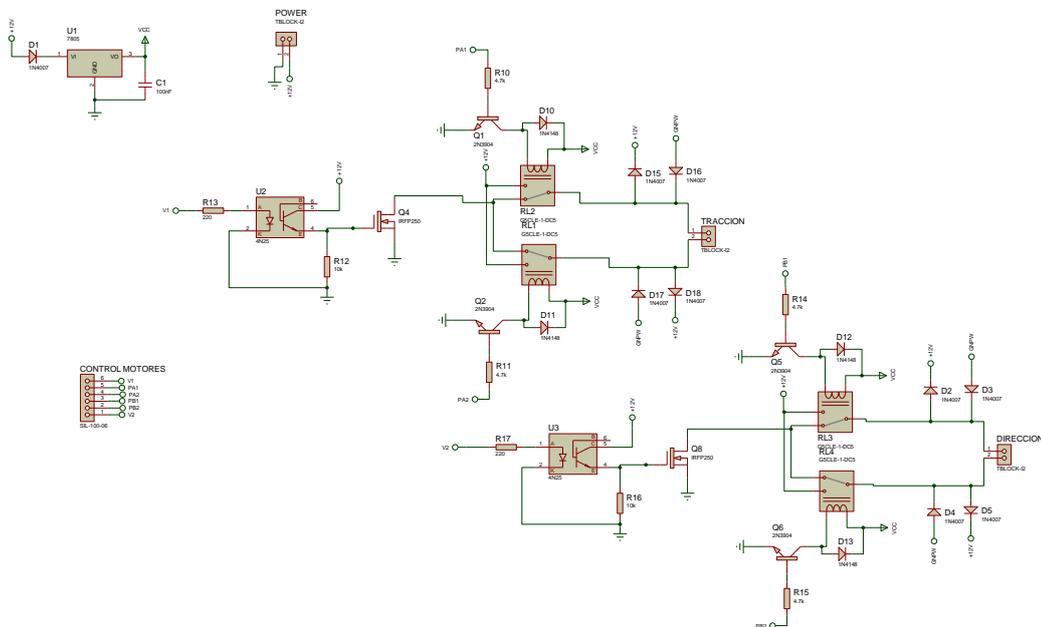
Tabla 8. Materiales del puente H.

Categoría	Cantidad	Valores
Capacitores	1	100nF
Resistencias	4	4.7k
Resistencias	2	10k
Resistencias	2	220 ohm
Integrado	1	7805
Integrado	2	4N25
Transistores	4	2N3904
Transistores	2	IRFP250
Diodos	9	1N4007
Diodos	4	1N4148
Conector	1	6 pines
Conectores	3	2 Pines
Relés	4	DC 12V

Fuente. Los autores.

4.3.2 *Diseño del circuito del puente – H.* con el uso de dos relés se logra cambiar el giro de los motores los relés son de 5 voltios.

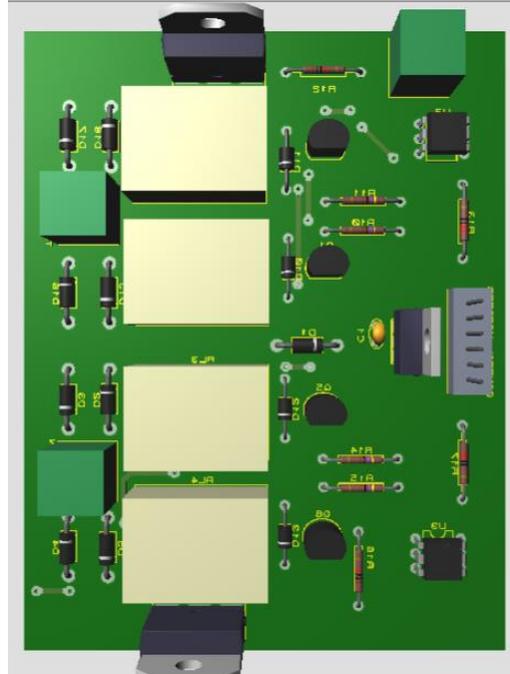
Figura 49. Circuito del puente - H



Fuente. Los autores

Circuito del puente H en 3D para visualizar la posición de los elementos del circuito de manera real.

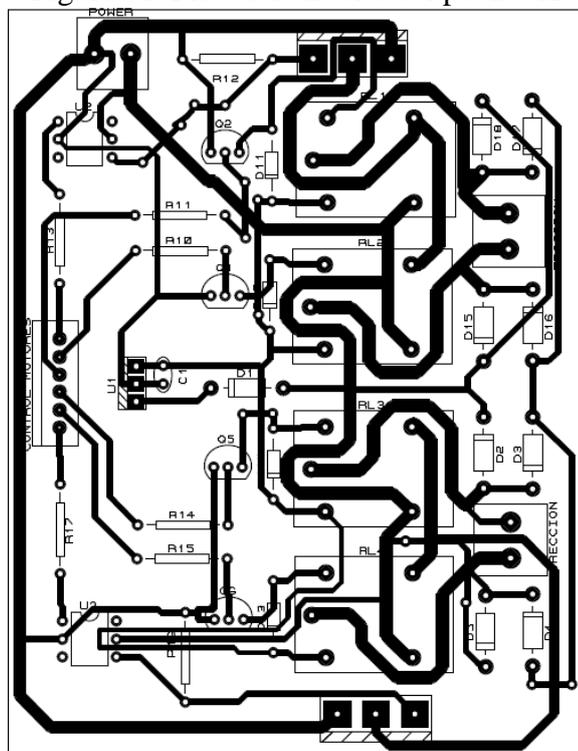
Figura 50. Circuito del puente H en 3D - Frontal



Fuente. Los autores

Pista de circuito puente H de 3 mm de ancho las pistas que unen a los elementos del circuito.

Figura 51. Pista del circuito del puente H.



Fuente. Los autores

4.4 Placa de control central.

La ECU del modelo de recarga inductiva es la encargada de controlar el estado de carga de las baterías además controlar al puente H y las luces del modelo.

4.4.1 *Materiales de la placa de control central.* Se utiliza una fibra doble capa para la construcción para obtener dos pistas y lograr construir la placa de control central.

Tabla 9. Materiales de la placa de central.

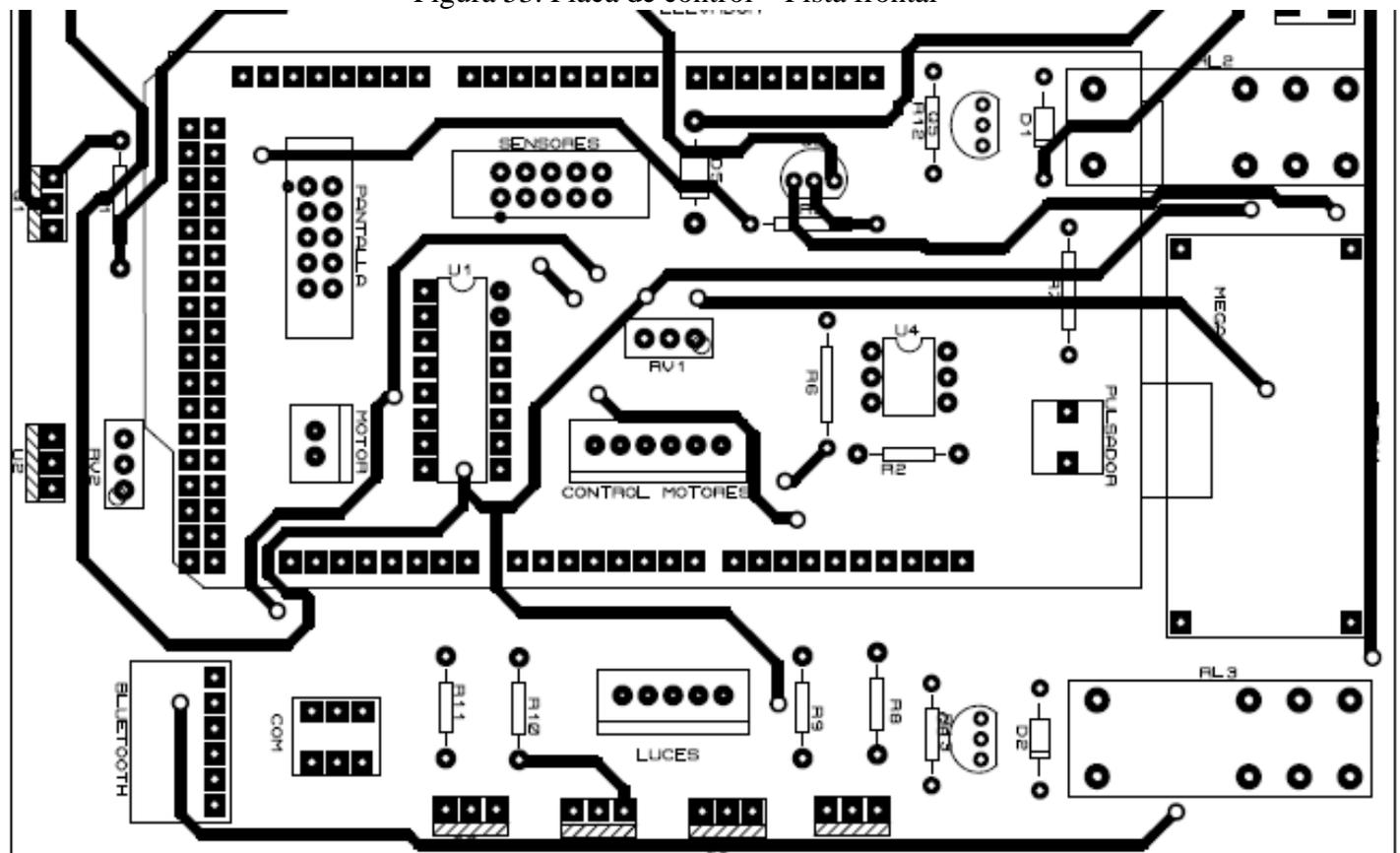
Categoría	Cantidad	Valores
Resistencias	9	4.7k
Resistencias	2	10k
Resistencia	1	220
Integrado	1	4N25
Transistor	4	TIP31
Transistores	2	2N3904
Diodos	2	1N4148
Diodos	3	LED-Verde
Diodos	1	1N4007
Modulo	1	HC-05
Conector	3	2 Pines
Pulsador	2	ON/OFF
Conector	1	6 Pines
Conector	1	2 Pines
Leds	1	SIL-100-05
Modulo	1	ARDMEGA
Pantalla	2	68712-001
Pulsador	1	SW-SPST
Relés	2	G2R-24-DC12

Fuente. Los autores

4.4.2 *Diseño de la placa de control (ISIS).* Para determinar los pines del arduino Mega que controlaran a los actuadores y los pines donde llegara la información además los pines que controlaran al LCD de estado de carga que mostrara el porcentaje de carga de batería de modelo utilizado.

Placa de control – Pista frontal de 3 mm de ancho las pistas que unen a los elementos del circuito.

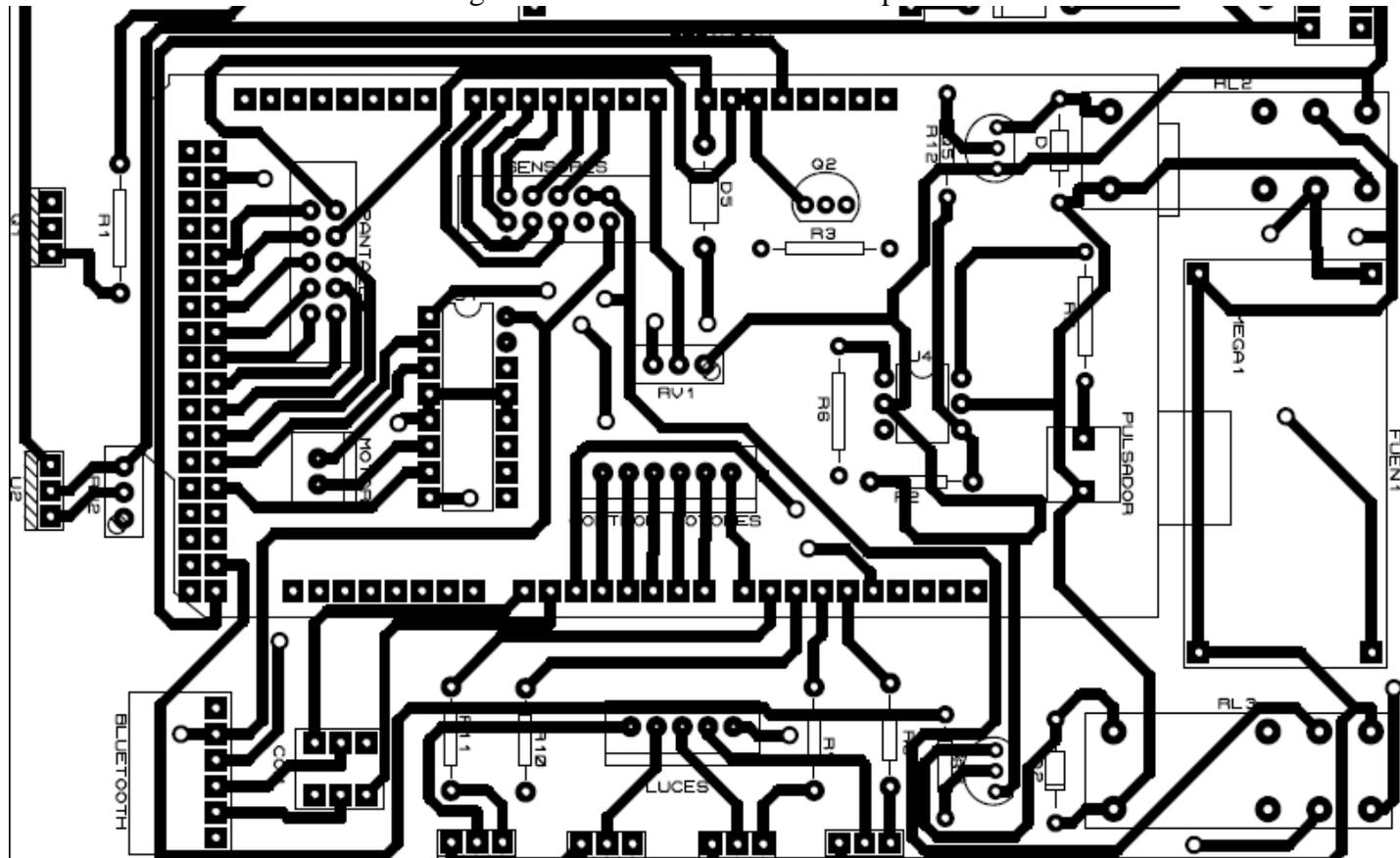
Figura 53. Placa de control – Pista frontal



Fuente. Los autores

Placa de control – Pista posterior de 3 mm de ancho las pistas que unen a los elementos del circuito.

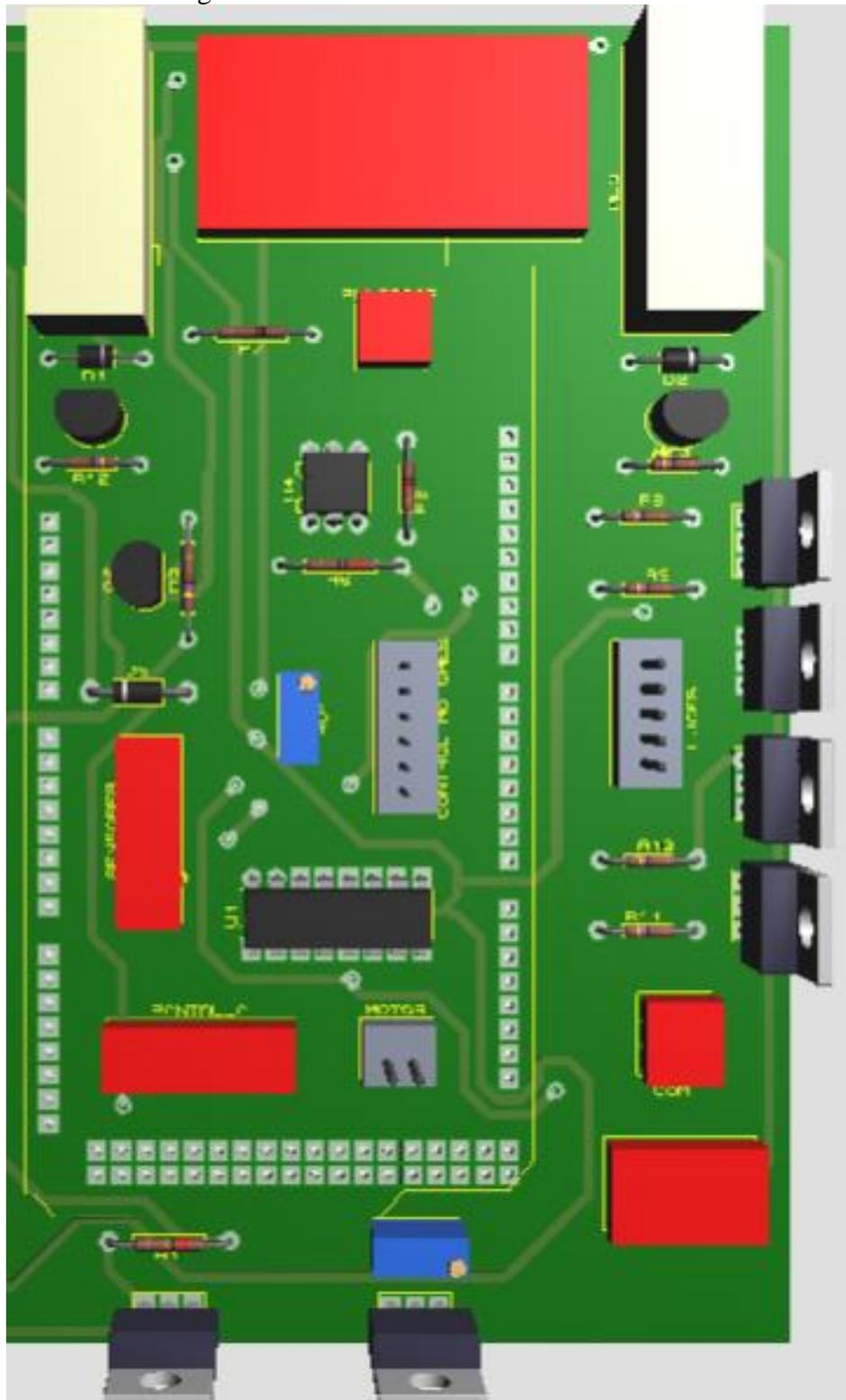
Figura 54. Placa de control – Pista posterior



Fuente. Los autores

Placa de control (ARES) en 3D permite visualizar como están posicionados cada uno de los elementos que forman parte del circuito.

Figura 55. Placa de control en 3D – Frontal.



Fuente. Los autores

4.4.3 *Desarrollo para la construcción de la placa central*

Aplicaciones de los micro controladores de licencia gratuita como lo son los de la familia arduino.

Diseño de los circuitos ISIS que nos permite representar de forma digital al circuito y ejecutar pruebas de funcionalidad todos los circuitos utilizados.

Diseño de las pistas de cada uno de los circuitos en la aplicación ARES de Proteus para determinar las medidas de las placas de los circuitos.

Visualización de los elementos en las placas en 3D gracias a las aplicaciones de Proteus.

Impresión de todos los circuitos utilizados en hojas de papel crulle que permitan realizar un estampado de las pistas en la fibra doble capa.

Lavado de las pistas con ácido para definir las pistas en la fibra doble capa en donde se colocaran los demás elementos de los circuitos.

Taladrado de la fibra donde se posicionaran los pines de los elementos y los pernos de sujeción de las placas.

Determinación de los parámetros de protección de carga de la batería utilizada en el modelo.

Proceder al soldado de los pines de los elementos de cada una de las diferentes placas.

Realizar un lavado con tñer de las placas para retirar impurezas y evitar que exista continuidad en la placa para evitar dañar el circuito.

Colocar todas las placas de los diferentes circuitos el modelo para posteriormente realizar pruebas de funcionamiento.

Programación del arduino para que controle el proceso de carga de las baterías, luces y pantalla de visualización de datos en tiempo real del SOC de batería.

Lectura en el osciloscopio de la frecuencia de oscilación del circuito emisor que se utiliza en este circuito.

Realización de las pruebas correspondientes.

4.5 Circuito para visualización de carga.

Para visualizar el estado de carga de la batería en tiempo real se utiliza un LCD.

4.5.1 *Materiales del circuito para visualización de carga.* Se utiliza un regulador de tornillo para la resolución del LCD.

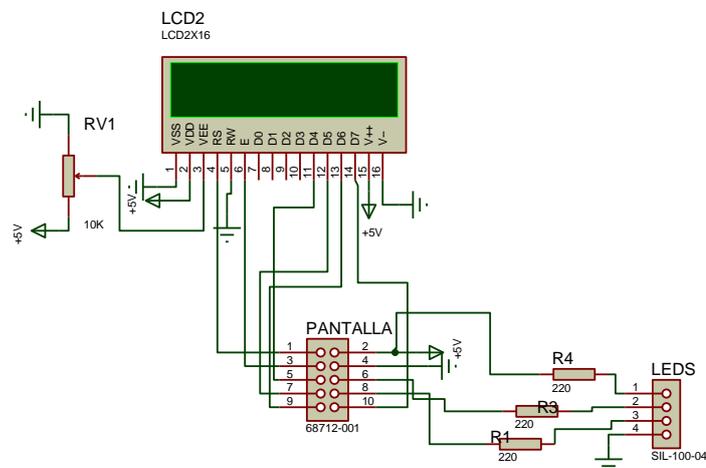
Tabla 10. Materiales de la pantalla

Categoría	Cantidad	Valor
Resistencias	3	220 ohm
LCD	1	2X16
Conector	1	4 Pines
Conector	1	10 Pines
Regulador	1	10K

Fuente. Los autores

4.5.2 *Diseño del circuito de la pantalla de control.* Mediante el uso de un bus de datos se comunicara el circuito con la placa central para determinar el estado de carga en tiempo real.

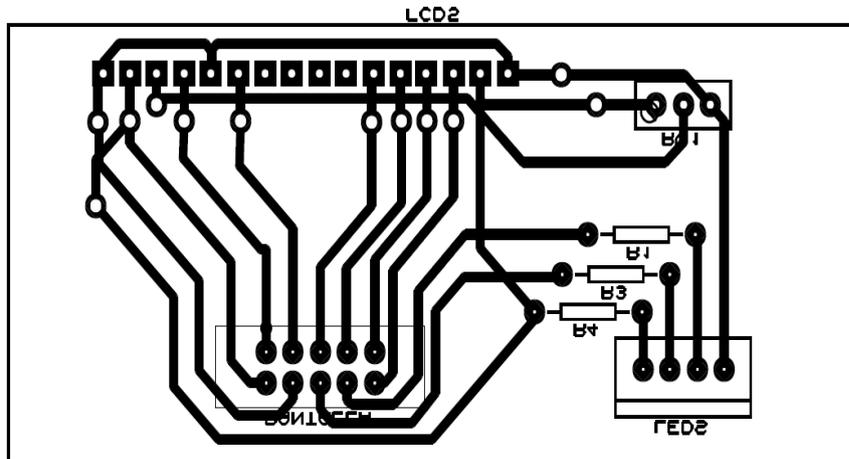
Figura 56. Circuito de la pantalla de control.



Fuente. Los autores

Pista del circuito de la pantalla de control. de 3 mm de ancho las pistas que unen a los elementos del circuito.

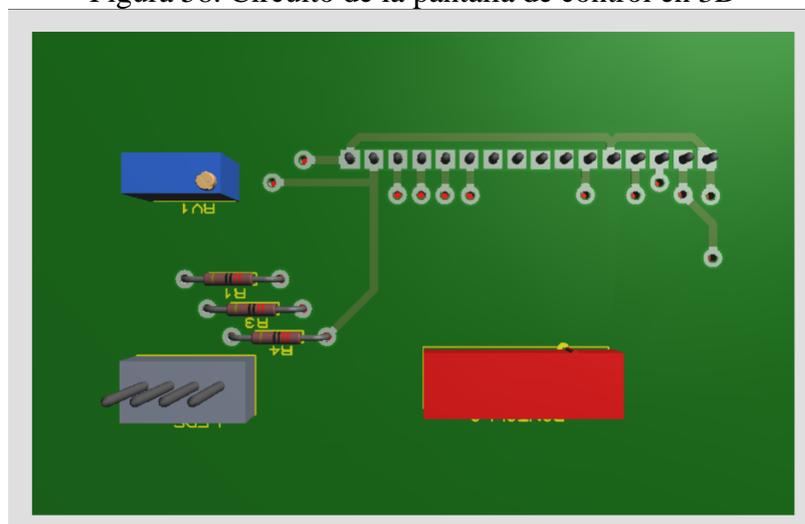
Figura 57. Pista del circuito de la pantalla de control.



Fuente. Los autores

Circuito de la pantalla de control en 3D en 3D permite visualizar como están posicionados cada uno de los elemento que forman parte del circuito.

Figura 58. Circuito de la pantalla de control en 3D



Fuente. Los autores

4.5.3 Desarrollo para la construcción del circuito de la pantalla

Aplicaciones de los micro controladores de licencia gratuita como lo son los de la familia arduino.

Diseño de los circuitos emisor, receptor, placa central. En el software Proteus específicamente en la aplicación

ISIS que nos permite representar de forma digital al circuito y ejecutar pruebas de funcionalidad todos los circuitos utilizados.

Diseño de las pistas de cada uno de los circuitos en la aplicación ARES de Proteus para determinar las medidas de las placas de los circuitos.

Visualización de los elementos en las placas en 3D gracias a las aplicaciones de Proteus.

Impresión de todos los circuitos utilizados en hojas de papel crulle que permitan realizar un estampado de las pistas en la fibra doble capa.

Lavado de las pistas con ácido para definir las pistas en la fibra doble capa en donde se colocaran los demás elementos de los circuitos.

Taladrado de la fibra donde se posicionaran los pines de los elementos y los pernos de sujeción de las placas.

Determinación de los parámetros de protección de carga de la batería utilizada en el modelo.

Proceder al soldado de los pines de los elementos de cada una de las diferentes placas.

Realizar un lavado con tñer de las placas para retirar impurezas y evitar que exista continuidad en la placa para evitar dañar el circuito.

Colocar todas las placas de los diferentes circuitos el modelo para posteriormente realizar pruebas de funcionamiento.

Programación del arduino para que controle el proceso de carga de las baterías, luces y pantalla de visualización de datos en tiempo real del SOC de batería.

Lectura en el osciloscopio de la frecuencia de oscilación del circuito emisor que se

utiliza en este circuito.

4.6 Realización de las pruebas correspondientes.

Una vez finalizado el diseño y construcción del modelo de recarga inductiva se procedió a realizar las siguientes pruebas de funcionamiento.

4.6.1 *Pruebas realizada al circuito emisor.* Con la ayuda de un multímetro digital se tomó las siguientes lecturas.

Tabla 11. Resultados circuito emisor

Voltaje de entrada	120 V de corriente alterna
Voltaje de salida	24 voltios de continua
Frecuencia de salida	130 kHz
Amperaje de salida	1,3 mA
Voltaje pico a pico	200 V

Fuente. Los autores

4.6.2 *Pruebas realizadas al circuito receptor.* La lectura de la frecuencia es tomada del osciloscopio en tiempo real obteniendo un valor aproximado al calculado.

Tabla 12. Resultados circuito receptor

Voltaje de entrada	30 V
Voltaje de carga	13,5 V
Frecuencia de oscilación	130 kHz
Amperaje de carga	1,3 mA

Fuente. Los autores

4.6.3 *Pruebas realizadas a la placa central de control.* Se colocó tres led en serie donde se puede observar si el modelo de recarga inductiva funciona correctamente.

Tabla 13 resultados placa central

Prueba de voltaje	Enciende LED 1
Arranque de programación	Enciende LED 2
Funcionamiento de la programación	Enciende LED 3

Fuente. Los autores

CAPÍTULO V

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones.

Se diseñó y construyó el modelo de recarga inductiva de las baterías para autos eléctricos.

Se diseñó el sistema inteligente de recarga inductiva.

Se construyó el sistema de control electrónica de potencia para el sistema de recarga inductiva.

Se realizaron las pruebas de funcionamiento del modelo de recarga inductiva.

5.2 Recomendaciones.

Continuar con el desarrollo del modelo de recarga inductiva para llevarlo a un prototipo real.

Contar con los equipos necesarios para realizar las pruebas.

Las bobinas deben estar bien enrolladas para evitar pérdidas teniendo así una eficiencia correcta.

Conocer más acerca de las facilidades que muestra el uso de arduino para automatización de procesos.

Conocer más acerca del lenguaje de programación de arduino.

Continuar con investigaciones del desarrollo del campo automotriz puntualmente autos eléctricos e híbridos que serán utilizados en gran medida con el paso de los años.

BIBLIOGRAFÍA

M Olmo R Nave. ca 2008. Inductancia Aproximada de un Toroide. *Hyperphysics*. [En línea] Georgia State University, ca 2008. [Citado el: 22 de 08 de 2015.] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/magnetic/indtor.html>.

Alejandro, José. 2000. Componentes Electronicos. *Planeta Electronico*. [En línea] 17 de 12 de 2000. [Citado el: 12 de 08 de 2015.] <http://www.planetaelectronico.com/cursillo/tema2/tema2.3.html>.

Beto. 2010. Ley de Coulomb. *La web de fisica*. [En línea] 18 de 10 de 2010. [Citado el: 28 de 07 de 2015.] <http://forum.lawebdefisica.com/entries/204-Fuerza-electrost%C3%A1tica-ley-de-Coulomb>.

Catedu. 2003. Ley de Faraday. *Demo Educativa*. [En línea] 07 de 02 de 2003. [Citado el: 28 de 10 de 2015.] http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/3000/3234/html/13_ley_de_faraday.html.

El Telégrafo. 2015. Ecuador introducirá los vehículos eléctricos con 0% aranceles. *Decano de la prensa*. [En línea] 2015. [Citado el: 15 de 06 de 2015.] <http://www.telegrafo.com.ec/economia/item/ecuador-introducir-los-vehiculos>.

Feynman R. Leighton, Sands. 1972. *The Feynman lectures on Physics on physics*. Córdoba : Fondo Educativo Interamericano, 1972.

Garcia, Angel Franco. 2013. Campo Magnético. *Curso Interactivo de Fisica*. [En línea] 01 de 01 de 2013. [Citado el: 25 de 09 de 2015.] http://www.sc.edu.es/sbweb/fisica_/elecmagnet/campo_magnetico/ampere/ampere.html.

García, Ángel Franco. ca 2010. Campo Magnetico. *Curso Interactivo de Física en Internet*. [En línea] ca 2010. [Citado el: 28 de 09 de 2015.] http://www.sc.edu.es/sbweb/fisica_/elecmagnet/campo_magnetico/magnetico/cMagnetico_1.html.

—. **ca 2010.** El Solenoide y el Toroide. *Curso Interactivo de Física en Internet*. [En línea] ca 2010. [Citado el: 25 de 09 de 2015.] <http://www.sc.edu.es/sbweb/fisica/elecmagnet/magnetico/cMagnetico.html>.

Gonzalez, Victoria. ca 2012. Carga de Baterías. *Muy Interesante*. [En línea] ca 2012. [Citado el: 25 de 08 de 2015.] <http://www.muyinteresante.es/innovacion/articulo/recarga-electrica-por-induccion-carga-las-baterias-sin-enchufar-el-coche>.

HyperPhysics. 2010. Ley de Faraday. *HyperPhysics*. [En línea] 27 de 08 de 2010. [Citado el: 26 de 10 de 2015.] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/electric/farlaw.html>.

J., Barbero Antonio. c.a 2010. Inducción Electromagnética. *Revista Española de Fisica*. [En línea] c.a 2010. [Citado el: 10 de 08 de 2015.] https://www.uclm.es/profesorado/ajbarbero/Teoria/Leccion_Induccion_Electromagnetica.pdf.

Kip, Arthur F. 1967. *Fundamentos de Electricidad y Magnetismo*. [trad.] Jose L. LlorentSebastián. Madrid : Catillo S. A, 1967.

M Olmo R Nave. 2010. Electricidad y Magnetismo. *HyperPhysics*. [En línea] 25 de 07 de 2010. [Citado el: 24 de 09 de 2015.] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/magnetic/amplaw.html>.

Nave, M Olmo R. 2015. HyperPhysics. *HyperPhysics*. [En línea] 2015. [Citado el: 29 de 10 de 2015.] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/magnetic/magfield.html>.

Reitz, Jonh R. 1995. *Fundamentos de la Teoria Electromagnética*. [trad.] Carlos Gerardo Martínez Ávila. Mexico : Addison - Wesley, 1995.

Reverté. ca 1981. Materiales Ferromagneticos. *Circuitos Magnéticos y Transformadores*. [En línea] ca 1981. [Citado el: 28 de 09 de 2015.] http://patricioconcha.ubb.cl/transformadores/materiales_ferromagneticos.htm.

Risso, Prof. Dino E. 2012. Maxwell.ciencias. *Maxwell.ciencias*. [En línea] 25 de 04 de 2012. <http://maxwell.ciencias.ubiobio.cl/~drisso/electro/apuntes/Ferromagneticos.pdf>.

Sabelotodo. 2013. Ley de la Inducción de Faraday. *Ser cultos para ser libres*. [En línea] 01 de 01 de 2013. [Citado el: 27 de 10 de 2015.] <http://www.sabelotodo.org/fisica/leydefaraday.html>.

Universidad de Sevilla. 2013. Ley de Faraday. *La Place*. [En línea] UNIVERSIDAD DE SEVILLA, 23 de 05 de 2013. [Citado el: 12 de 10 de 2015.] [http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ley_de_Faraday_\(GIE\)](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ley_de_Faraday_(GIE)).

Universidad de Vigo. 2012. Electromagnetismo. *CURSO MULTIMEDIA DE ELECTROMAGNETISMO*. [En línea] 02 de 04 de 2012. [Citado el: 20 de 09 de 2015.] http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web_electromagnetismo/electromagnetismo_leyes.htm.

—. 2012. Electromagnetismo. *Curso multimedia de electomagnetismo*. [En línea] 02 de 03 de 2012. [Citado el: 01 de 10 de 2015.] http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web_electromagnetismo/electromagnetismo_leyes.htm#faradayylenz.

Universidad Michoacana de San Nicolas. 2013. Trabajo Electrico. *Coordinación de Innovación Educativa*. [En línea] 10 de 3 de 2013. [Citado el: 15 de 08 de 2015.] http://dieumsnh.qfb.umich.mx/ELECTRO/potencial_electrico.htm.

Universidad Saragoza. ca 2011. La carga por inducción de vehículo eléctrico . *Campus Iberus*. [En línea] ca 2011. [Citado el: 2 de 09 de 2015.] <http://www.unizar.es/prensa/noticias?id=4308>.

Universidades e Investigación del Gobierno Vasco. 2011. Primera Ley de Ampere. *Hirupedia*. [En línea] Universidades e Investigación del Gobierno Vasco, 24 de 05 de 2011. [Citado el: 15 de 09 de 2015.] <http://www.hiru.com/fisica/fuerzas-entre-corrientes-electricas-primera-ley-de-ampere>.

Universitat Politècnica de València. 2013. Clasificación de los materiales magnéticos. *U.P.V.* [En línea] 01 de 01 de 2013. [Citado el: 28 de 09 de 2015.] http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm10/pfcm10_3_4.html.

Wikipedia. 2003. Espectro electromagnético. *La Enciclopedia Libre*. [En línea] 08 de 05 de 2003. [Citado el: 25 de 10 de 2015.] https://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_electromagn%C3%A9tico.

—. **2015.** Regla de la mano derecha. *La Enciclopedia Libre*. [En línea] 12 de 03 de 2015. [Citado el: 27 de 10 de 2015.] https://es.wikipedia.org/wiki/Regla_de_la_mano_derecha.

ANEXOS

ANEXO A

Tipos de baterías

ANEXO B
Campos electromagnéticos

ANEXO C
Programación

ANEXO E

Data Sheet- Modulo HC-05 Bluetooth

ANEXO F
Data Sheet- TIP 35

ANEXO G

Data Sheet- -Arduino Mega