

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR**



**Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz**

**Proyecto de grado previo a la obtención del Título de Ingeniería en Mecánica Automotriz.**

**Diseño y elaboración de un gaussímetro para medición de radiación electromagnética en el vehículo híbrido “Toyota Prius” de la facultad de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador.**

**Pedro Andrés Chonata Miranda**

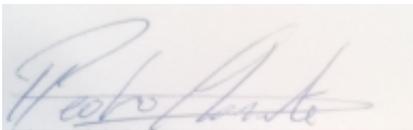
**Director: Ing. Edgar Cajas**

**Quito, Enero 2017**

## CERTIFICACIÓN

Yo Pedro Andrés Chonata Miranda, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.

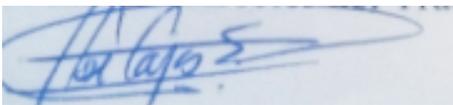


Firma del Graduado

Pedro Andrés Chonata Miranda

C.I. 1718133109

Yo Ing. Edgar Cajas, certifico que, conozco al autor del presente trabajo, siendo el responsable tanto de su originalidad como de su contenido.



Firma del Director del Trabajo de Grado

Ing. Edgar Cajas

## **DEDICATORIA.**

El presente trabajo va dedicado a mis padres, pilar fundamental en mi vida y que con su ejemplo me han sabido forjar siempre por un camino de bien, lleno de virtudes y valores que me acompañaran para toda mi vida.

A Joaquín, que con su llegada, llenó nuestros hogares de felicidad y cariño, y a Denisse, quien ha sido de gran ayuda para la elaboración de este proyecto y quien ha sabido apoyarme en todas las circunstancias a lo largo de este camino.

## **AGRADECIMIENTO.**

Quiero agradecer en primer lugar a mis padres, por todo el apoyo que me han sabido brindar durante toda mi vida, por estar en el momento justo donde necesitaba una guía y un soporte para forjar mi vida.

Así también, quiero agradecer a mis hermanos, Belén, Roberto y Diego, quienes me han apoyado en todo sentido durante toda mi vida, y que han sabido darme un consejo y una palabra de aliento cuando el tiempo lo ameritaba.

Agradezco también a Denisse, por todo su apoyo y por toda su dedicación para la elaboración de este proyecto y por ser una guía y un soporte para mi vida.

También agradezco a todos mis amigos y compañeros, que han estado conmigo desde el principio de este reto, con quienes compartimos tantas alegrías pero también momentos difíciles y siempre hemos permanecido unidos a pesar de las adversidades.

Por último, agradecer a todo el personal de la Facultad de ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador por toda la ayuda y enseñanzas que me han brindado, en especial al Ing. Edgar Cajas, quien ha sido la principal guía y soporte para la elaboración de este proyecto.

## ÍNDICE.

CERTIFICACIÓN .....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
INDICE DE TABLAS .....	XIV
INDICE DE ECUACIONES .....	XV
RESUMEN .....	XVI
ABSTRACT.....	XVII
Introducción.....	1
Planteamiento del Problema.....	1
Objetivo general.....	2
Objetivos Específicos.....	2
Justificación Teórica .....	3
Justificación Metodológica .....	3
Justificación Práctica.....	4
Delimitación Temporal.....	4
Delimitación Geográfica.....	5
Delimitación del Contenido .....	5

Capítulo I.....	6
1. Estudio del Electromagnetismo .....	6
1.1. Descripción del modelo electromagnético.....	6
1.2. Estudio de los campos eléctricos estáticos.....	7
1.3. Ley de Coulomb.....	8
1.4. Campo eléctrico. ....	11
1.4.1. Intensidad del campo eléctrico.....	12
1.5. Campos magnéticos. ....	13
1.5.1. Dirección de la fuerza. ....	16
1.5.2 Fuerza del campo magnético. ....	17
1.5.3. Fuentes de campos magnéticos.....	18
1.5.4. Ley de Biot Savart. ....	19
1.6. Flujo magnético. ....	20
1.7. Fuerza Electromotriz Inducida (Fem).....	21
1.7.1. Ley de Faraday para la Fem Inducida.....	21
1.7.2. Ley de Lenz.....	23
1.7.3. Fuerza electromotriz producida por movimiento.....	23
1.8. Electromecánica. ....	24
1.8.1. Generadores eléctricos. ....	25
1.8.2. Motor eléctrico.....	28
1.8.3. Torca sobre una bobina plana. ....	29

1.9. Campo electromagnético que puede resistir el ser humano.....	30
Capítulo II.....	32
2. Autos Híbridos.....	32
2.1. Historia y Generalidades.....	32
2.1.1. Modos de conducción del vehículo híbrido.....	34
2.2. Configuraciones de los Vehículos Híbridos.....	35
2.2.1. Configuración en serie.....	35
2.2.2. Configuración en paralelo.....	36
2.2.3 Configuración Mixta.....	37
2.3. Componentes de los vehículos híbridos.....	38
2.3.1. Motor de Combustión Interna.....	38
2.3.2. Moto – Generadores.....	39
2.3.3. Sistema Inversor.....	43
2.3.4. Sistema de enfriamiento para moto generadores e inversor.....	46
2.3.5. Conjunto de la Batería de Alta tensión.....	48
2.3.5.1. Sistemas de Seguridad y Medidas de Seguridad para la manipulación de baterías de alta tensión.....	52
Capítulo III.....	56
3. Diseño y Construcción del Gaussímetro.....	56
3.1. Generalidades.....	56
3.2. Elementos del circuito electrónico.....	57
3.2.1. Sensor de efecto hall modelo HAL 1821.....	57

3.2.2. Micro controlador .....	61
3.2.3. Display. ....	66
3.3. Diseño y construcción de la tarjeta electrónica.....	67
3.3.1. Diseño de la tarjeta electrónica. ....	67
3.3.2. Construcción circuito impreso. ....	70
3.4 Control de calidad y funcionamiento de la placa. ....	83
3.5. Carcasa de protección del equipo. ....	86
Capítulo IV .....	88
4. Pruebas de funcionamiento del Gaussímetro y mediciones en vehículo Toyota Prius.....	88
4.1. Prueba de funcionamiento del equipo.....	88
4.1.1. Pruebas con aparatos Eléctricos.....	88
4.1.2. Pruebas con una bobina. ....	94
4.1.3 Pruebas en alternador del vehículo Kia Sportage .....	99
4.2. Mediciones en el vehículo Toyota Prius.....	101
4.2.1. Generalidades.....	101
4.2.2 Pruebas con el vehículo apagado. ....	103
4.2.3. Pruebas con el vehículo en ralentí. ....	105
4.2.4. Pruebas con el vehículo funcionando a una velocidad de 20km/h. ....	106
4.2.5. Pruebas con el vehículo funcionando a 40 km/h. ....	107
4.2.6. Pruebas con el vehículo funcionando a 60 km/h. ....	109
4.2.7. Pruebas con el vehículo funcionando a 80 km/h. ....	110

Conclusiones.....	113
Recomendaciones.....	114
BIBLIOGRAFIA.....	116
Anexos.....	119

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Líneas de campo eléctrico de una carga puntual positiva .....	8
Figura 1.2 Balanza de torsión de Coulomb.....	9
Figura 1.3 Líneas de campo magnético .....	14
Figura 1.4 Fuerza producida por una carga en un campo magnético .....	15
Figura 1.5 Ley de la mano derecha.....	16
Figura 1.6 Protón viajando a una velocidad de 7m/s.....	17
Figura 1.7 Ley de la mano derecha para determinar la dirección del campo .....	18
Figura 1.8 Campo magnético producido por un elemento de corriente.....	19
Figura 1.9 Experimento de Faraday y Henry de corrientes inducidas .....	22
Figura 1.10 Esquema de generador eléctrico.....	25
Figura 1.11 Fuerza electromotriz inducida en relación con el tiempo.....	26
Figura 1.12 Generación de corriente alterna por el giro de espira.....	26
Figura 1.13 Funcionamiento de estator de una espira .....	27
Figura 1.14 Funcionamiento de un motor eléctrico básico.....	28
Figura 1.15 Bobina inducida con un campo magnético.....	30
Figura 2.1 Toyota Prius propiedad de la Universidad Internacional del Ecuador.....	33
Figura 2.2 Modos de Conducción del vehículo híbrido.....	35
Figura 2.3 Configuración híbrida en serie .....	36
Figura 2.4 Configuración híbrida en paralelo.....	37
Figura 2.5 Configuración híbrida mixta .....	38
Figura 2.6 Motor de Combustión Interna .....	39
Figura 2.7 Sistema de freno regenerativo. ....	41

Figura 2.8 Esquema de Sistema de Motores Generadores.....	42
Figura 2.9 Inversor Toyota Prius .....	44
Figura 2.10 Electrónica del Inversor.....	45
Figura 2.11 Conectores desde la batería de alta tensión al inversor .....	46
Figura 2.12 Sistema de enfriamiento para moto generadores e inversor.....	47
Figura 2.13 Conjunto de Baterías de alta tensión .....	49
Figura 2.14 Ubicación del Conjunto de Batería HV de 201,6 V .....	50
Figura 2.15 Ubicación de la Batería Auxiliar de 12V .....	52
Figura 2.16 Jumper de Seguridad .....	53
Figura 2.17 Sistema de relevadores .....	54
Figura 2.18 Sistemas de seguridad .....	55
Figura 3.1 Esquema interno del sensor HAL 1821 .....	58
Figura 3.2 Sensor HAL 1821.....	60
Figura 3.3 Descripción de los pines del sensor HAL 1821 .....	61
Figura 3.4 Disposición de pines del micro controlador .....	64
Figura 3.5 Configuración del display LCD .....	66
Figura 3.6 Circuito esquemático del equipo. ....	68
Figura 3.7 Circuito elaborado en el programa Pcb .....	69
Figura 3.8 Diseño de circuito impreso para la hoja de transferencia.....	70
Figura 3.9 Hoja de transferencia puesta en la placa madre .....	71
Figura 3.10 Placa con hoja de transferencia lista.....	72
Figura 3.11 Placa sumergida en agua para retirar papel de transferencia.....	73
Figura 3.12 Retiro del papel de transferencia de la placa madre .....	74
Figura 3.13 Diseño de circuito transferido en placa madre .....	74

Figura 3.14 Remoción de exceso de cobre con cloruro férrico .....	76
Figura 3.15 Placa retirada el exceso de cobre.....	77
Figura 3.16 Placa después de la limpieza de tóner .....	78
Figura 3.17 Perforación de la placa .....	79
Figura 3.18 Suelda del micro controlador a la placa .....	80
Figura 3.19 Suelda de elementos de circuito integrado .....	80
Figura 3.20 Suelda del amplificador operacional en la placa. ....	81
Figura 3.21 Suelda de elementos en la placa del regulador de voltaje .....	82
Figura 3.22 Suelda del socket para la batería .....	82
Figura 3.23 Medición del voltaje de alimentación del sensor hall .....	83
Figura 3.24 Medición de voltaje de salida del sensor hall.....	84
Figura 3.25 Medición de voltaje de salida con imán de neodimio .....	85
Figura 3.26 Medición de voltaje de salida con mayor campo detectado .....	85
Figura 3.27 Tapa de la carcasa.....	86
Figura 3.28 Gaussímetro.....	87
Figura 4.1 Medición de radiación en un computador de escritorio .....	90
Figura 4.2 Medición de radiación en una televisión a color .....	91
Figura 4.3 Medición de radiación en un refrigerador .....	91
Figura 4.4 Medición de radiación en una lavadora de platos .....	92
Figura 4.5 Medición de radiación en una cocina de inducción .....	93
Figura 4.6 Medición de campo en la bobina.....	95
Figura 4.7 Medida de campo en la bobina a una distancia de 3cm .....	96
Figura 4.8 Medida de campo con medio de ceniza a distancia de 3cm .....	97
Figura 4.9 Medición de radiación con medio de limadura de acero a 5cm .....	98

Figura 4.10 Medición en el alternador con el vehículo apagado .....	99
Figura 4.11 Medición en los cables de batería con el vehículo en ralentí .....	100
Figura 4.12 Medición en alternador con el vehículo en ralentí .....	100
Figura 4.13 Medición de radiación con el capó cerrado .....	101
Figura 4.14 Vehículo de Prueba .....	102
Figura 4.15 Medición en la cabina con el vehículo apagado.....	103
Figura 4.16 Medición en el motor del con el vehículo apagado.....	104
Figura 4.17 Medición en el inversor con el vehículo apagado .....	104
Figura 4.18 Medición en la cabina posterior con el vehículo en ralentí.....	105
Figura 4.19 Medición en el inversor con el vehículo en ralentí .....	106
Figura 4.20 Medición en el cuerpo del copiloto a una velocidad de 20km/h. ....	107
Figura 4.21 Medición en el cuerpo del piloto a una velocidad de 40 km/h.....	108
Figura 4.22 Medición en la cabina posterior a 40 km/h .....	108
Figura 4.23 Medición en la cabina posterior a una velocidad de 60 km/h .....	109
Figura 4.24 Medición Cabina Posterior a velocidad de 80 km/h.....	110
Figura 4.25 Medición Cuerpo Copiloto a una velocidad de 80 km/h.....	111

## INDICE DE TABLAS

Tabla1.1 Constante dieléctrica de diversos materiales. ....	11
Tabla1.2. Límites de radiación magnética para el ser humano.....	31
Tabla 2.1 Descripción de los Motores Generadores .....	40
Tabla 2.2 Características del MG1 .....	42
Tabla 2.3 Características del MG2 .....	43
Tabla 2.4 Especificaciones para el sistema de enfriamiento para MG1 y MG2.....	48
Tabla 2.5 Especificaciones del Conjunto HV del Toyota prius.....	51
Tabla 3.1 Parámetros de trabajo del sensor HAL 1821 .....	59
Tabla 3.2 Características de funcionamiento del Atmel mega 328P. ....	62
Tabla3.3 Comparación entre micro controladores de diferentes marcas.....	63
Tabla 3.4 Configuración de pines del display.....	67
Tabla 4.1 Radiación emitida por aparatos eléctricos comunes .....	89
Tabla4.2 Tabla de mediciones en los equipos eléctricos .....	94
Tabla 4.3 Mediciones de campo en la bobina según la distancia y según el medio .....	98
Tabla 4.4 Tabla de registro para mediciones de radiación en el Toyota Prius .....	103
Tabla 4.5 Tabla de los valores medidos en mG en el vehículo Toyota prius .....	112

## INDICE DE ECUACIONES

Ec.[1.1] : Campo eléctrico.....	9
Ec.[1.2]: Campo eléctrico para el vacío.....	10
Ec.[1.3]: Intenidad de Campo eléctrico.....	12
Ec.[1.4]: Fuerza de Campo eléctrico.....	12
Ec.[1.5]: Fuerza de Campo eléctrico.....	13
Ec.[1.6]: Fuerza de Campo eléctrico.....	13
Ec.[1.7]: Fuerza del campo magnético.....	17
Ec.[1.8]:Campo magnético producido por un elemento de corriente.....	20
Ec.[1.9]: FEM Inducida.....	21
Ec.[1.10]:Fuerza electromotriz producida por movimiento.....	24

## RESUMEN

**Tema:** Diseño y elaboración de un gaussímetro para medición de radiación electromagnética en el vehículo híbrido “Toyota Prius” de la Facultad de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador.

La presente investigación tiene como principal objetivo, el desarrollar un gaussímetro de uso universal, mediante el estudio de leyes y variables magnéticas, estudio de funcionamiento y componentes de vehículos híbridos y la programación de un sensor de efecto hall, para poder medir campos magnéticos de diferentes fuentes, en especial de vehículos híbridos.

Para el desarrollo de este proyecto, se adquirió un equipo universal calibrado, para poder tomar medidas referenciales de radiación producida por diferentes fuentes, después de obtener estas medidas de referencia, se pudo establecer la escala de medidas necesarias para calibrar el gaussímetro construido artesanalmente, mediante la programación del sensor Hal 1821. Después de su calibración y construcción, se realizó diferentes pruebas en equipos eléctricos y en el vehículo Toyota Prius, notando y estableciendo las diferencias entre el equipo adquirido y el equipo construido.

Se obtuvo como resultado final, que el gaussímetro construido artesanalmente presenta fallas en su medición, principalmente por la descalibración que presenta el sensor de efecto Hall 1821, ya que en el mercado no se puede conseguir sensores de efecto hall con una sensibilidad inferior a la que presenta este sensor, de igual manera la radiación magnética producida por vehículos híbridos es muy baja, por lo cual nuestro equipo es incapaz de detectar los campos producidos en estos automotores.

**PALABRAS CLAVES:** Gaussímetro, Radiación, Híbrido, Electromagnetismo, Campos

## **ABSTRACT**

**Topic:** Design and construction of a gaussimeter for measurement of electromagnetic radiation in the hybrid vehicle "Toyota prius" property of Universidad Internacional del Ecuador.

The main objective of this investigation, is to develop and build an universal gaussimeter, by studying the laws of magnetism, the main parts of the hybrid vehicles and programming a hall sensor, in order to measure different magnetic fields, especially the fields produced by hybrid vehicles.

Developing the Project, it was necessary to buy an calibrated gaussimeter, in order to take different measures as reference. When these measures where established, we could determine the proper scale in order to program our hall sensor. After we built and calibrated our gaussimeter, we measure diferent magnetic field sources, and also we measured de the fields produced by the vehiccle Toyota Prius, establishing the differences between the profesional gaussimeter and the gaussimeter built in this Project.

It was obtained as a final result, that the gaussimeter built in this project, presents faults in its measurement, mainly by the calibration that presents the Hall effect sensor 1821, since in the market hall sensors can not be obtained with a sensitivity lower than the one that presents this sensor, likewise the magnetic radiation produced by hybrid vehicles is very low, so the gaussimeter is unable to detect the fields produced in these cars.

**KEYWORDS:** Gaussimeter, radiation, Hybrid, electromagnetism, fields

## **Introducción.**

En los últimos años, los autos híbridos se han convertido en la primera opción de vehículo con sistema de propulsión alternativo, por su eficiencia, ahorro y bajos niveles de contaminación al ambiente en cuanto a emisiones. Al combinar dos sistemas de propulsión, ofrece un mejor desempeño combinándolo con mayor fiabilidad con respecto a los autos eléctricos.

Al combinar un sistema de propulsión normal con un sistema eléctrico, este producirá radiaciones electromagnéticas al ambiente, ya que todo su sistema alternativo funciona a base de motores eléctricos y generadores que son los encargados de otorgar la propulsión del vehículo en bajas velocidades además de otras funciones. Existen estudios de los efectos de la radiación en individuos y plantean que la persona expuesta a este tipo de campo, puede adquirir diferentes tipos de enfermedades cardiovasculares y neuro – degenerativas, así como desarrollar cáncer de leucemia, aumentando este riesgo en los niños. La Organización Mundial de la Salud, también indica que puede existir riesgo de que una persona expuesta a campos de contaminación electromagnética, por tiempos prolongados, pueda mostrar síntomas de depresión, ansiedad, fatiga, náuseas, irritación ocular, acompañados de fuertes dolores de cabeza. Es por esta razón que la presente investigación se enfocará en la construcción de un dispositivo que nos permita detectar la radiación producida por este tipo de vehículos.

## **Planteamiento del Problema.**

La preocupación por reducir el consumo de combustibles derivados del petróleo y de crear nuevos combustibles alternativos, ha llevado a despreocuparse acerca de las posibles desventajas y riesgos que puede tener un sistema de propulsión alternativo. A pesar de los

grandes esfuerzos de los fabricantes de autos en los últimos años por reducir la contaminación y las emisiones, los vehículos con sistema de propulsión alternativa, van ganando cada día más espacio entre los consumidores y propietarios de autos a nivel mundial.

En nuestro país, es limitada la investigación acerca de sistemas de propulsión alternativos en vehículos, aún más escasa es la investigación acerca de niveles de radiación magnética producidos por autos híbridos. Es por esto que se desarrollará un equipo que sea capaz de medir esta radiación, logrando identificar los valores de radiación electromagnética producidos por el vehículo Toyota Prius.

### **Objetivo general**

- Diseñar y elaborar un gaussímetro, mediante el estudio y el análisis de las diferentes leyes y variables magnéticas, para la medición de radiación magnética en el vehículo híbrido Toyota Prius.

### **Objetivos Específicos**

- Investigar las teorías de electro magnetismo en conjunto con la contaminación electromagnética, aplicando un estudio de todos los principios relacionados con la teoría magnética, para relacionar la misma con el campo de los autos híbridos.
- Realizar un estudio de las características del vehículo Toyota Prius, estableciendo la investigación de sus diferentes fases de funcionamiento y sus componentes, para poder recopilar toda la información necesaria para realizar mediciones de radiación magnética en este vehículo.
- Construir un gaussímetro universal, capaz de detectar campos magnéticos de diferentes fuentes, a través del estudio y programación de un sensor de efecto hall, con la finalidad de realizar múltiples pruebas en diferentes equipos y vehículos.

## **Justificación Teórica**

Todo problema de investigación puede ser abordado desde diferentes enfoques. Es decir, en toda disciplina la teoría es esencial para la comprensión de los fenómenos. El marco teórico que se presenta a continuación, forma parte de las reflexiones, enfoques y tendencias en la comprensión de los procesos electromagnéticos con los efectos que la radiación de los mismos provocan en la salud del ser humano.

Para el estudio del tema propuesto, la disciplina en estudio sugiere distintas teorías que se ajustan en el análisis. Es importante mencionar que se traerá a colación distintos enfoques conceptuales que facilitarán el estudio de objeto de investigación.

Toda la literatura revisada, si bien es extensa en cuanto a los conceptos, sustentos teóricos, técnicos y conceptuales que fundamentarían el estudio que se plantea, no aportan elementos suficientes en cuanto al objeto mismo de la investigación, por lo cual la presente tesis buscará presentar elementos innovadores que contribuyan a incrementar el conocimiento acumulado.

## **Justificación Metodológica**

La revisión general de la literatura nos ha dejado como conclusión que existen estudios dispersos y pocos específicos sobre la temática de investigación, por lo cual se puede concluir que el análisis de la misma aportaría sustancialmente a su mejor conocimiento. Respalda, además, su pertinencia académica ya que se inscribe en la línea de investigación de Física y Nuevas Tecnologías de la Facultad de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador.

El estudio comprende un enfoque cualitativo, que entiende que el investigador describe, y aporta al conocimiento acumulado. Por lo tanto, en una primera instancia, el método a ser

usado en la investigación será el deductivo puesto que se analizará desde los efectos negativos a la salud por parte de la radiación electromagnética hasta la medición de la radiación en el auto Toyota Prius.

Para lograr una correcta descripción, la investigación también tendrá un carácter exploratorio, para determinar el correcto funcionamiento del gaussímetro que se va diseñar, para que este nos de valores de medidas de radiación lo más cercanos a la realidad.

El presente estudio busca recurrir a técnicas de investigación como las entrevistas mediante cuestionarios estructurados a expertos que se relacionen o tengan amplio conocimiento sobre el tema.

Por último, se acudirá a una revisión bibliográfica, documentaria y normativa, útil para el estudio y análisis para la construcción de este trabajo de investigación.

### **Justificación Práctica.**

El tema propuesto tiene como finalidad la creación de un gaussímetro para la medición de ondas electromagnéticas que ayudará a medir la radiación del carro híbrido Toyota Prius de la Universidad Internacional del Ecuador.

### **Delimitación Temporal.**

El presente tema propuesto está delimitado en un tiempo de 30 semanas aproximadamente. En este periodo de tiempo se realizarán varias actividades previamente establecidas de investigación, construcción y medición. Todas las actividades serán avaladas por el tutor del proyecto de investigación

## **Delimitación Geográfica**

El presente proyecto de investigación será desarrollado en la ciudad de Quito, Ecuador, algunas mediciones y pruebas del mismo se realizarán en la Universidad Internacional del Ecuador y sus alrededores, mientras que otras pruebas que requieran mayor velocidad del vehículo, se las realizarán en el sector urbano de la ciudad de Quito.

## **Delimitación del Contenido**

El presente proyecto de investigación va a contener tres capítulos teóricos y prácticos y un último capítulo donde se realizarán las mediciones con el equipo que se ha propuesto realizar en este proyecto, además se darán a conocer las conclusiones y recomendaciones de la investigación. En los diferentes capítulos de esta investigación se tratará los siguientes temas:

En el primer capítulo se abordará temas referentes a las teorías de electromagnetismo, motores eléctricos y a la generación de campos electromagnéticos.

En el segundo capítulo se realizará un estudio a profundidad del vehículo híbrido Toyota Prius, para así poder determinar las características y componentes del mismo así como también entender su funcionamiento.

El tercer capítulo será la parte práctica del proyecto de investigación. Se diseñará un modelo y se construirá un gaussímetro que ayude a realizar las pruebas de radiación electromagnética del Toyota Prius de la Universidad Internacional del Ecuador.

En el capítulo cuarto se realizarán pruebas de funcionamiento del gaussímetro en vehículos, y aparatos electrónicos, ya que se pretende construir un equipo universal que pueda medir diferentes campos magnéticos provenientes de distintas fuentes.

## Capítulo I.

### 1. Estudio del Electromagnetismo

#### 1.1. Descripción del modelo electromagnético

Parafraseando a Cheng (1998), que en su libro de fundamentos de electromagnetismo para ingeniería, determina que el electromagnetismo se encarga de estudiar tanto fenómenos eléctricos como magnéticos que resultan de la interacción de cargas eléctricas, estas cargas pueden encontrarse estáticas o en movimiento. También indica que se debe que tomar en cuenta que tanto cargas negativas como positivas son fuente de campo electromagnético, y cuando estas cargas se encuentran en movimiento se produce una corriente, la cual genera un campo magnético.

En la actualidad, el modelo electromagnético tiene un gran campo de aplicación en nuestra vida cotidiana, se puede encontrar el empleo de este modelo en elementos de uso diario, como son el uso de computadores, teléfonos móviles, cocinas de inducción y demás elementos que utilizamos en nuestro diario vivir. En el campo de la ingeniería automotriz podemos encontrar que diversos elementos emplean este modelo en su funcionamiento, es así que en el vehículo podemos identificar el uso de alternadores, motores de arranque y en el caso de autos híbridos encontramos el uso de moto generadores, mismos que serán el enfoque principal de nuestro estudio en la presente investigación.

El objetivo principal de este trabajo de investigación será entender de manera íntegra el estudio de campos electromagnéticos para entender sus leyes y principios, y de esta manera realizar la construcción de un gaussímetro, el cual permitirá medir campos magnéticos de diferentes fuentes y así determinar la radiación electromagnética producida por autos híbridos y otros aparatos eléctricos. El gaussímetro, al ser un equipo universal, permitirá

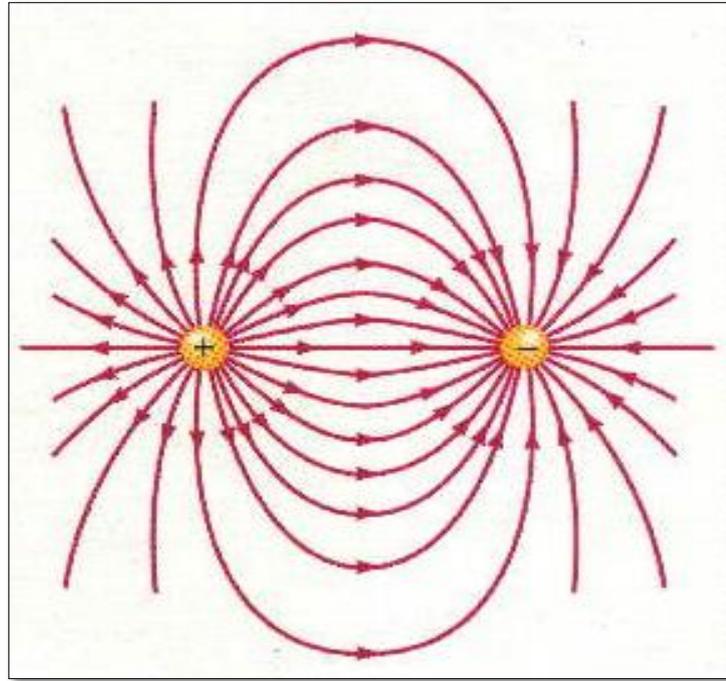
realizar estudio más amplio de las leyes y principios del electromagnetismo, mediante prácticas de mediciones en diferentes fuentes.

## **1.2. Estudio de los campos eléctricos estáticos.**

La electrostática, se encarga de estudiar las cargas eléctricas en reposo y de esta forma los campos eléctricos que no varían con el tiempo. El estudio de este tipo de campos constituye la base para el posterior estudio del electromagnetismo, es decir que si se quiere dominar el estudio de campos electromagnéticos más complicados, será de suma importancia el dominar el estudio de la electrostática.

La electrostática va muy ligada del electromagnetismo, ya que este último es una especialidad de la física que comprende el estudio de los fundamentos de la electrostática y el electromagnetismo unificados. Citando a Cheng (1998), que Basándose en hechos históricos, afirma en su publicación de fundamentos de electromagnetismo para ingeniería, que el estudio de los campos eléctricos estáticos se basó en la teoría del científico francés Charles Agustín Coulomb, que en el año de 1785 formuló y dio a conocer lo que hoy en día se conoce como la ley de Coulomb, la cual la estudiaremos y analizaremos más adelante y que se ha convertido en el principio más importante para el estudio de las cargas eléctricas. En años posteriores el físico alemán Karl Gauss, ayudó de gran manera en el estudio de los campos electromagnéticos, ya que junto con otros científicos y físicos desarrollaron lo que hoy en día se conoce como la ley de Gauss, siendo esta de vital importancia para el estudio de campos eléctricos y magnéticos. Estas dos leyes serán de fundamental importancia para todo el estudio de campos eléctricos y magnéticos, sean estos estáticos o variables con el tiempo, por lo cual se otorgará un especial énfasis en el estudio de dichas leyes para poder así analizar y recopilar toda la información necesaria para el estudio e interpretación de la radiación magnética, y los efectos que esta pueda ejercer en las personas.

En la Figura 1.1, se puede observar las líneas de campo eléctrico que produce una carga puntual positiva.



**Figura 1.1** Líneas de campo eléctrico de una carga puntual positiva

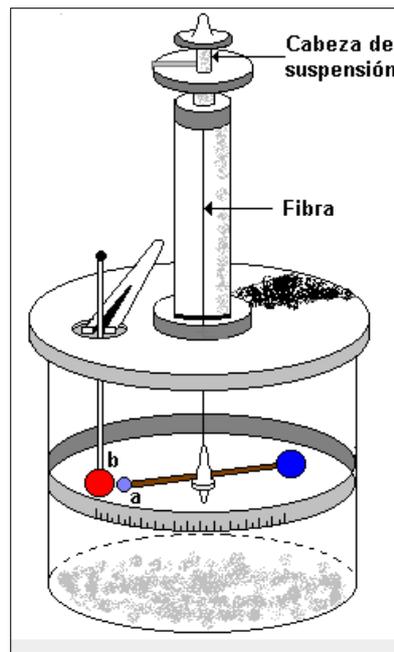
**Fuente:** Ecu Red, sf. Campo eléctrico. Tomado de:  
[https://www.ecured.cu/Campo\\_el%C3%A9ctrico](https://www.ecured.cu/Campo_el%C3%A9ctrico)

### 1.3. Ley de Coulomb.

En el campo de la electrostática, las fuerzas que se generan entre cargas eléctricas pueden ser de repulsión o atracción. Como se había explicado anteriormente Coulomb fue el pionero en el estudio de cargas electrostáticas, por lo que realizó la primera investigación acerca de las magnitudes de las cargas, para así poder establecer relaciones entre las distancias entre ellas, dando como resultado lo que se conoce como ley de Coulomb. Todo esto gracias a la utilización de una balanza de torsión, que posteriormente se la conoció como la balanza de Coulomb. Coulomb utilizó elementos básicos que contaba en la época, utilizando una caja de madera y un cilindro de cristal que poseía una cinta graduada la cual permitía observar los

resultados obtenidos. En el interior del cilindro colocó una esfera que al ser electrizada generaba unos ángulos de torsión que eran medidos en la cinta graduada.

En la Figura 1.2 se puede observar la construcción y el funcionamiento de la balanza de torsión de Coulomb.



**Figura 1.2** Balanza de torsión de Coulomb.

**Fuente:** Intercentres, sf. Ley de Coulomb. Tomado de:  
<http://intercentres.edu.gva.es/iesleonardodavinci/Fisica/Campo-electrico/Electrico4.htm>

La ley de Coulomb determina la fuerza que se genera entre dos cargas separadas por una distancia. Si estas cargas tienen signos iguales se repelen, si estas poseen signos diferentes se atraen, generando así una fuerza denominada fuerza de Coulomb.

La fuerza de Coulomb se la puede determinar con la siguiente fórmula:

$$F=K \cdot \frac{q \cdot q^1}{r^2} \text{ Ec.[1.1]:}$$

“Donde:

F= Fuerza de Coulomb. [N]

K= Constante k de la ley de Coulomb. [Nm<sup>2</sup>/c<sup>2</sup>]

q y q<sup>1</sup> = Cargas puntuales. [C]

r= Distancia entre las cargas. [m]”

La constante de la ley de Coulomb, tiene el valor de:  $8.988 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{c}^2$ , que a menudo se lo aproxima al valor de  $9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{c}^2$ . El valor de la constante K de la ley de Coulomb puede ser remplazado por  $1/4\pi\epsilon_0$ , en donde  $\epsilon_0$  representa la permisividad del espacio libre, por lo que la fórmula de la ley de Coulomb para el cálculo de fuerza en el vacío quedaría de la siguiente manera:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q \cdot q^1}{r^2} \quad \text{Ec.}[1.2]:$$

Ejemplo:

Dos cargas puntuales, del mismo signo se encuentran separadas centro a centro por una distancia de 1.8 m. Si cada carga experimenta una fuerza de 4N, ¿cuán grande será el valor de las cargas?

Aplicando la fórmula de la ley de Coulomb tomando en cuenta una constante dieléctrica de 1, despejamos las cargas.

$$F = K \cdot \frac{q \cdot q^1}{r^2}$$

$$q^2 = \frac{F \cdot r^2}{k}$$

$$q^2 = \frac{4N \cdot (1,8m)^2}{9 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2}$$

$$q = 3,79 \times 10^{-5} \text{ C} \quad \text{R.}$$

Cuando se desea calcular la fuerza en un medio circulante que no sea el vacío, será necesario determinar la constante dieléctrica K de cada materia

**Tabla1.1** Constante dieléctrica de diversos materiales.

Material	Constante Dieléctrica (K)
Vacío	1
Aire	100.059
Polipropileno	2.2
Poli estireno	2.6
Policarbonato	2.8
Poliéster	3.3
Papel	3.5
Aceite para transformadores	4.5
Vidrio	4.7
Mica	5.4
Porcelana	6.5
Silicio	12
Agua	80.4
Cerámica de titanio	130
Titanato de estroncio	310

**Fuente:** Resnick, H & K, 1999, p104. Física de Resnick Vol 2.

#### 1.4. Campo eléctrico.

El campo eléctrico existe en cualquier punto del espacio en donde se pueda colocar una carga de prueba, y que dicha carga experimente una fuerza eléctrica. Se denomina carga de

prueba a una carga muy pequeña en magnitud y tamaño, que se utiliza para realizar mediciones en un sistema eléctrico, al ser muy pequeña se considera despreciable sobre su medio. La dirección del campo eléctrico será la misma dirección de la fuerza que experimente una carga positiva ubicada en dicho campo. Si colocamos una carga en cualquier punto de un campo eléctrico, experimentara una fuerza determinada por:

$$F = q \cdot I \quad \text{Ec.[1.3]:}$$

“Donde:

F= Fuerza de campo eléctrico.

q= Carga.

I= Intensidad de campo eléctrico.”

Si la carga es negativa, la fuerza será opuesta en sentido a la intensidad del campo eléctrico.

#### **1.4.1. Intensidad del campo eléctrico.**

La intensidad de cualquier campo eléctrico será igual a la fuerza experimentada por una carga positiva colocada en dicho campo. Bueche & Hetch (2007) nos indican en su libro que para realizar el cálculo de la intensidad del campo eléctrico debido a una carga puntual será necesario usar la ley de Coulomb, ya que si colocamos una carga  $q^1$  a una distancia ( $r$ ) de una carga  $q$  esta experimentará una fuerza.

$$I = \frac{1}{k} \cdot \frac{q \cdot q^1}{r^2} \quad \text{Ec.[1.4]:}$$

Si la carga  $q^1$  se coloca en un punto donde el campo eléctrico es  $E$  la fuerza sobre  $q^1$  será la siguiente:

$$I = q^1 \cdot E \quad \text{Ec.}[1.5]:$$

Al comparar las ecuaciones 1.4 y 1.5 tenemos que para calcular la intensidad del campo eléctrico de una carga puntual  $q$  se usará la siguiente fórmula:

$$I = K \cdot \frac{q}{r^2} \quad \text{Ec.}[1.6]:$$

Ejemplo:

Una carga de  $8 \times 10^{-9} \text{ C}$ , es colocada en el aire a una distancia de 45cm. Calcule el campo eléctrico producido por dicha carga.

Empleamos la fórmula para calcular la intensidad de campo eléctrico, de la siguiente manera,

$$I = K \cdot \frac{q}{r^2}$$

$$I = 9 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2 \cdot \frac{8 \times 10^{-9} \text{ C}}{0,45^2}$$

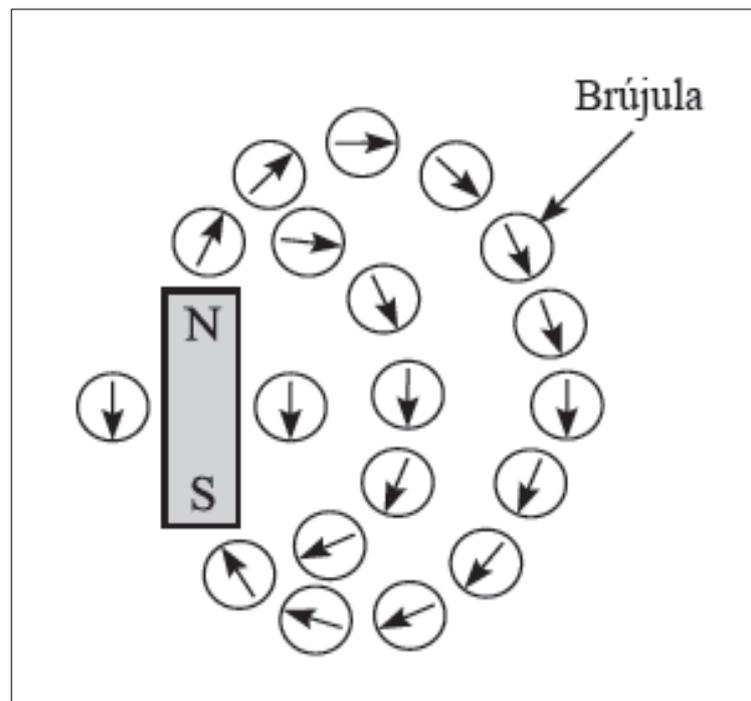
$$I = 0,35 \text{ kN/C}$$

### **1.5. Campos magnéticos.**

El estudio del magnetismo data desde muchos años atrás, cuando en Grecia se encontraron restos de magnetita. Los físicos de la época se dieron cuenta inmediatamente que dicho elemento poseía un gran poder de atracción. La magnetita se descubrió cerca del pueblo de

Magnesia en Grecia, por lo que de ahí se deriva todos los nombres relacionados con el magnetismo.

Los campos magnéticos pueden producirse por varios factores, por ejemplo, por un imán permanente como la magnetita, por cargas en movimiento o por un flujo de corriente. Parfraseando a Bueche & Hetch (2007) que en su publicación de Física General de Shaum, se afirma que se puede determinar las líneas de campos magnéticos con la ayuda de un imán, que se lo puede ubicar en cualquier región del espacio. Las líneas de este campo magnético tomarán la dirección hacia donde apunta la aguja de la brújula. En la Figura 1.3 se muestra el método para determinar las líneas de campo cercanas a un imán. Regularmente se toma la dirección de la aguja (imán) como la dirección de campo.

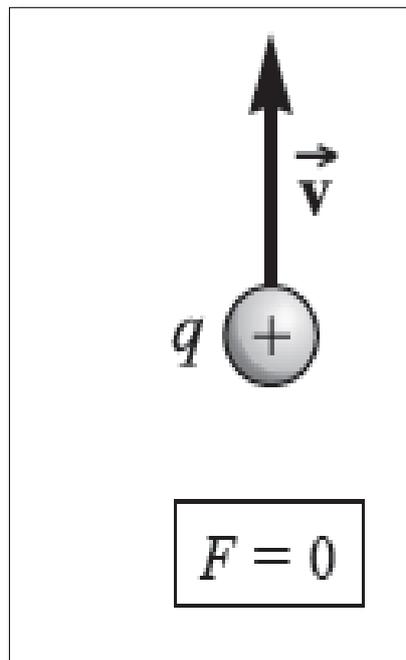


**Figura 1.3** Líneas de campo magnético

**Fuente:** Bueche & Hetch, 2007, p260. Física General de Shaum.

Un imán, como el presentado en la Figura 1.3, puede tener uno o más polos, pero será primordial que cuente con un polo norte y un polo sur. Parafraseando a Bueche & Hetch (2007) que en su publicación de Física General de Shaum indican que la brújula sin importar las condiciones siempre apuntará hacia el norte (N), es por eso que en la figura las líneas de campo magnético salen del polo norte para poder entrar al polo sur (S). Los polos del mismo tipo, sean estos norte o sur, se repelen el uno al otro, mientras que los polos distintos siempre se atraen el uno al otro sin excepción alguna.

Toda carga que se mueva a través de un campo magnético, experimentará una fuerza debido al campo. En la Figura 1.4 se puede observar la fuerza que experimenta una carga al moverse con una cierta velocidad.



**Figura 1.4** Fuerza producida por una carga en un campo magnético

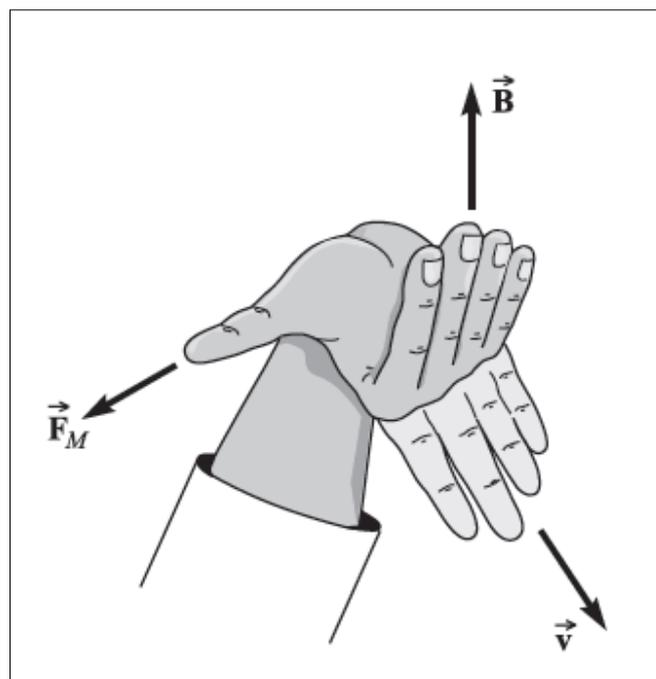
**Fuente:** Bueche & Hetch, 2007, p260. Física General de Shawm.

### 1.5.1. Dirección de la fuerza.

La dirección de la fuerza que actúe sobre cualquier carga se podrá determinar gracias a la ley de la mano derecha. Bueche y Hetch describen como aplicar de manera correcta la ley de la mano derecha de la siguiente manera:

“Mantenga la mano extendida. Apunte los dedos en la dirección del campo. Oriente el dedo pulgar a lo largo de la dirección de la velocidad de la carga positiva. Entonces, la palma de la mano empuja en la dirección de la fuerza que actúa sobre la carga. La dirección de la fuerza que actúa sobre una carga negativa es opuesta a la que actúa sobre una carga positiva” (Bueche y Hetch, 2007, p 261).

En la Figura 1.5 se puede observar el correcto uso de la ley de la mano derecha.



**Figura 1.5** Ley de la mano derecha

**Fuente:** Bueche & Hetch, 2007, p261. Física General de Shawm.

### 1.5.2 Fuerza del campo magnético.

La fuerza que se ejerce sobre una carga en movimiento en un campo magnético viene determinada por la siguiente fórmula:

$$F = qvB \cdot \sin \theta \quad \text{Ec. [1.7]:}$$

“Donde:

F= Fuerza [N].

q = Magnitud de la carga [C].

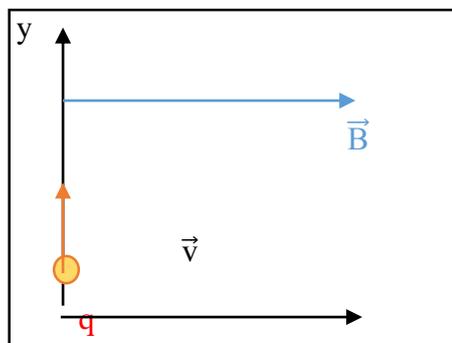
v= Velocidad de la carga [m/s].

B= Intensidad del campo magnético [T].

$\sin \theta$  = Seno del ángulo entre las líneas de campo y velocidad.”

Ejemplo:

En el Figura 1.6 de ejemplo, se suelta un protón con una velocidad de 7 m/s. Calcular la fuerza ejercida por el protón si existe un campo uniforme de  $5 \times 10^{-4}$  T en la dirección de x.



**Figura 1.6** Protón viajando a una velocidad de 7m/s.

**Fuente:** Pedro Chonata

Empleamos la fórmula para el cálculo de la fuerza del campo magnético, tomando en cuenta que el ángulo formado entre las líneas del campo y de la velocidad es de  $90^\circ$ .

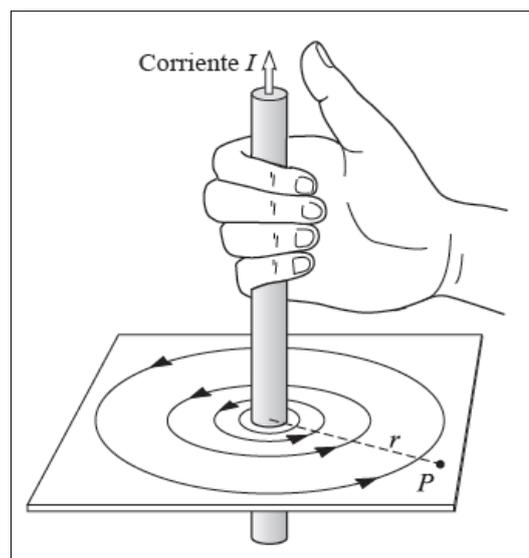
$$F = qvB \cdot \sin \vartheta$$

$$F = (1,6 \times 10^{-19} \text{ C}) \cdot (7\text{m/s}) \cdot (5 \times 10^{-4}\text{T}) \cdot \sin 90^\circ$$

$$F = 5,6 \times 10^{-22}\text{N} \quad \text{R.}$$

### 1.5.3. Fuentes de campos magnéticos.

Parafraseando a Bueche & Hetch (2007) que afirman en su publicación Física General de Shaum, que los campos magnéticos se producen gracias al movimiento de cargas, con lo que también se produce corrientes eléctricas. Para determinar la dirección de la corriente será necesario utilizar nuevamente la ley de la mano derecha. Se debe sujetar el material, que puede ser un alambre, con la mano derecha, levantando el dedo pulgar hacia la dirección de la corriente, tal y como se indica en la Figura 1.7. Los dedos rodearán el elemento en la misma dirección que se produce el campo magnético.



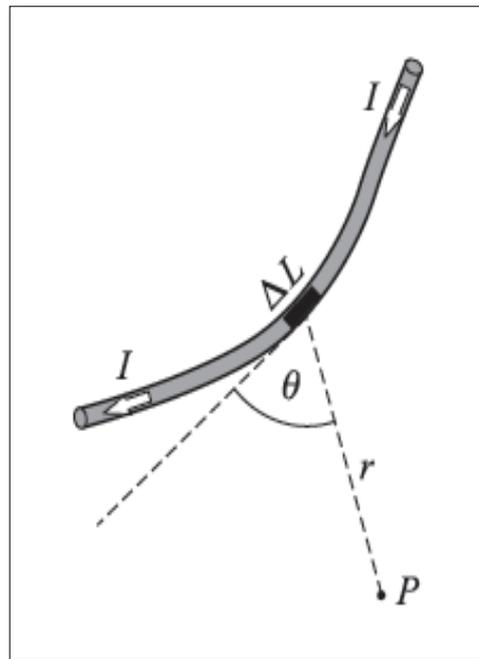
**Figura 1.7** Ley de la mano derecha para determinar la dirección del campo

**Fuente:** Bueche & Hetch, 2007, p268. Física General de Shawm.

En la actualidad existen infinidad de materiales ideales para crear campos magnéticos, siendo los materiales ferromagnéticos, como el hierro, los mejores materiales para favorecer la creación de campos magnéticos. Esto se da gracias a que estos materiales pueden actuar como imanes gracias a su composición interna.

#### 1.5.4. Ley de Biot Savart.

La ecuación de Biot Savart, es la que nos permite determinar los campos magnéticos generados por un elemento de corriente. En la Figura 1.8 podemos observar como en un punto P, un elemento de corriente con longitud ( $L$ ) contribuye con la generación de un campo magnético. Para calcular el campo magnético de este tipo de elementos también será necesario determinar la permeabilidad magnética del vacío del medio donde se encuentra el elemento de corriente.



**Figura 1.8** Campo magnético producido por un elemento de corriente

**Fuente:** Bueche & Hetch, 2007, p269. Física General de Shawm.

Para poder determinar la generación de este campo será necesario aplicar la siguiente ecuación de Biot Savart.

$$B = \frac{\mu \times I}{L} \quad \text{Ec. [1.8]:}$$

“Donde:

$\mu_0$  = Permeabilidad magnética del vacío.

I = Corriente.

$\Delta L$  = Longitud de alambre”

### **1.6. Flujo magnético.**

Para proceder con el estudio del flujo magnético, será necesario determinar los campos variables con el tiempo. Se había estudiado que en un campo donde fluya una corriente estacionaria se produciría un campo magnético estático. Cheng (1998) indica que estos modelos de campo magnéticos más sencillos no producen ondas que se mueven y se propagan, al contrario de un campo variable, en donde las líneas de campo magnético son la parte más importante de la electromagnética a distancia y en movimiento. Con esto nos podremos dar cuenta que un campo electromagnético variable es capaz de inducir un campo eléctrico y viceversa.

Citando a modo de parafraseo a Bueche & Hetch (2007), que en su publicación de Física General de Shaum, señalan que las líneas en un campo magnético pueden representarse gráficamente con el uso de líneas, éstas tendrán que ser proporcionales al campo magnético producido, de tal modo que las líneas perpendiculares que inciden en un área tendrán relación directa con el campo magnético. El flujo magnético ( $\Phi_M$ ) a través de una área (A) al producto

de la componente perpendicular del campo magnético por el área, y esto por el coseno del ángulo formado por la perpendicular del área y la dirección del campo magnético. El flujo magnético se expresará en Webers.

### **1.7. Fuerza Electromotriz Inducida (Fem).**

Esta fuerza se dará siempre y cuando exista un cambio en el flujo magnético, sea que este se encuentre disminuyendo o aumentando. Esta fuerza se dará solo en el momento en el que el flujo cambie a través del área.

#### **1.7.1. Ley de Faraday para la Fem Inducida.**

Michael Faraday, físico británico, determinó uno de los mayores avances en el estudio de la electromagnética, ya que en el año de 1831 en uno de sus múltiples experimentos, se dio cuenta que cuando el flujo magnético que atravesaba una espira se cambiaba, se producía una inducción de corriente. Es de aquí, que la ley de Faraday se convierte en el postulado encargado de relacionar cuantitativamente la fuerza electromotriz inducida y el cambio de flujo (Cheng, 1998). La fuerza electromotriz inducida cuando se produce un cambio de flujo magnético, en una bobina con un número de vueltas  $N$  vendrá determinada de la siguiente manera:

$$\varepsilon = - N \frac{\Phi_M}{\Delta t} \quad \text{Ec. [1.9]}$$

“Donde:

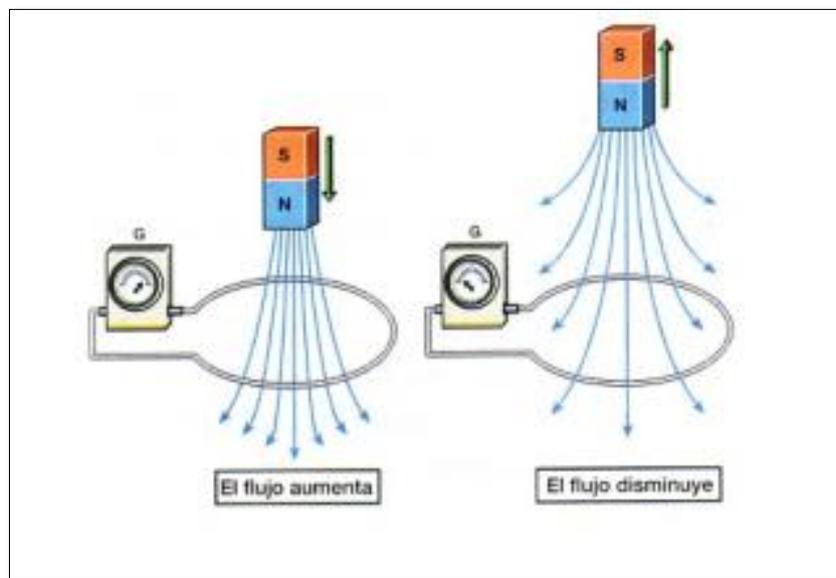
$\varepsilon$  = Fuerza electromotriz Inducida [V]

$\Phi_M$  = Flujo magnético [W]

$\Delta t =$  Tiempo [s]

N = Número de vueltas “

El signo negativo en el uso de la fórmula, indica que la fem se opone al cambio que la produce, esto gracias a la ley de Lenz que se basa en el principio de conservación de energía. Faraday y Henry en sus experimentos determinaron que aumentos y disminuciones de flujos magnéticos producen corrientes inducidas en sentidos opuestos.



**Figura 1.9** Experimento de Faraday y Henry de corrientes inducidas

**Fuente:** E-educativa, sf. Fenómenos de la inducción electromagnética. Tomado de: [http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio//2750/2959/hfenmenos\\_de\\_la\\_induccin\\_electromagntica.html](http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio//2750/2959/hfenmenos_de_la_induccin_electromagntica.html)

Ejemplo:

Entre los polos de un imán se mueve una bobina que cuenta con 80 vueltas de alambre. El tiempo de movimiento es de 0,035s. En este movimiento el área de la bobina intercepta un flujo de  $5.3 \times 10^{-4}$  Wb, hasta un lugar donde el flujo llega a ser de  $0,15 \times 10^{-4}$  Wb. Determine la fem promedio producida en la bobina.

$$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta \Phi_M}{\Delta t}$$

$$\mathcal{E} = -80 \cdot \frac{(5,3 - 0,15) \times 10^{-4} \text{ Wb}}{0,035 \text{ s}}$$

$$\mathcal{E} = 0,11 \text{ V R.}$$

### 1.7.2. Ley de Lenz.

La ley de Lenz se basa en el principio de la conservación de energía, gracias a que en el año de 1834 el físico germano-báltico Heinrich Lenz se basó en este principio para trasladarlo al campo de electromagnetismo. Parafraseando a Bueche & Hetch (2007) que en su libro de Física General de Shaum, señalan que con esto podemos determinar que, una fuerza electromotriz inducida siempre estará en una dirección opuesta al campo de flujo magnético que la produce. Por ejemplo, si en una bobina aumenta el flujo, la corriente producida por la fuerza electromotriz inducida creará una resistencia y tiende a cancelar este incremento de flujo. Caso contrario se da si es que en la bobina se empieza a reducir el flujo, aquí la fuerza electromotriz inducida tratará de restablecer ese flujo. Cabe indicar que por lo general no se logra restablecer ese flujo, o no se logra hacerlo por completo. Esta ley es de vital importancia ya que si hiciéramos caso omiso de la misma, las corrientes inducidas aumentarían el cambio de flujo, por lo que se transformará en un proceso indefinido.

### 1.7.3. Fuerza electromotriz producida por movimiento.

Cuando en el campo magnético, existe un conductor en movimiento que está cortando las líneas del campo, se producirá una fuerza electromotriz inducida. La ley de Faraday nos determina que la fórmula para calcular la fuerza electromotriz en un conductor recto de longitud (L), que se mueve con determinada velocidad en el campo es la siguiente:

$$\mathcal{E} = B \cdot L \cdot v \quad \text{Ec.}[1.10]:$$

“Donde:

$\mathcal{E}$ = Fuerza electromotriz inducida promedio [V].

B= Campo magnético. [W]

L= Longitud del conductor. [m]

v= Velocidad. [m/s<sup>2</sup>]”

En este caso, todavía se aplica la Ley de Lenz, en donde la fuerza electromotriz se opone al proceso. Esta vez la oposición se produce por la fuerza ejercida del campo magnético sobre el la corriente inducida en el conductor.

Ejemplo:

En un campo magnético uniforme de 55 Wb/m<sup>2</sup> se deposita una barra de cobre de 45 cm de longitud con una velocidad de 0,70 m/s. ¿Cuál será la fem inducida de la barra?

$$\mathcal{E} = B \cdot L \cdot v$$

$$\mathcal{E} = (55\text{Wb/m}^2) (0,45 \text{ m}) (0,70\text{m/s})$$

$$\mathcal{E} = 0,17\text{V}$$

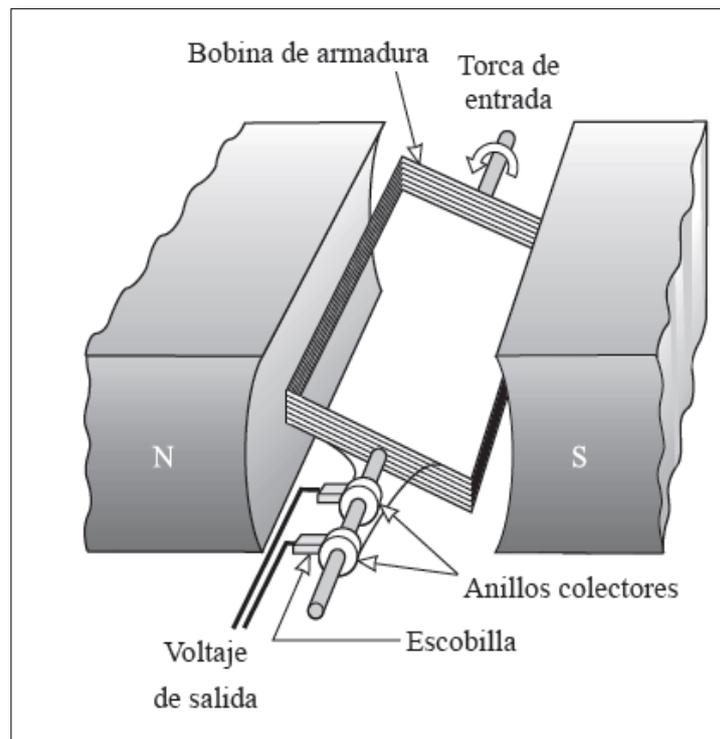
### **1.8. Electromecánica.**

La electromecánica se encarga de combinar el estudio de diferentes ramas, como son el electromagnetismo, la mecánica y la ingeniería eléctrica. El estudio de este tema será de vital

importancia, ya que aquí comprenderemos todo el estudio y el funcionamiento de generadores eléctricos y de cómo estos producen ondas electromagnéticas.

### 1.8.1. Generadores eléctricos.

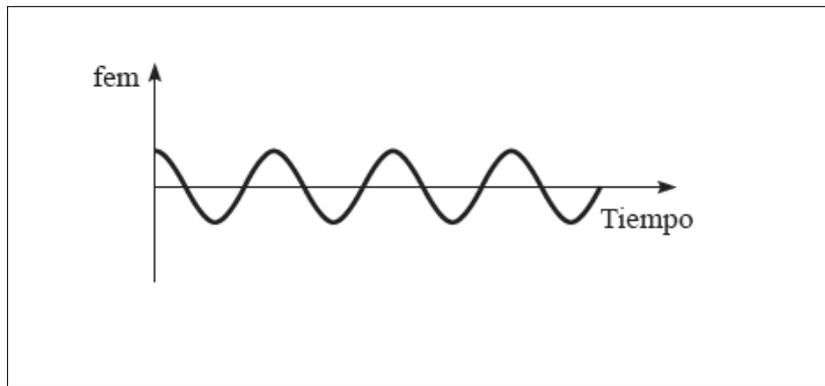
Los generadores eléctricos son máquinas encargadas de transformar energía mecánica en energía eléctrica. Se puede utilizar varias fuentes de energía externa, como eólica, solar, nuclear o la energía producida por restos fósiles, siendo estos los más comunes como el caso del gas, el diésel o la gasolina. En la Figura 1.10, podemos visualizar un generador básico que produce voltaje de corriente alterna, en donde una fuente de energía externa hace girar la bobina dentro de un campo magnético, para cortar así las líneas de campo e inducir una fuerza electromotriz.



**Figura 1.10** Esquema de generador eléctrico

**Fuente:** Bueche & Hetch, 2007, p281. Física General de Shaum.

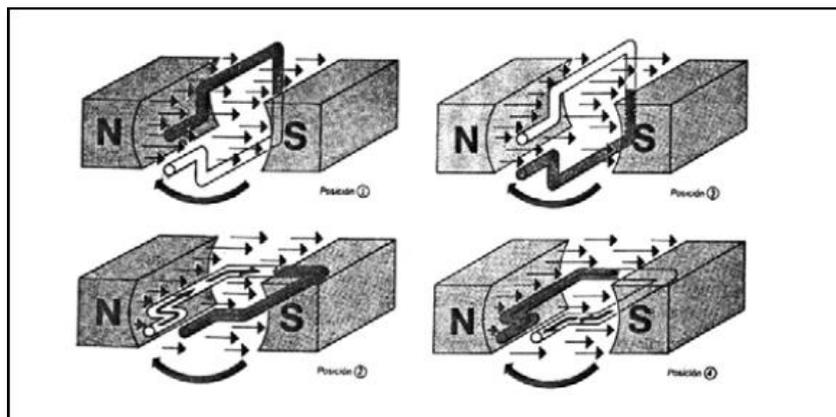
Como se había explicado anteriormente, la generación eléctrica nos permite crear una fuerza electromotriz inducida, esto dependerá de la relación del número de espiras que encontremos en la bobina y con la frecuencia que esta gire. En la Figura 1.11 podremos encontrar un ejemplo de la fuerza electromotriz inducida por una bobina. El sentido de circulación de corriente varía según la dirección de desplazamiento del conductor en el interior del campo magnético.



**Figura 1.11** Fuerza electromotriz inducida en relación con el tiempo

**Fuente:** Bueche & Hetch, 2007, p281. Física General de Shawm.

En la figura 1.12, podemos observar la generación de corriente mediante una espira.



**Figura 1.12** Generación de corriente alterna por el giro de espira.

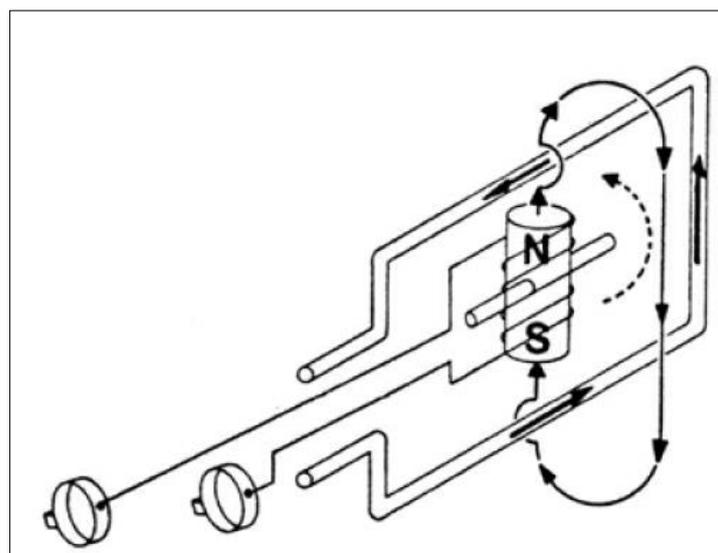
**Fuente:** Indiel., 2005, p4. Manual de taller de alternadores.

Cuando el generador se encuentra en el proceso de inducción de corriente, los alambres de la bobina experimentan un proceso de retroceso, gracias a la fuerza retardadora debido a la interacción del campo con la corriente. Es por esto que Bueche & Hetch (2007) afirman que el trabajo requerido por cualquier generador para mover la bobina será el siguiente:

$$(\text{Energía mecánica de entrada}) = (\text{energía eléctrica de salida}) + (\text{pérdidas de fricción})$$

Hay que tomar en cuenta que las pérdidas de fricción por lo general son una fracción muy pequeña de la energía de entrada. En esta pérdida también es necesario tomar en cuenta las pérdidas producidas por el calentamiento.

Indiel (2005) nos indica en su manual que existe la posibilidad de cambiar el imán permanente para producir corriente, esto gracias a la opción de utilizar un arrollamiento giratorio, por el cual se hará circular corriente, generándose así un campo inductor, al cual llamaremos rotor. Será necesario también contar con un arrollamiento fijo, al cual se le conoce como estator.

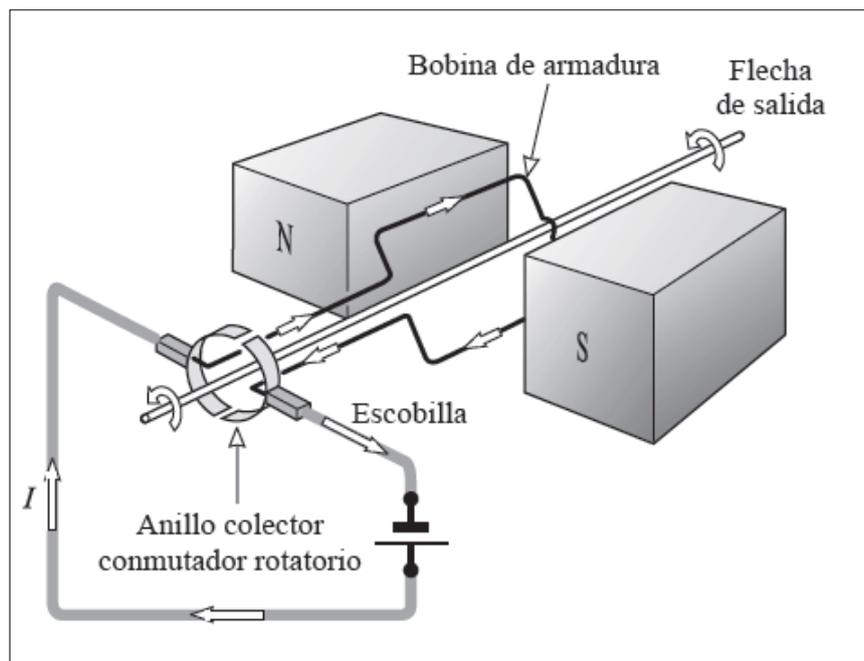


**Figura 1.13** Funcionamiento de estator de una espira

**Fuente:** Indiel., 2005, p6. Manual de taller de alternadores.

### 1.8.2. Motor eléctrico.

Los motores eléctricos son los encargados de transformar la energía eléctrica en energía mecánica. En la Figura 1.14 se puede apreciar el funcionamiento de un motor eléctrico básico que trabaja a un voltaje constante. La corriente pasa por la bobina de armadura e interactúa con el campo magnético y se produce una torca sobre la bobina lo que hace girar la bobina y la flecha de salida.



**Figura 1.14** Funcionamiento de un motor eléctrico básico

**Fuente:** Bueche & Hetch, 2007, p281 Física General de Shaum.

Citando en modo de parafraseo a Bueche & Hetch (2007), que en su libro Física General de Shaum, señalan que al girar la bobina de armadura del motor, se produce en la misma una fuerza contra electromotriz u opuesta también llamada contrafem. Esta contrafem se opone al voltaje de la fuente que impulsa el motor, por lo que la corriente en la armadura vendrá designada de la siguiente manera:

(Voltaje de línea) - (contrafem)

$$\text{Corriente en la armadura} = \frac{\text{(Voltaje de línea) - (contrafem)}}{\text{Resistencia de la armadura}}$$

La potencia mecánica (P) producida dentro de la armadura de un motor es:

$$P = (\text{corriente en la armadura}) \cdot (\text{contrafem})$$

En este cálculo no se toma en cuenta elementos como la resistencia aerodinámica, la fricción y el desgaste del material, por lo que la potencia real puede ser ligeramente menor al valor teórico.

### **1.8.3. Torca sobre una bobina plana.**

Como habíamos visto anteriormente, en un motor eléctrico al interactuar la corriente en la armadura con el campo magnético se produce una torca ( $\tau$ ) la cual es la encargada de hacer girar la bobina. La torca que se produce en este tipo de bobinas planas vendrá determinada de la siguiente manera:

$$\tau = NIAB \cdot \sin \theta \quad \text{Ec. [1.12]:}$$

“Donde:

N: Número de espiras.

I: Corriente.

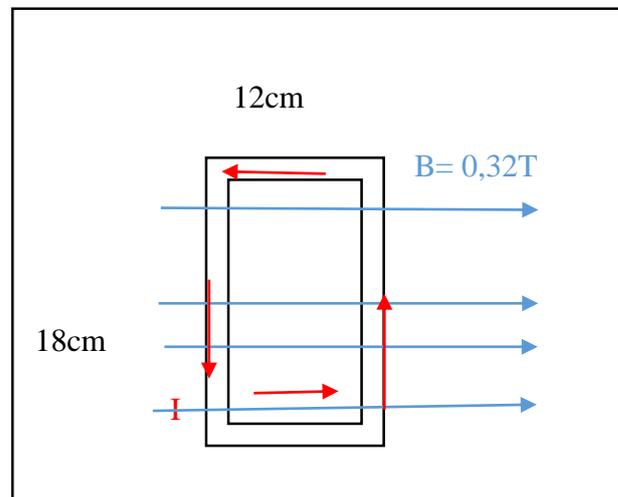
A: Área de la bobina.

B: Campo magnético.

Sen  $\theta$ = Seno del ángulo entre las líneas de campo y una perpendicular al plano de la bobina. “

Ejemplo:

En la figura del ejemplo, se muestra una bobina de 60 vueltas, que se encuentra en un campo magnético de 0.32 T por la cual circula una corriente de 5A. Determinar la torca producida sobre la bobina.



**Figura 1.15** Bobina inducida con un campo magnético.

**Fuente:** Pedro Chonata

$$\tau = NIAB \cdot \text{sen } \theta$$

$$\tau = (60) (5A) (0,12m \times 0,18m) (0,32T) (\text{sen}90^\circ)$$

$$\tau = 2,7 \text{ N/m.}$$

### 1.9. Campo electromagnético que puede resistir el ser humano.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), ha declarado e informado que la exposición a un campo electromagnético muy fuerte o la exposición a un campo débil por lapsos de

tiempos prolongados tienen un efecto contraproducente para la salud. Entre los mayores riesgos que considera la OMS es el de tener un riesgo moderado de contraer cáncer algún otro tipo de enfermedades. Sin embargo, en la actualidad ningún equipo o electrodoméstico en el hogar supera el límite recomendado de exposición a esta radiación, sin embargo la Organización Mundial de la Salud, considera que una exposición a un campo débil por mucho tiempo puede considerarse un riesgo para la salud, por contaminación electromagnética. Entre otros de los efectos que se producen por esta clase de exposición se encuentran el posible dolor de cabeza, irritación de los ojos, náuseas, fatiga, y ansiedad.

La Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP), por sus siglas en inglés, es una organización no gubernamental, reconocida oficialmente por la Organización Mundial de la Salud, y es la encargada de establecer los valores de campo electromagnético que puede resistir el ser humano. En la tabla 1.2 podemos observar los valores recomendados por la ICNIRP para la exposición de campo electromagnético tanto para población en general y en campos ocupacionales con una frecuencia de 50 Hz. Esta normativa es aplicada a nivel mundial ya que no existe una regulación o un control de este tipo de radiaciones específicos por cada país. La OMS también indica que estos valores de tolerancia pueden variar según las condiciones de funcionamiento de las diferentes fuentes de campo electromagnético.

**Tabla1.2.** Límites de radiación magnética para el ser humano.

Frecuencia	Campo eléctrico (V/m) 50Hz.	Campo magnético (μT)50Hz.	Densidad de Potencia (W/m <sup>2</sup> ) 900MHz
Límites de exposición para la población	5000	100	4.5
Límites de exposición ocupacionales	10000	500	22,5

Fuente: ICNIRP. Recomendaciones para limitar la exposición a campos electromagnéticos.

## Capítulo II.

### 2. Autos Híbridos.

#### 2.1. Historia y Generalidades.

Hoy en día existe un constante crecimiento de oferta y demanda de vehículos híbridos ya que se han convertido en una gran opción para enfrentar el desafío de reducir los niveles de consumo, contaminación y costos de combustibles derivados del petróleo.

Parafraseando a Augeri, que en su manual de funcionamiento y mantenimiento de autos híbridos, considera que el principal beneficio de los autos híbridos es que, por momentos, los automotores generan emisiones cero, lo que significa que, parcialmente, no se cuenta con ningún tipo de emisión al ambiente reduciendo considerablemente la contaminación por este medio. Este tipo de tecnologías se vienen desarrollando desde épocas muy antiguas, específicamente desde el año de 1839, cuando en Escocia se construiría el primer vehículo eléctrico. En años posteriores se pudo construir vehículos eléctricos capaces de tener su propio almacenamiento de energía, cuando en el año de 1870 Sir David Salomon, desarrolló un vehículo eléctrico que contaba con baterías de almacenamiento, y aunque su velocidad y fiabilidad eran muy malas, este ya era capaz de almacenar su propia energía. Todo este estudio principalmente motivado por la reducción de contaminación, dio como resultado la creación de un auto híbrido, capaz de combinar dos sistemas de propulsión diferentes, convirtiéndolo así en una de las mejores opciones para contribuir con la reducción de emisiones contaminantes al ambiente.

A pesar de que siempre existió una restricción en el estudio y desarrollo de este tipo de vehículos gracias al poder del petróleo, la empresa General Motors invirtió gran cantidad de dinero para el estudio de este tipo de tecnologías, en donde se planteaba producir vehículos

eléctricos en serie para mediados del año de 1980. Durante todo este tiempo diversas firmas automotrices lograron producir prototipos de vehículos híbridos, pero fue en el año de 1992 cuando Toyota realizó un gran esfuerzo por producir autos bajos en contaminación ambiental. Fue así que en el año de 1997 Toyota puso a disposición la primera versión del Toyota Prius en la ciudad de Tokio, esto también motivó a Audi a ser la primera compañía automotriz a producir vehículos híbridos en serie en Europa. Desde ese momento el Toyota Prius se convirtió en el auto híbrido insignia, logrando establecerse a nivel mundial cuando fue lanzado al mercado estadounidense en el año 2000. La demanda en ese país fue tal, que en el año 2004 se producían 47.000 unidades para satisfacer la demanda del mercado americano. Hoy por hoy el vehículo Toyota Prius es el vehículo híbrido más comprado en el mundo, gracias a su reducido consumo de combustible y a su baja contaminación al ambiente.



**Figura 2.1** Toyota Prius propiedad de la Universidad Internacional del Ecuador

**Fuente:** Pedro Chonata

El modelo híbrido, es aquel que utiliza un motor de combustión interna y un motor eléctrico para su propulsión. Toyota (2012) en sus manuales indica que las dos fuentes de energía se encuentran localizadas en el mismo vehículo, en donde la gasolina se almacena en un tanque de combustible y la electricidad para el motor eléctrico se almacena en el conjunto de baterías de alta tensión. El motor de combustión interna acciona un generador eléctrico el cual es el encargado de recargar el conjunto de baterías, por lo que el vehículo híbrido es autónomo, ya que no necesita recargarse de ninguna fuente externa como es el caso de los autos eléctricos.

### **2.1.1. Modos de conducción del vehículo híbrido.**

En los vehículos híbridos contamos con diferentes modos de conducción, dependiendo en las condiciones en las que vamos a usar el vehículo y también de nuestras necesidades al momento de usar el mismo. A continuación se detalla los modos de conducción del vehículo híbrido.

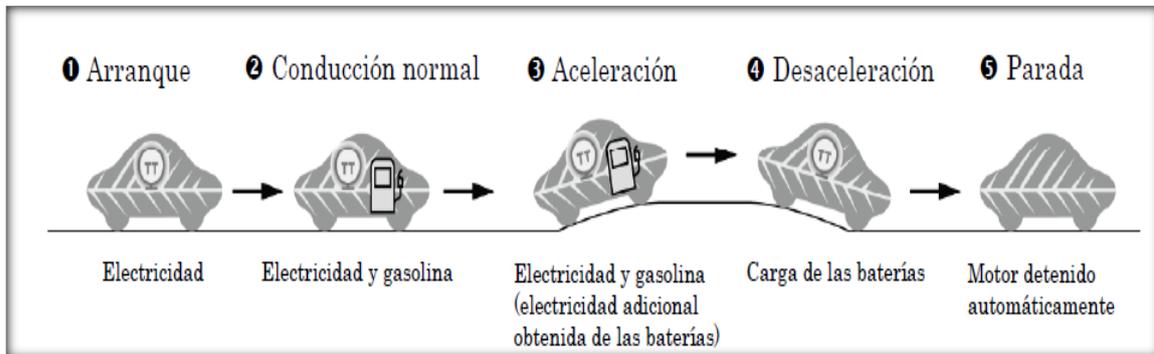
1.- Cuando aceleramos a baja velocidad, el motor de combustión interna se apaga y solo trabaja el motor eléctrico.

2.- Cuando pasamos a una conducción normal, el motor de combustión interna se activa para poner en marcha el vehículo, y para accionar el generador eléctrico encargado de recargar el conjunto de baterías.

3.- Si necesitamos mayor aceleración en el vehículo, funcionarán los dos motores al mismo tiempo.

4.- Si desaceleramos el vehículo mediante el frenado, el vehículo transforma la energía cinética de las ruedas en energía eléctrica para almacenarla en el conjunto de baterías.

5.- Cuando el vehículo se haya detenido por completo, los dos motores se desactivan, pero el vehículo seguirá encendido y funcionando.



**Figura 2.2** Modos de Conducción del vehículo híbrido

**Fuente:** Toyota, 2012, p1. Manual de despiece del auto híbrido.

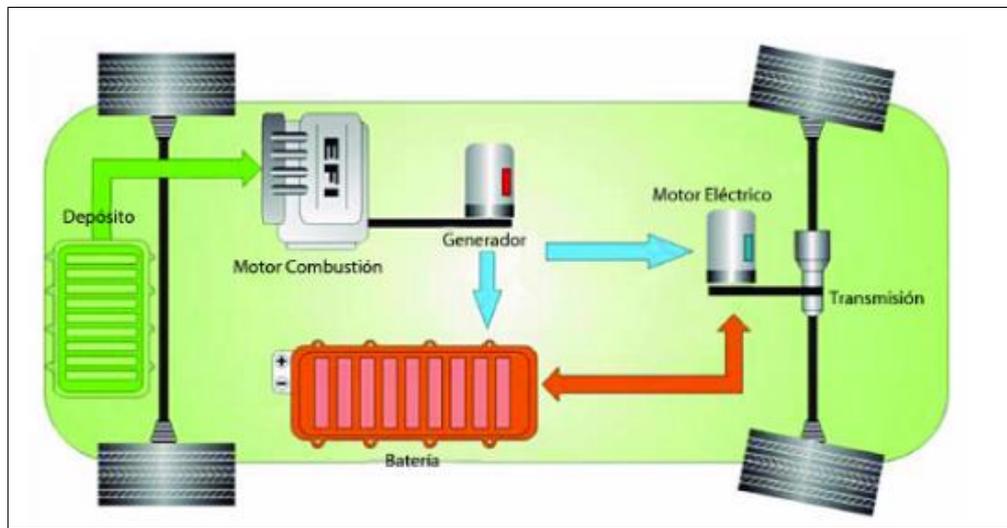
## 2.2. Configuraciones de los Vehículos Híbridos.

Los vehículos híbridos pueden venir con diferentes configuraciones, según la disposición de sus dos motores, tanto como el eléctrico como el de combustión interna. Las configuraciones de los vehículos híbridos pueden ser en serie, en paralelo o mixto.

### 2.2.1. Configuración en serie.

Parafraseando a Fitsa (2007) que publicó un manual de tecnología de propulsiones híbridas encargado a informar acerca de las tecnologías híbridas actuales, realizando un estudio profundo de los elementos y el funcionamiento de este tipo de vehículos. Indica que en un tipo de configuración en serie, el vehículo es impulsado directamente por el motor eléctrico, gracias a que el motor de combustión interna activa el generador para la acumulación de energía. Esto permite que la batería acumule energía, logrando así desconectar por momentos el motor de combustión interna logrando que el vehículo funcione

eléctricamente. El motor de combustión interna es capaz de alimentar al motor eléctrico, y al mismo tiempo es capaz de cargar las baterías, gracias a la activación del generador. El motor eléctrico también puede cargar las baterías gracias al sistema de frenos regenerativos.

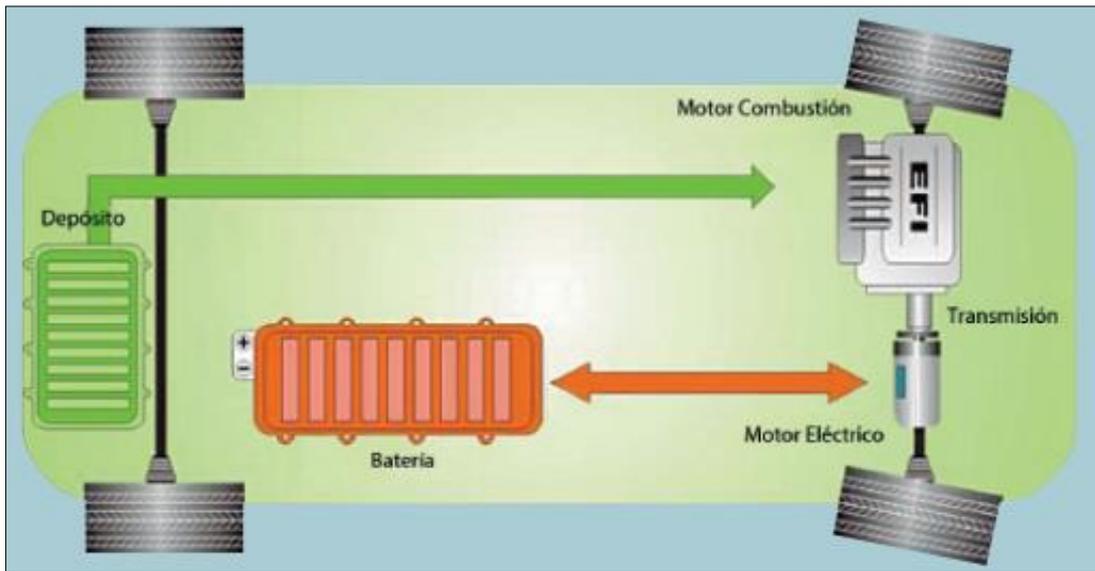


**Figura 2.3** Configuración híbrida en serie

**Fuente:** Fitsa, 2007, p8. Tecnología de propulsiones híbridas.

### 2.2.2. Configuración en paralelo.

En este tipo de configuraciones, el motor eléctrico y de combustión interna se encuentran conectados entre sí, es decir trabajan simultáneamente para mover al vehículo. Citando en modo de parafraseo a Fitsa (2007), que en su manual de tecnología de propulsiones híbridas, señala que el motor de combustión interna puede ser el encargado de transmitir directamente la potencia a las ruedas, o a su vez activar el generador para cargar las baterías. A su vez el motor eléctrico puede funcionar como un generador, extrayendo energía del sistema de frenado regenerativo. Este tipo de configuración ofrece la ventaja de que se puede contar con mayores modos de funcionamiento del vehículo, y con una mejor potencia del mismo ya que los dos motores pueden trabajar a la vez.



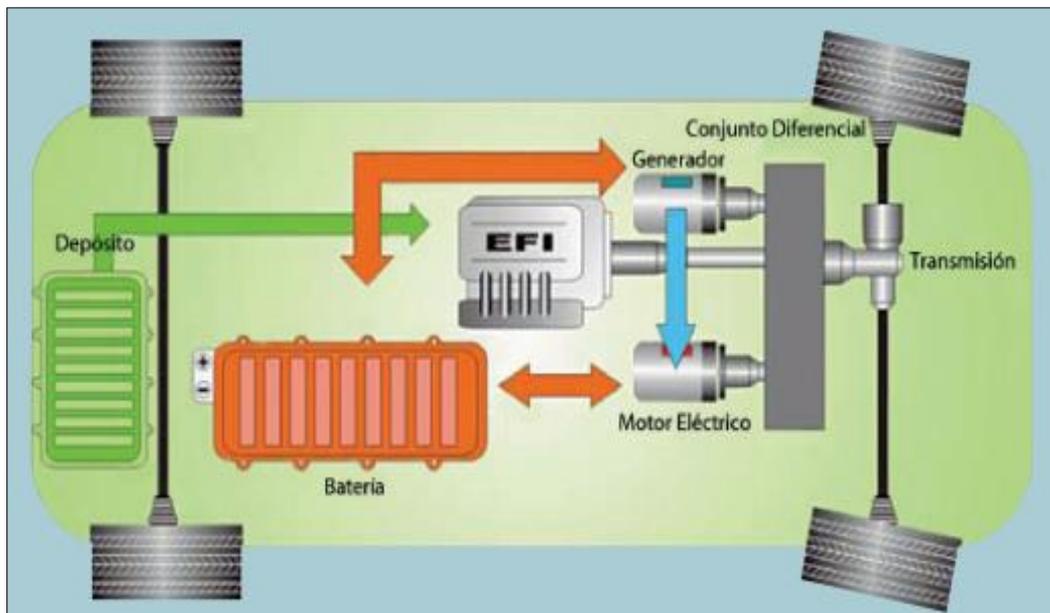
**Figura 2.4** Configuración híbrida en paralelo

**Fuente:** Fitsa, 2007, p9. Tecnología de propulsiones híbridas

### 2.2.3 Configuración Mixta.

En este tipo de configuración, nos ofrece la posibilidad de propulsar el vehículo solo con el uso del motor de combustión interna, solo con el uso del motor eléctrico o el uso de los dos sistemas a la vez. En este tipo de vehículos, el motor de combustión interna está conectado directamente a las ruedas lo que permite que tanto como motor de combustión, motor eléctrico y generador se encuentren interconectados. Parafraseando a Fitsa (2007) que en su manual de tecnología de propulsiones híbridas indica que el vehículo puede ser impulsado por cualquiera de los dos motores gracias a un diferencial, en este diferencial también se encuentra el generador que al ser activado por el motor de combustión produce electricidad, misma que dependiendo el caso y el manejo, será utilizada para cargar las baterías o para alimentar el motor eléctrico directamente. La principal ventaja de esta disposición es la de permitir un mayor ahorro de combustible al permitir que el vehículo sea impulsado mediante

el motor eléctrico solamente. También se puede disponer del uso de motor de combustión interna de ser necesario.



**Figura 2.5** Configuración híbrida mixta

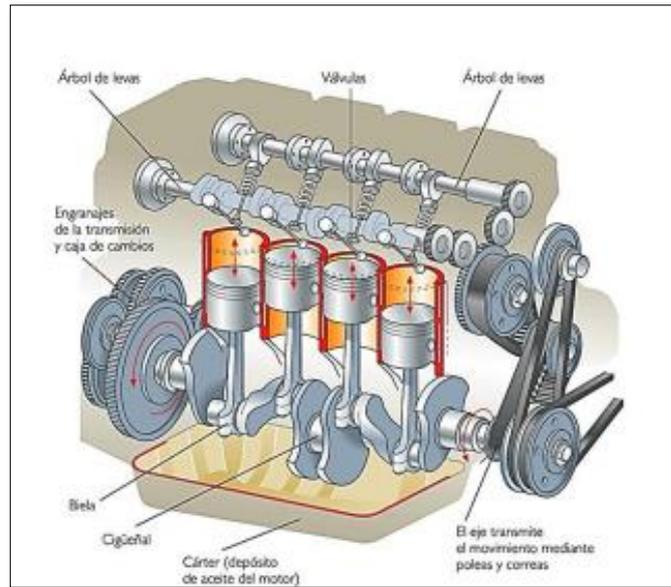
**Fuente:** Fitsa, 2007, p10. Tecnología de propulsiones híbridas

### 2.3. Componentes de los vehículos híbridos.

#### 2.3.1. Motor de Combustión Interna.

El motor de combustión interna es el encargado de transformar la energía química contenida en un combustible en energía calorífica. A su vez esta energía calorífica será transformada en energía mecánica, la cual será destinada para el funcionamiento del automotor. Para el funcionamiento de este tipo de motores, será necesario contar con una mezcla aire-combustible, que luego será combustionada en el interior del cilindro para obtener la energía mecánica necesaria para el movimiento del vehículo. Mediante el cigüeñal se transforma el movimiento lineal del motor en un movimiento rotatorio que será transferido

a los diferentes elementos de tracción dispuestos en el vehículo. En el vehículo híbrido, se emplea un motor de cuatro tiempos, el cual es el motor más utilizado en el mundo y las principales funciones de este serán las de impulsar el vehículo y la de activar el generador para la carga de las baterías.



**Figura 2.6** Motor de Combustión Interna

**Fuente:** Méndez, 2016, p2. Diseño del sistema de freno regenerativo de autos híbridos

### 2.3.2. Moto – Generadores.

En los sistemas híbridos, se cuenta con dos motores generadores trifásicos, cada uno de estos cumple una función específica y son denominados con las siglas MG1 y MG2. Augeri indica en su manual que en el caso del Toyota Prius el motor generador 1 se encarga de generar carga para almacenarla en las baterías, mientras que el motor generador 2 alterna con el motor de combustión interna el movimiento del vehículo, tanto como en marcha hacia

delante o en marcha de reversa. Toda esta gestión está controlada por la unidad de control del sistema híbrido ECU HV.

Parafraseando a (Méndez, 2016), que en su manual de implantación del sistema de freno regenerativo en un auto híbrido, señala que cuando un vehículo híbrido únicamente se desplaza por inercia en la carretera, es posible cambiar la operación del motor eléctrico, invirtiéndola y controlándola para que el motor eléctrico al girar en el sentido contrario pueda funcionar como generador, logrando mediante el movimiento rotativo generar energía eléctrica que posteriormente será almacenada en las baterías. En la tabla 2.1, se puede observar las funciones de cada motor generador descrita por Toyota.

**Tabla 2.1** Descripción de los Motores Generadores

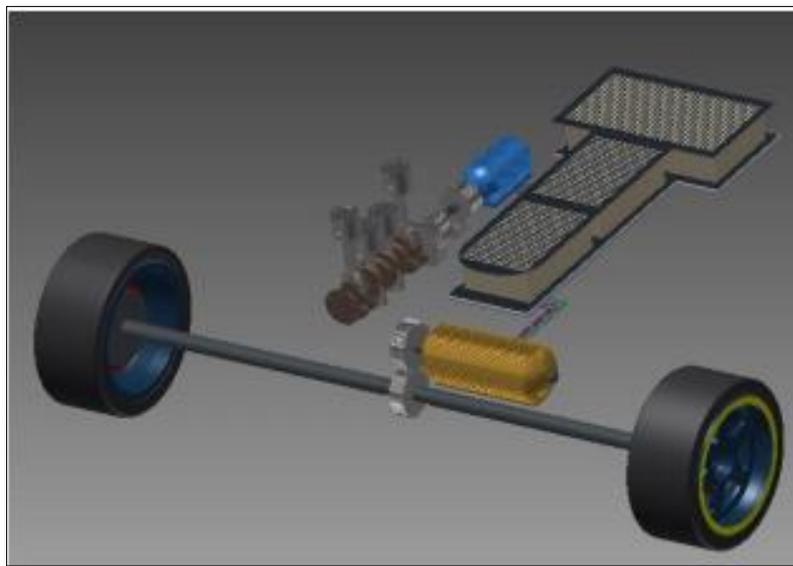
Motor / Generador	Descripción
MG1	Motor eléctrico MG1 carga la batería de alto voltaje y pone en marcha al motor térmico MT.
MG2	Motor eléctrico MG2 es el que arrastra el vehículo en todas las circunstancias, bien solo o bien cooperando con el MT, y hace la función de generador durante la frenada. Su alimentación es trifásica. Transmite su par a la corona del tren epicicloidal, la cual es solidaria con el piñón de arrastre de la cadena.

**Fuente:** Toyota, 2012. Manual de despiece del auto híbrido.

Es importante recalcar que el motor generador 2 también aporta en la generación de energía para las baterías, pero este solo lo hace mediante el sistema de frenado regenerativo. Este sistema de frenado consiste en que cuando el vehículo empieza a disminuir su velocidad, el moto generador 2 toma la energía cinética de la disminución de velocidad y la transforma

en energía eléctrica que a priori será almacenada en las baterías. Cabe indicar que el sistema de frenado en vehículos híbridos cuenta con un sistema hidráulico de frenado, con ABS incluido. En el caso del Toyota Prius también se incorpora un sensor de control electrónico de presión de frenado EBD.

La diferencia radica en que la fricción generada en las pastillas ahora es aprovechada para cargar la batería.

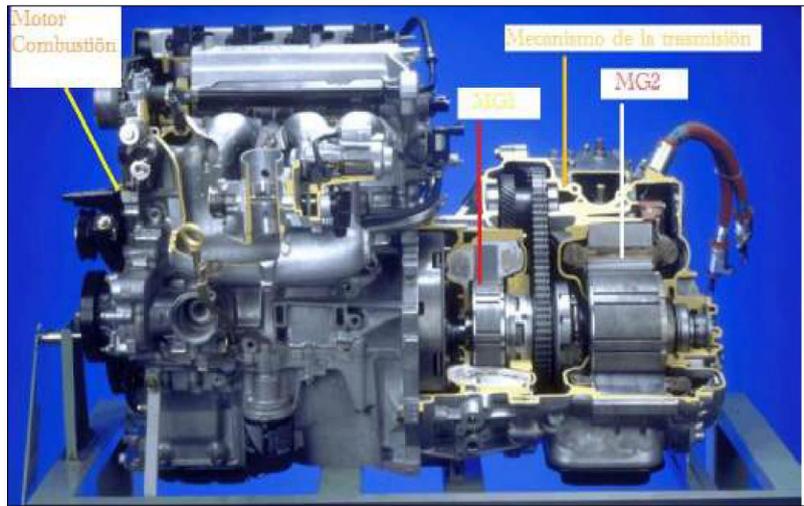


**Figura 2.7** Sistema de freno regenerativo.

**Fuente:** Méndez, 2016, p7. Diseño del sistema de freno regenerativo de autos híbridos.

Los motores generadores también ayudan en el arranque del vehículo, ya que por lo general los vehículos híbridos no cuentan con un motor de arranque convencional. Augeri (s.f.) también señala que cuando el vehículo se encuentra detenido el motor generador 1 es el único encargado del arranque del vehículo. Cuando el vehículo se encuentra en movimiento el arranque se logra por la unión de los moto generadores 1 y 2. Este y todos los movimientos del vehículo están a cargo de un sistema de transmisión continua, el cual incorpora un sistema

de engranajes planetarios los cuales conectan el motor de combustión interna con los motores generadores 1 y 2.



**Figura 2.8** Esquema de Sistema de Motores Generadores.

**Fuente:** Augeri, sf, p7. Introducción al funcionamiento y mantenimiento de autos híbridos.

En las tablas 2.2 y 2.3 podemos observar las características de los motores generadores que se encuentran en el Toyota Prius,

**Tabla 2.2** Características del MG1

Elemento	Toyota Prius (MG1)
Tipo	Motor de imán permanente
Tipo	Generación, motor de arranque del motor de gasolina
Tensión máxima	273,6 CA
Sistema de enfriamiento	Enfriado por agua

**Fuente:** Toyota, 2012 Manual de despiece del auto híbrido.

**Tabla 2.3** Características del MG2

Elemento	Toyota Prius (MG2)
Tipo	Motor de imán permanente
Función	Generación, impulsión de ruedas
Tensión Máxima (V)	273,6 CA
Salida máxima Kw (Cv)/rpm	33 (45) / 1040-5600
Par máximo N*m (Kgf*m)/rpm	350(35.7) / 0-400
Sistema de enfriamiento	Enfriado por agua

**Fuente:** Toyota, 2012 Manual de despiece del auto híbrido.

### 2.3.3. Sistema Inversor.

Augeri (s.f.) en su manual señala que al sistema inversor también se lo conoce como convertidor, y se encuentra dentro del compartimiento del motor. Este es uno de los componentes más importantes del vehículo híbrido ya que entre sus principales funciones se encuentran las de convertir corriente para poder encender los motores eléctricos, y también se encarga de convertir energía para recargar las baterías. A pesar de contar con varios elementos electrónicos, toda la gestión y el funcionamiento de este elemento se encuentra realizada por la unidad de control híbrido. Esta unidad de control híbrido es totalmente independiente a la estructura de los diferentes componentes eléctricos. Para el manejo y manipulación del sistema inversor, es necesario contar con medidas de seguridad y protección, ya que es un elemento que maneja altos valores de voltaje y de corriente y pueden ocasionar graves lesiones e inclusive la muerte si no se lo manipula adecuadamente y con los

equipos recomendados por el fabricante. Es recomendable acudir siempre al servicio técnico autorizado si se desea realizar algún tipo de trabajo en el sistema inversor.



**Figura 2.9** Inversor Toyota Prius

**Fuente:** Copartes, sf. Tomado de:

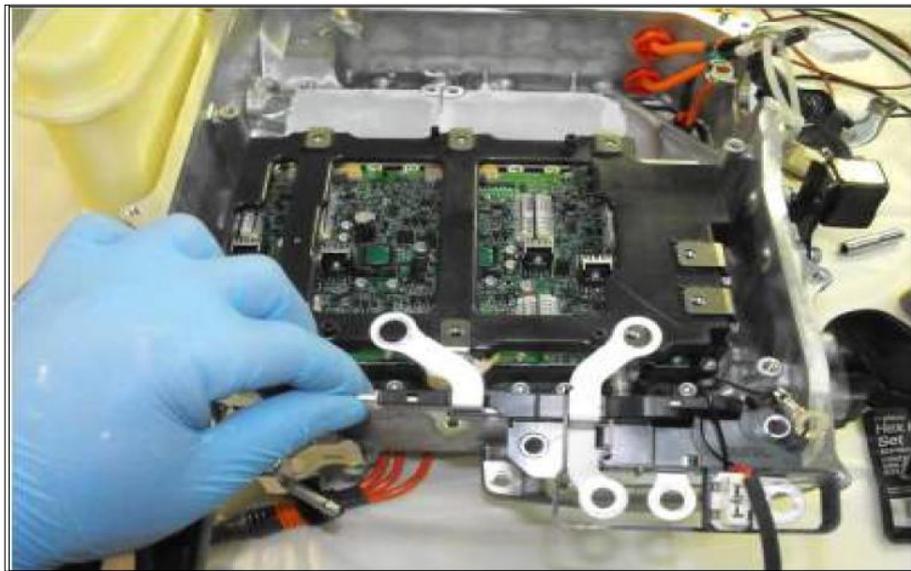
<http://www.copartes.com/index.php?/catalogo/partes/marca/1/toyota/linea/170/prius%20híbrido>

El inversor cumple con las siguientes funciones según lo detalla Augeri (sf.) en su manual de mantenimiento de autos híbridos.

Una de las principales funciones del inversor es la de gestionar el funcionamiento de los moto generadores, tanto el MG1 y el MG2, esto lo logra gracias a que viene incorporado con un circuito que toma la tensión de la batería de alto voltaje, la cual se encuentra en 220V aproximadamente con corriente continua, y la transforma en una corriente alterna trifásica

que permite el movimiento de los motores eléctricos mencionados, todo esto gracias a un circuito de potencia integrado en el inversor

- El inversor transforma la tensión de la batería de alto voltaje para poder mantener la carga de la batería de 12V, misma que sirve para el funcionamiento de accesorios (Augeri).
- Permite la carga de la batería de alta tensión mediante un sistema de transistores, que controlada por la unidad de control híbrido activa los moto generadores MG1 y MG2 los cuales permiten la carga de la batería de alta tensión (Augeri).
- El inversor también permite el movimiento del moto generador 1 MG1, para el arranque del motor de combustión interna.



**Figura 2.10** Electrónica del Inversor

**Fuente:** Augeri, sf, p9. Introducción al funcionamiento y mantenimiento de autos híbridos.

Por las altas tensiones que maneja el inversor, este maneja un sistema especial de conexión de alta tensión. Los conectores de este sistema se manejan con un color naranja, que permita diferenciarlo de otros tipos de conectores. También el diámetro y forma de estos conectores son diferentes a cualquier otro tipo de conector convencional, lo que garantiza que se puedan diferenciar los conectores y sistemas de alta tensión. Siempre que se trabaje en este tipo de elementos, será fundamental seguir todas las indicaciones de seguridad determinadas por el fabricante, así también será necesario el uso de todo los equipos de protección para evitar lesiones por la manipulación de estos elementos. En el Figura 2.11, podemos observar los conectores color naranja, que proviene de las baterías de alta tensión hacia el inversor.



**Figura 2.11** Conectores desde la batería de alta tensión al inversor

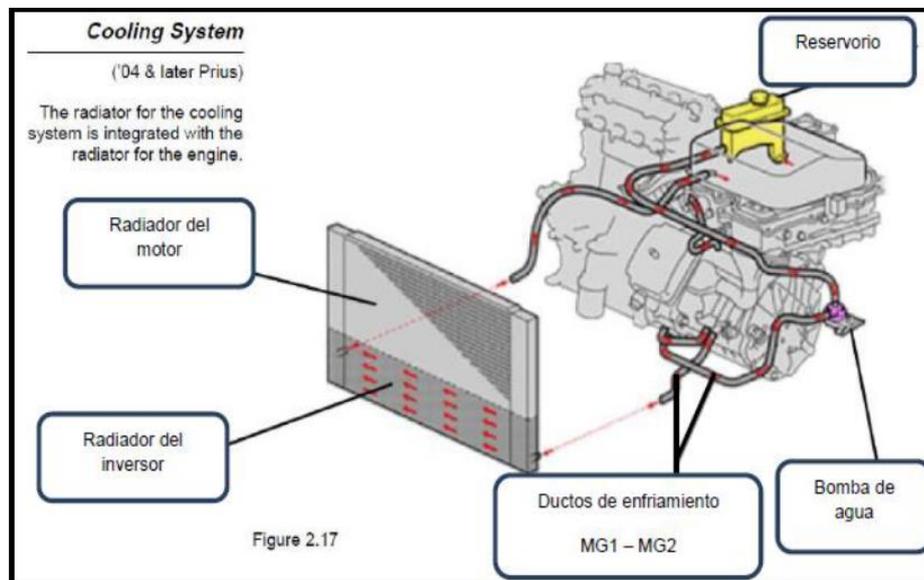
**Fuente:** Augeri, sf, p10. Introducción al funcionamiento y mantenimiento de autos híbridos.

#### **2.3.4. Sistema de enfriamiento para moto generadores e inversor.**

Los elementos como moto generadores e inversor necesitan evacuar calor, ya que por el funcionamiento del vehículo, los circuitos internos de estos elementos, podrían sufrir daños y

afectar así su funcionamiento. Augeri (s.f.) señala que para mitigar los efectos del calor, se cuenta con un sistema de enfriamiento con una bomba de agua eléctrica, lo que brinda la seguridad necesaria para el funcionamiento de dichos elementos.

Es necesario recalcar que todo este sistema de enfriamiento es totalmente independiente del sistema de enfriamiento del motor, sin embargo este sistema se encuentra integrado con el radiador para el motor de combustión interna, esto para reducir el espacio que ocupa. Este sistema se activa inmediatamente cuando se conmuta el estado de alimentación a encendido.



**Figura 2.12** Sistema de enfriamiento para moto generadores e inversor

**Fuente:** Toyota, 2012 Manual de despiece del auto híbrido.

En la tabla 2.4, se puede apreciar las especificaciones e intervalos de mantenimiento, para el buen funcionamiento del sistema de refrigeración para moto generadores, garantizando así la vida útil descrita por el fabricante.

**Tabla 2.4** Especificaciones para el sistema de enfriamiento para MG1 y MG2.

Bomba de agua	Volumen de descarga l/min	10 o más (65 °c)
	Capacidad litros	
	Tipo	Refrigerante de súper larga duración genuino de Toyota (SLLC- Súper Long Life Coolant / Refrigerante de súper larga duración) o equivalente
	Color	Rosa
	Intervalos de Mantenimiento	Primera Vez Después
		160.000 km Cada 80000 km

**Fuente:** Toyota, 2012 Manual de despiece del auto híbrido.

### 2.3.5. Conjunto de la Batería de Alta tensión.

Los vehículos híbridos cuentan con un conjunto de baterías de alta tensión, representados por las iniciales HV, y que contienen celdas de iones de litio (Li-ion).

La principal función de este conjunto de baterías, es la de hacer funcionar los motores generadores MG1 y MG2 con carga almacenada, ya que por momentos los generadores emplean esta como su única fuente de energía para funcionar. Este conjunto de baterías también suministra tensión al inversor, y también recibe carga del mismo en condiciones tales como el freno regenerativo realizado por el MG2, y también mediante el accionamiento del MG1.

Al ser otro conjunto de elementos que proporcionan valores altos de tensión también es necesario mantener y seguir protocolos de protección y seguridad personal recomendados por el fabricante para evitar lesiones.



**Figura 2.13** Conjunto de Baterías de alta tensión

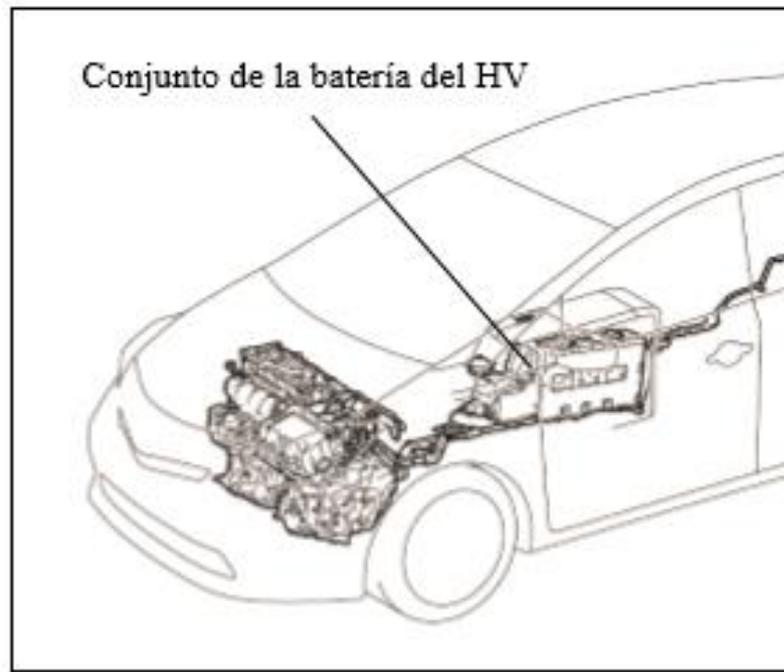
**Fuente:** Augeri, sf, p, 11 Introducción al funcionamiento y mantenimiento de autos híbridos.

En el vehículo Toyota Prius, el conjunto de batería de alta tensión, se conforma por 56 celdas de litio de baja tensión, que otorgan 3,6 V cada una. Todas en conjunto producen un voltaje aproximado de 201,6 V, cada celda se encuentra estanca y sellada en una caja.

Citando a modo de parafraseo a Toyota (2012) en sus manuales señala que el conjunto de baterías HV, están selladas en una caja metálica, esta caja se encuentra acoplada en la consola central, y es aislada totalmente de la alta tensión. Las baterías de litio utilizan un electrolito orgánico inflamable, por lo cual se debe tener especial cuidado con estos elementos de corriente, para evitar accidentes.

Este electrolito es absorbido por el separador de celdas, evitando así cualquier tipo de derrame, inclusive en un caso de colisión. Sin embargo al momento de operar las baterías de

alta tensiòn, existe el riesgo de derrames y escapes de fluido, por lo que se recomienda seguir instrucciones de seguridad del fabricante.



**Figura 2.14** Ubicación del Conjunto de Batería HV de 201,6 V

**Fuente:** Toyota, 2012 Manual de despiece del auto híbrido.

Los principales sistemas alimentados por el sistema de baterías de alta tensión son los siguientes:

- Motor eléctrico.
- Motores generadores MG1 y MG2.
- Cables eléctricos.
- Compresor del A/C.
- Motor del inversor.
- Sistemas electrónicos de control.

En la tabla 2.5, se puede observar las características técnicas y operacionales del conjunto de baterías HV del vehículo Toyota Prius.

**Tabla 2.5** Especificaciones del Conjunto HV del Toyota prius

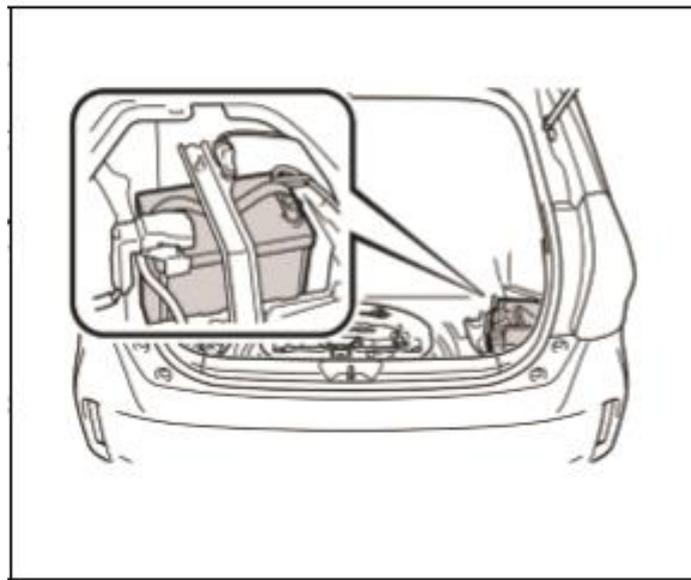
Conjunto de la batería del HV	
Tensión del conjunto de la batería	201,6 V
Numero de celdas de iones de litio en el conjunto	56
Tensión de las celdas de la batería de iones de litio	3,6V
Peso de las celdas de iones de litio	0,55 libras
Dimensiones de las celdas de la batería de iones de litio	4,4x0,6x4,4 pulgadas
Dimensiones del conjunto de la batería de iones de litio	32,7x8,7x14,6 pulgadas
Peso del conjunto de la batería de iones de litio	69 libras

**Fuente:** Toyota, 2012 Manual de despiece del auto híbrido.

Los vehículos híbridos también contienen una batería auxiliar de 12V, similar a la batería utilizada en los vehículos convencionales. Parafraseando a Toyota (2012), que en su manual de despiece del auto híbrido, que esta batería de plomo y ácido, es la encargada de suministrar energía a los accesorios eléctricos del vehículo, y la misma se encuentra

conectada a masa en el chasis del vehículo. En el caso del Toyota Prius, la batería auxiliar se encuentra en el espacio del baúl de carga.

Por seguridad, y para diferenciarla de otros elementos eléctricos de alta tensión, esta batería se la ha colocado en la parte posterior del baúl del vehículo, sin embargo es recomendable no manipular esta batería sin la supervisión de servicio técnico, ya que se puede poner en riesgo los elementos eléctricos del vehículo y también se puede correr el riesgo de sufrir lesiones.



**Figura 2.15** Ubicación de la Batería Auxiliar de 12V

**Fuente:** Toyota, 2012. Manual de despiece del auto híbrido

### **2.3.5.1. Sistemas de Seguridad y Medidas de Seguridad para la manipulación de baterías de alta tensión.**

Como se había comentado anteriormente, el manejo, manipulación y remplazo de los elementos de alta tensión en el auto híbrido, supone un potencial riesgo para la salud de las personas y de los elementos eléctricos y electrónicos del vehículo.

Es de suma importancia tomar medidas de seguridad, y vestir elementos de protección cada vez que se vaya a trabajar con elementos de alta tensión, sea para mantenimiento o para remplazo de las baterías de alta tensión.

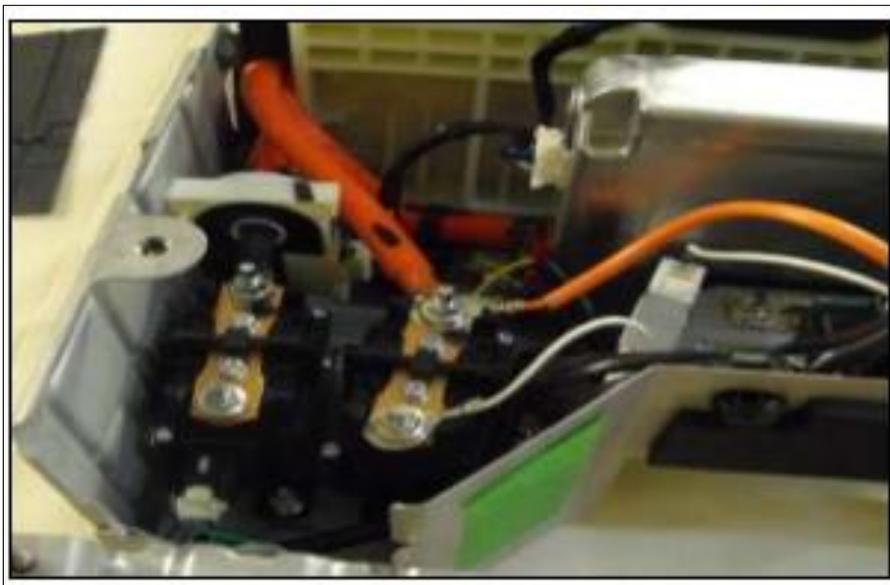
Para seguridad del vehículo y del operario, Augeri (s.f.) evidencia que el circuito interno de las baterías de alta tensión se encuentra dividido por un jumper de seguridad, cuando este jumper se lo desconecta, el circuito se abre, por lo que será seguro la manipulación de cualquier elemento de alta tensión. Hay que tomar en cuenta que si el jumper se encuentra removido, no llegará tensión al inversor por lo que el vehículo no funcionará y no se moverá.



**Figura 2.16** Jumper de Seguridad

**Fuente:** Augeri, sf, p,11. Introducción al funcionamiento y mantenimiento de autos híbridos.

El conjunto de baterías también cuentan con otros dispositivos de seguridad, llamados relevadores, estos tres elementos trabajan en el positivo y el negativo del conjunto de baterías HV. Estos relevadores se encargan de colocar carga de forma segura en el conjunto de baterías, antes de colocar la carga directa del inversor sobre la batería. Este conjunto de relevadores se encuentra controlado por la unidad de control, aunque cabe indicar que el sistema de baterías de alta tensión dispone de su propia unidad de control, encargada de monitorear su carga y funcionamiento, y también de controlar la refrigeración y el monitoreo de temperatura



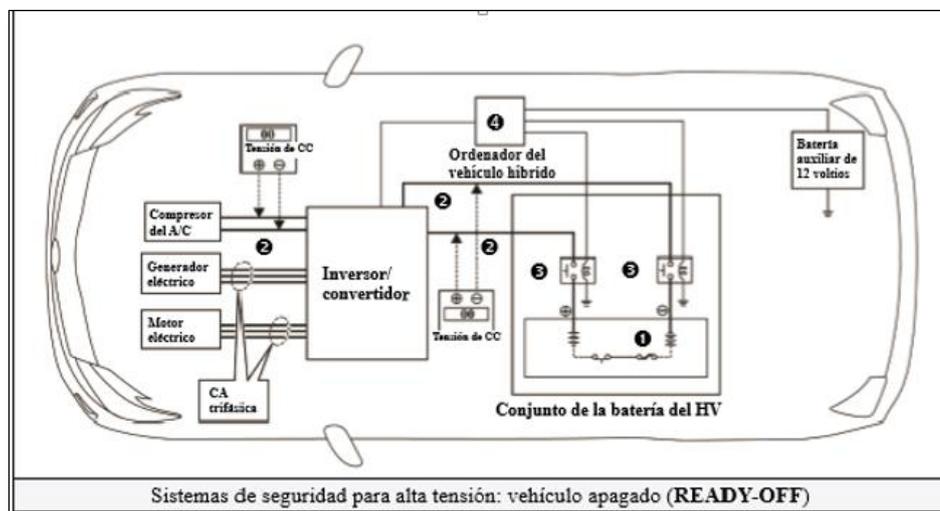
**Figura 2.17** Sistema de relevadores

**Fuente:** Augeri, sf, p, 11. Introducción al funcionamiento y mantenimiento de autos híbridos.

El vehículo híbrido contiene sistemas de seguridad para alta tensión, con el objeto de evitar accidentes y daños a operarios y ocupantes del vehículo. Entre los principales sistemas de seguridad se encuentran los siguientes:

- Un fusible de alta tensión encargado de proporcionar seguridad en caso de un cortocircuito en el sistema de baterías HV. (1)
- Relés abiertos de 12V, encargados de controlar los cables de alta tensión positivos y negativos. (3)
- Estos cables de alta tensión también se encuentran aislados del chasis, para evitar descargas eléctricas al tocar el mismo. (2) También se encuentra un monitor de anomalías, encargado de detectar si se producen fugas de alta tensión, si esto ocurre es monitor envía una señal a la unidad de control híbrido, la cual manda la señal al tablero de instrumentos. (4)

Los números corresponden a la siguiente Figura, en donde se detallan los sistemas de seguridad antes mencionados, tanto para cuando el vehículo se encuentra apagado o encendido.



**Figura 2.18** Sistemas de seguridad

**Fuente:** Toyota, 2012. Manual de despiece del auto híbrido.

## Capítulo III

### 3. Diseño y Construcción del Gaussímetro.

#### 3.1. Generalidades.

En la actualidad, el desarrollo de la tecnología en diversos campos, nos han llevado a la creación e implementación de diferentes elementos que son empleados en nuestra vida diaria, elementos tales como, televisores, teléfonos celulares, motores eléctricos, dispositivos de sonido y un sinnúmero de elementos, que han sido desarrollados gracias a cientos de años de estudios en el campo del magnetismo. Dada la importante repercusión del magnetismo en nuestras vidas, ha sido de gran importancia para mucha gente, incluyendo científicos e ingenieros de diferentes ámbitos, el poder estudiar y analizar estos campos magnéticos.

Parafraseando a Boettger (2009), que en su artículo acerca del estudio de los gaussímetros, señala que la herramienta más común para el estudio de estos campos es el instrumento de medición denominado como gaussímetro. El gaussímetro, también conocido en algunos países como magnetómetro, es un instrumento de medición, que nos permite medir tanto como dirección y magnitud de un campo magnético. En la actualidad, el tipo de gaussímetro más usado es el que se basa en la utilización de un sensor de efecto hall, que es el encargado de medir la magnitud de dichos campos, y que al ser conectada a una interfase, amplificará su señal, y así podrá ser medida en un display o en otro elemento de visualización.

En la actualidad, existen diferentes tipos de gaussímetros, con diversos usos de aplicaciones. La función de este elemento de medición es la de medir las líneas de flujo magnético que pasan por un área determinada, es así que se denomina a la unidad Gauss, como la línea de flujo magnético que pasa por un centímetro cuadrado. Para la fabricación de

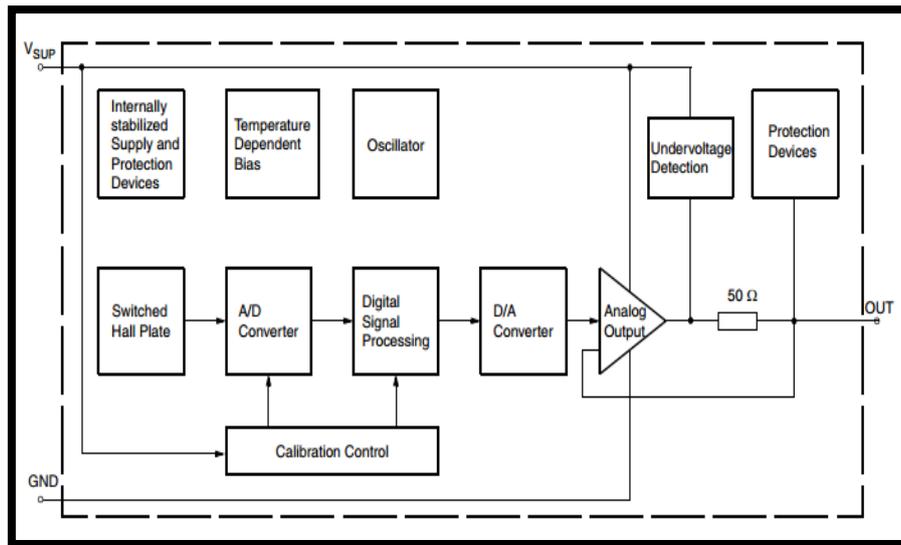
nuestro gaussímetro, utilizamos un sensor de efecto hall, este sensor será el encargado de detectar los campos producidos por el vehículo híbrido designado y demás campos magnéticos mediante la fabricación de una placa de circuito eléctrico alimentado por una batería de 9V, procedimos a programar un micro controlador que es el encargado de recibir la señal de nuestro sensor, la misma que es amplificada, procesada y finalmente mostrada en un display digital.

Para la protección de los elementos de nuestro circuito, se fabricó una carcasa de protección, misma que fue elaborada en fibra de vidrio, ya que nos otorga una protección muy resistente combinándolo con un bajo peso para una buena maniobrabilidad del equipo.

### **3.2. Elementos del circuito electrónico.**

#### **3.2.1. Sensor de efecto hall modelo HAL 1821.**

El sensor de efecto hall es el elemento más importante de nuestro circuito, ya que este es el encargado de medir los campos magnéticos. Dentro de la línea de sensores de efecto hall, la línea conformada por los sensores HALL 1821, 1822, y 1823, son los sensores que mejor trabajan y mejor desempeño ofrecen en cuanto a la detección de campos magnéticos. Estos sensores ofrecen una salida analógica lineal, que mediante un micro controlador podremos transformar en una señal digital. Este sensor es capaz de detectar el flujo magnético que circula a través del plato del sensor, entregando un voltaje de salida que será codificado mediante la creación de un circuito. El voltaje de salida será directamente proporcional al campo magnético detectado. En la Figura 3.1, podemos observar la estructura interna del sensor de efecto hall, y en donde se pueden observar todos los componentes de funcionamiento.



**Figura 3.1** Esquema interno del sensor HAL 1821

**Fuente:** Micronas, 2013, p. 6. Hall 1821 Data Sheet.

El sensor HAL 1821, es un elemento de uso profesional e industrial, que puede operar en las condiciones eléctricas y mecánicas más exigentes, ofreciendo la detección de campos magnéticos y movimientos mecánicos inclusive en las condiciones de funcionamiento más adversas. En el caso de detección de campos magnéticos, se emitirá un voltaje de salida, el cual será proporcional a la densidad de flujo magnético en el plato del sensor de efecto hall. Gracias a su constitución robusta muy resistente y a que sus elementos resisten condiciones de funcionamiento extremas, este sensor puede trabajar en un rango de temperatura de  $-40^{\circ}\text{C}$  hasta temperaturas de hasta  $170^{\circ}\text{C}$ .

El sensor HAL 1821, es el permite detectar campos magnéticos más bajos, mediante la programación del micro controlador, podemos determinar la escala y el rango en el cual queremos que mida nuestro equipo ya que este sensor nos ofrece características magnéticas programables, además de contar con una interfase que permite la programación de una memoria EEPROM. La programación del sensor se la realiza mediante su pin de

alimentación, en donde definimos los anchos de pulso y la señal de sincronización para la programación. El sensor HAL 1821, además de ofrecer la capacidad de detectar campos magnéticos muy bajos, también ofrece las siguientes características:

**Tabla 3.1** Parámetros de trabajo del sensor HAL 1821

Symbol	Parameter	Pin No.	Min	Typ	Max.	Unit
$V_{sup}$	Supply Voltage	1	4,5	5	5,5	V
$I_{out}$	Continuous Output Current	3	-1	-	1	mA
$R_L$	Load Resistor	3	5,5	10	-	K $\Omega$
$C_L$	Load Capacitance	3	0,33	10	47	nF
$T_J$	Junction Operation Temperature	-	-40	-	125	$^{\circ}C$
			-40	-	150	$^{\circ}C$
			-40	-	170	$^{\circ}C$

**Fuente** Micronas, 2013, p, 12. Hall 1821 Data Sheet.

El sensor HAL 1821 es de producción americana, por lo que en el país no es posible encontrar este elemento, por lo que se procedió con la adquisición del mismo en el país de su fabricación para la posterior importación. La compra se la realizó mediante la sección de compras de la página web SemiconductorStore.com, una tienda que se encarga de vender diferentes productos de electrónica ubicada en la ciudad de Hawthorne en Estados Unidos. Una vez realizada la compra, se trajo el sensor mediante Courier hasta nuestro país.

El funcionamiento de este sensor se basa básicamente recibiendo un campo magnético externo a través del plato incorporado en el mismo, una vez recibido este campo se produce un voltaje hall, el cual se convierte en un valor digital mediante los ajustes que le hayamos otorgado mediante la calibración del micro controlador. Durante todo este proceso es necesario garantizar la entrega de una señal correcta al micro controlador para evitar inconvenientes y fallas en el sistema, para cumplir con este objetivo es importante realizar un

acondicionamiento de la señal. Para lograr obtener una señal que cumpla con las características requeridas, es necesario implementar un sistema de filtrado, que nos permite amplificar y rectificar la señal emitida por el sensor, garantizando así que la señal que llegue al micro controlador sea la adecuada.

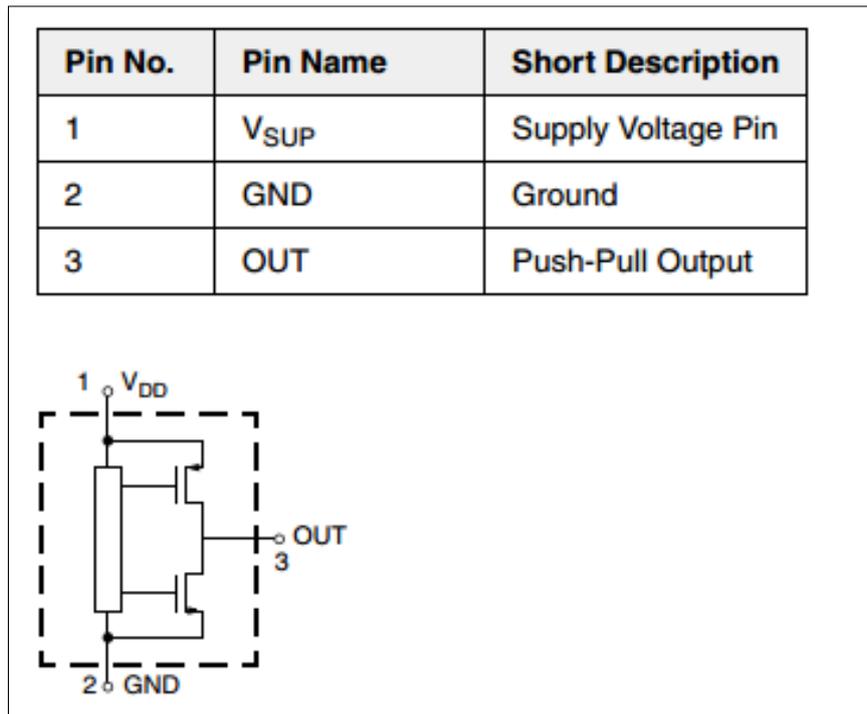


**Figura 3.2** Sensor HAL 1821.

**Fuente:** Semiconductor Store, sf. Tomado de:

<http://www.semiconductorstore.com/cart/pc/viewPrd.asp?idproduct=47170>

Para la programación de nuestro sensor, la cual se realizará mediante el micro controlador, es necesario determinar los diferentes pines de funcionamiento del mismo. Este sensor posee tres pines los cuales se encargan de alimentación, puesta a tierra y también de entregar el voltaje de salida hacia el micro controlador. Mediante el pin1, se otorga la alimentación necesaria para el funcionamiento del sensor, así también se encarga de la programación y el envío de señales de funcionamiento por parte del micro controlador. El pin 2 se encarga de hacer la conexión a tierra, lo cual permite otorgar la protección al sensor. El pin 3, es el encargado de enviar el voltaje de salida estable, una vez que el sensor haya recibido y codificado el flujo de campo magnético. Los pines del sensor de efecto hall, pueden ser soldados fácilmente a cualquier placa o circuito que se requiera, no se deben exceder temperaturas de soldadura mayores a 265° C.



**Figura 3.3** Descripción de los pines del sensor HAL 1821

**Fuente:** Micronas, 2013, p, 11. Hall 1821 Data Sheet.

### 3.2.2. Micro controlador

El micro controlador es el elemento de control de nuestra placa, es el encargado de controlar y regular el funcionamiento de todos los componentes del circuito. Para una correcta selección de un micro controlador se deben tomar en cuenta ciertos aspectos como, características de funcionamiento, número de pines de entradas y salidas, una interfaz de comunicación y también se debe diferenciar si es capaz de convertir señales analógicas en digitales. Estas son unas de las pocas características necesarias para la selección de un micro controlador, nosotros seleccionamos el Atmel mega 328P, un micro controlador que nos otorga todas estas características.

**Tabla 3.2** Características de funcionamiento del Atmel mega 328P.

Features	ATmega328P
Pin Count	28/32
Flash (Bytes)	32K
SRAM (Bytes)	2K
EEPROM (Bytes)	1K
Interrupt Vector Size (instruction word/vector)	1/1/2
General Purpose I/O Lines	23
SPI	2
TWI	1
USART	1
ADC	10-bit 15kSPS
ADC Channels	8
8-bit Timer/Counters	2
16bit Timer/Counters	1

**Fuente:** Atmel, sf, p 5. Atmel Mega 328 P Data sheet summary.

Para la selección del micro controlador, se realizó un estudio de tres micro controladores de diferentes marcas como el Atmel Mega 328P de la marca Atmel, el Pic 16FS77A marca microchip y el micro controlador de Motorola el modelo Freescale HC08AB. Se tomó en cuenta las memorias ROM, RAM y EEPROM así como también número de entradas y medio de programación.

En la tabla 3.3 se puede observar las características de cada micro controlador escogido previamente para el análisis de los elementos a utilizar en el circuito. Se aprecia que en dicha tabla que el micro controlado Atmel mega 328P, es el microcontrolador que ofrece mejores características de funcionamiento para trabajar con nuestro circuito.

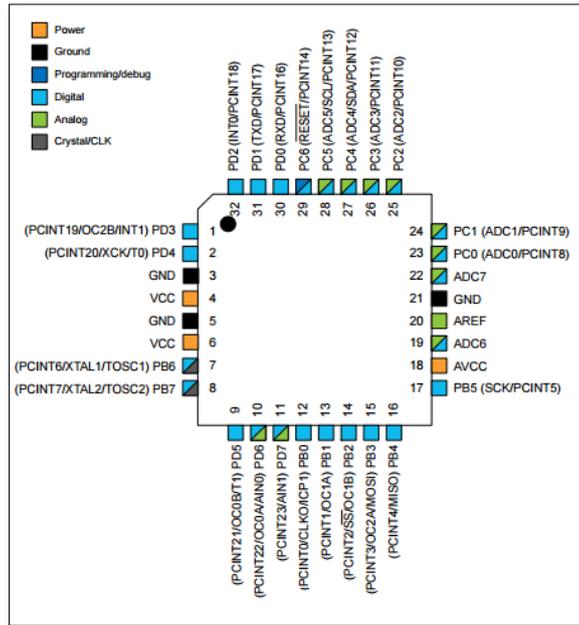
**Tabla3.3** Comparación entre micro controladores de diferentes marcas.

	Atmel	Micro Chip	Motorola
	Atmel Mega 328P	Pic 16FS77A	Freescale HC08AB
RAM	1024	368	1024
ROM	16 Kbytes	14.3 Kbytes	16 Kbytes
EEPROM	512 Bytes	256 Bytes	x
Número de Entradas	32	33	32
Lenguaje de Programación	C	Diagramas de flujo	Diagramas de flujo
Hardware de Programación	USB	Puerto Serie	USB

**Fuente:** Pedro Chonata

Se seleccionó micro controlador Atmel mega 328P por su facilidad a la hora de la programación, ya que se lo puede realizar mediante puerto USB y ofrece una programación más amigable, también porque el Atmel mega 328P, cuenta con 32 pines de entrada y de salida, lo que permite tener la conexión con todos los elementos del sistema. Mediante estos se puede controlar el voltaje de alimentación, conexión a tierra, entrada de señal analógica y salida de señal digital, así como también se puede realizar la programación del micro controlador con la ayuda de un computador externo y de un software destinado para esta actividad.

También se seleccionó este componente por sus numerosas entradas digitales y analógicas, que facilitan la utilización de diferentes componentes requeridos para la construcción del circuito.



**Figura 3.4** Disposición de pines del micro controlador

**Fuente:** Atmel, sf, p 11. Atmel Mega 328 P Data sheet summary.

Los pines que vamos a utilizar, serán los designados para la alimentación del micro controlador, el pin encargado de alimentación para el sensor de efecto hall, el mismo que será el encargado de la programación para especificar los parámetros del sensor hall. También se utilizará un pin a tierra, y un pin de salida para mostrar la señal procesada por el micro controlador hacia el display. La programación del sensor mediante el micro controlador se la realizará mediante el uso del programa arduino, un programa de software libre otorgado por la empresa fabricante para la programación de este tipo de micro controladores.

Los principales pines que utilizaremos de nuestro micro controlador serán los detallados a continuación. El pin para alimentación del micro controlador será el pin número 6, y también se utilizará el pin número 5 para la conexión a tierra. Para alimentar el sensor de efecto hall utilizado en nuestro equipo se procede a utilizar el pin de alimentación número 18, que es el encargado de suministrar el voltaje de operación del sensor. A través de este pin de

alimentación, también se procederá a realizar la programación del sensor. En el pin número 20 de entradas analógicas, se recibe la señal emitida por el sensor, para transformarla y adecuarla para a través del pin número 8 enviar la señal digital hacia el display de cristal líquido.

A continuación se detalla la programación realizada en el sensor a través del micro controlador:

```
void setup(){  
  
  Serial.begin(9600);//Abre puerto de comunicación a 9600 bpps  
  
  lcd.begin(8, 2);//Se usa pantalla 2x8  
  
  // Print a message to the LCD.  
  
  lcd.setCursor(0, 0);//ubica el cursor en la primera línea  
  
  lcd.print("Medidor "); //despliega en lcd la leyenda  
  
  lcd.setCursor(0, 1);//ubica el cursor en la segunda línea  
  
  lcd.print("de GAUSS");//muestra en lcd el valor en gauss  
  
  delay(2000);  
  
}  
  
void loop(){  
  
  int aValue = analogRead(0);//Lee el valor de entrada analogico  
  
  x = map(aValue, 0, 1024, 0, XRANGE);//Rango de medicion  
  
  gss = map(aValue, 150, 870, -1400, 1400);//Valor máximo y mínimo
```

```
Serial.print("|"); //imprime en pantalla la aguja de la escala
```

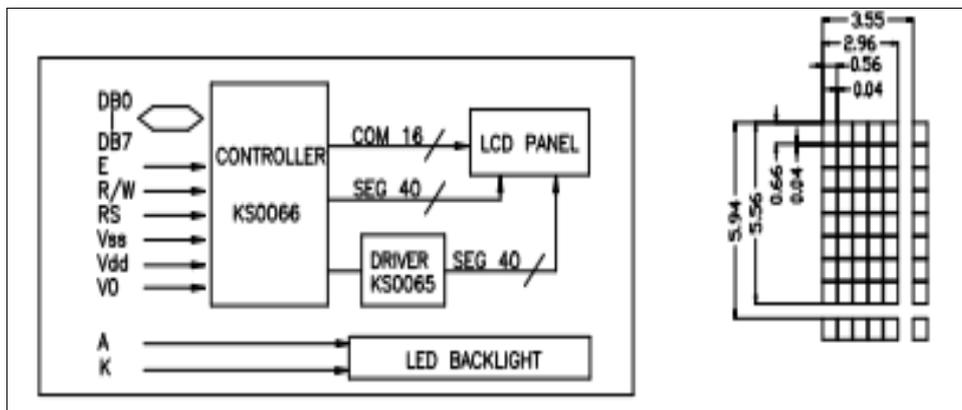
```
for (int i=0;i<x;i++){
```

```
if(i==XRANGE/2-1)Serial.print("|");
```

Se realizó la programación del sensor configurándolo para que trabaje en una escala de mG, logrando de esta manera enviar los datos digitales hacia la pantalla de cristal líquido en unidades mG.

### 3.2.3. Display.

Cuando se ha finalizado con el acondicionamiento y el proceso de la señal de nuestro sensor, es necesario mostrar la información emitida por el micro controlador. Para este objetivo utilizamos un una pantalla de cristal líquido o más conocido como display. Este cuenta con 16 pines y una pantalla de 16 columnas y dos filas encargadas de mostrar el valor digitalmente en la pantalla. Se encuentra alimentado por un voltaje de 5V.



**Figura 3.5** Configuración del display LCD

**Fuente:** Orient display. Tomado de: <http://orientdisplay.com/character-lcd-modules.html>

El pin designado para el control del display es el pin número 7 del micro controlador, así mismo se envía la información a través del pin número 8. En el display el pin encargado para la alimentación es el pin número 2 combinándolo con la conexión a tierra del pin número 1. La recepción de datos se realiza en el pin número 5.

**Tabla 3.4** Configuración de pines del display

PIN	Symbol	Function
1	Vss	Power Supply
2	Vdd	Power Supply
3	Vo	Contrast Adjust
4	RS	Instruction/Data Register Select
5	R/W	Data Read/Write
6	E	Enable Signal
7-14	DB0-DB7	Data Bus Line
15	A	Power Supply for LED (+)
16	K	Power Supply for LED (-)

**Fuente:** Orient display Tomado de: <http://orientdisplay.com/character-lcd-modules.html>

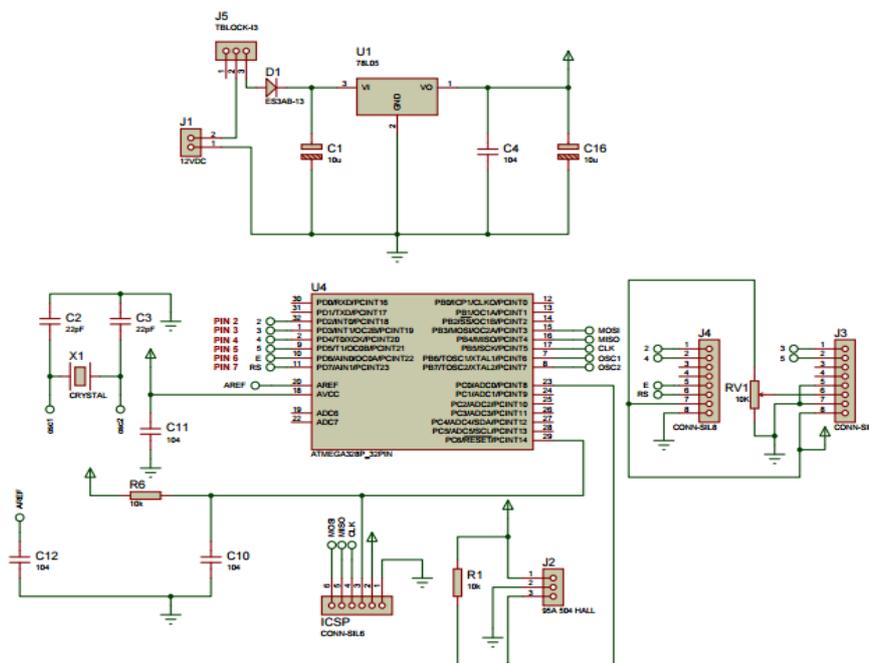
### 3.3. Diseño y construcción de la tarjeta electrónica.

#### 3.3.1. Diseño de la tarjeta electrónica.

Cuando contábamos con todos los elementos necesarios para la elaboración de nuestro equipo, y que hemos revisado los más importantes, fue necesario diseñar un circuito electrónico comandado por el micro controlador que logre receptor, procesar y transformar la señal del sensor de efecto hall de nuestro equipo para poder desplegarla en un display digital. Todo el circuito estará alimentado por una batería de 9V, y mediante el uso de transistores logramos alimentar a nuestro sensor con un voltaje de 5V. El sensor de efecto hall debe tener una alimentación no menor a 4,5 V y no mayor a 6V, esto para garantizar el correcto funcionamiento del equipo. El sensor de efecto hall, entrega un voltaje de salida equivalente a

la mitad del voltaje de entrada, por lo que el sensor entregara un voltaje de salida de 2,5V aproximadamente. Antes de realizar el diseño de nuestra placa impresa, fue necesario el diseñar un circuito esquemático del gaussímetro para tener en detalle los elementos necesarios a utilizar antes de la construcción y diseño del circuito impreso.

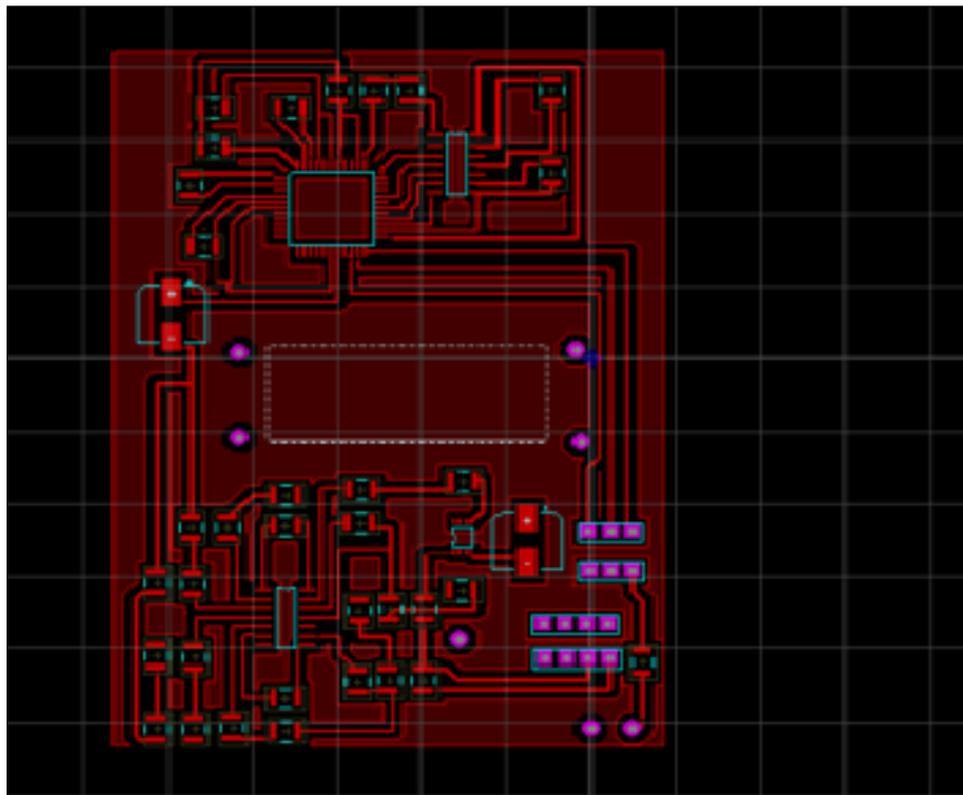
Para el diseño de la placa electrónica utilizaremos el programa de simulador y diseño de circuitos Pcb, este facilitará la estructura y la realización del diseño de nuestro circuito. Después procederemos con la elaboración de la placa, para poder programar el micro controlador. Fue necesario realizar un extenso análisis para la selección del micro controlador y la cual se detalla más adelante. Una vez realizada la programación se realizará las respectivas pruebas de funcionamiento y se construirá la carcasa protectora que nos ayudará a proteger todo el equipo. En la Figura 3.6 se puede observar el diseño del circuito esquemático del equipo.



**Figura 3.6** Circuito esquemático del equipo.

Fuente: Pedro Chonata

Para poder desplegar toda esta información en un circuito electrónico, fue necesario la utilización de un programa que nos facilite esta tarea. El programa que utilizamos es el Pcb editor de placas de circuitos impresos, un software que permite la creación de circuitos electrónicos y la simulación de los mismos. Con esto logramos unir en conjunto todos los elementos necesarios para crear el circuito que nos permita configurar nuestro micro controlador y mediante este poder recibir la señal de nuestro sensor al detectar los campos magnéticos deseados. En la figura 3.7 podemos observar el diseño del circuito elaborado en el programa de editor de circuitos Pcb, en donde se pudo realizar pruebas y simulaciones de funcionamiento para luego fue imprimir el circuito en una hoja de transferencia para poder transferirlo a la placa de cobre.

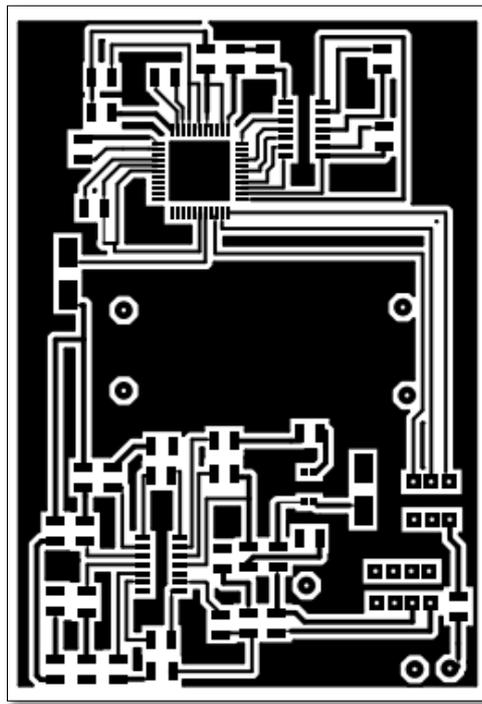


**Figura 3.7** Circuito elaborado en el programa Pcb

**Fuente:** Pedro Chonata

### 3.3.2. Construcción circuito impreso.

Una vez que se cuenta con la placa diseñada en el programa, se procede a transferir el modelo de placa impreso en la placa madre. Para llevar a cabo este proceso es necesario aplicar calor, el cual puede ser aplicado con una plancha eléctrica, para lograr así que nuestro diseño impreso logre añadirse a la placa madre por completo. Esto nos ayudará a guiarnos en la elaboración de la placa y en la suelda de los diferentes componentes. Se deben tomar precauciones al realizar este procedimiento ya que el calor que se aplica es elevado. En la Figura 3.8 se puede apreciar la hoja de transferencia utilizada para la transferencia en la placa madre.



**Figura 3.8** Diseño de circuito impreso para la hoja de transferencia

**Fuente:** Pedro Chonata

Es importante antes de realizar cualquier tipo de transferencia, limpiar la placa de cobre de cualquier tipo de impureza, grasa o suciedad que pueda afectar en el proceso de adherencia.

Se recomienda utilizar alcohol para este proceso y se debe secar bien antes de realizar la transferencia.



**Figura 3.9** Hoja de transferencia puesta en la placa madre

**Fuente:** Pedro Chonata

Con mucho cuidado procedimos a colocar la hoja de transferencia sobre la placa madre, se debe tener mucho cuidado con la manipulación al momento de transferir calor, ya que un pequeño movimiento mientras se está realizando la transferencia de calor puede ocasionar desfases en la impresión de la placa, y también puede producir quemaduras. Una vez que se pone la hoja de transferencia encima de la placa madre, se debe aplicar calor mediante una presión suave, durante un tiempo aproximado de 15 a 20 segundos. Procedimos a verificar visualmente si en la hoja de transferencia se produce unas pequeñas burbujas, que indican

que la transferencia está lista, caso contrario se debe repetir el proceso hasta lograr la transferencia deseada.



**Figura 3.10** Placa con hoja de transferencia lista

**Fuente:** Pedro Chonata

Cuando se ha terminado el proceso transferencia, se procede a retirar el papel de transferencia, lo cual lo realizamos con la ayuda de agua, teniendo mucho cuidado ya que por efectos del calor, puede haber pedazos o retazos de papel que pueden ser difíciles de retirar y pueden dañar la placa. Es recomendable sumergir la placa completamente en un recipiente con agua suficiente para cubrirla totalmente como se indica en el Figura 3.11. Se debe procurar que el agua se encuentre a temperatura ambiente, y que esta agua se encuentre lo más limpia posible para evitar contaminar nuestra placa.



**Figura 3.11** Placa sumergida en agua para retirar papel de transferencia

**Fuente:** Pedro Chonata

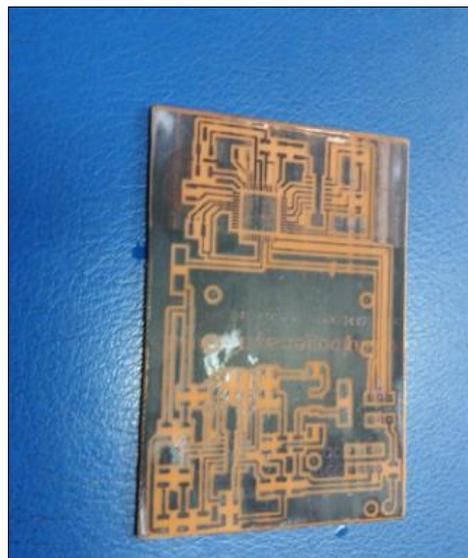
Después que la placa se encuentra totalmente sumergida, se procedió con el retiro de papel. Para este proceso se tomó a la placa de los costados, tratando de tener un contacto directo de los dedos con la placa impresa, para así proceder con el retiro del papel. El papel puede ser difícil de retirar, por lo que se recomienda retirarlo de poco a poco, evitando rasparlo o retirarlo con excesiva fuerza ya que puede producir rayones. Si quedara algunos pedazos de papel todavía adheridos a la placa solo se los retira con las yemas de los dedos, no se utilizara ningún tipo de herramienta ni lijas para evitar daños permanentes en la placa. El proceso de retiro de papel de transferencia es una actividad de mucha paciencia, en donde lo que menos importa es la velocidad con la que se retire el papel, para así poder evitar fallas futuras en el diseño y construcción de la placa.



**Figura 3.12** Retiro del papel de transferencia de la placa madre

**Fuente:** Pedro Chonata

Ya que se ha retirado el papel de la placa, miraremos como todo el diseño de la hoja de transferencia se añadió a la placa de cobre. Se puede ver en la Figura 3.13, como se han marcado las líneas de cobre por donde se va a realizar toda la transmisión del circuito.



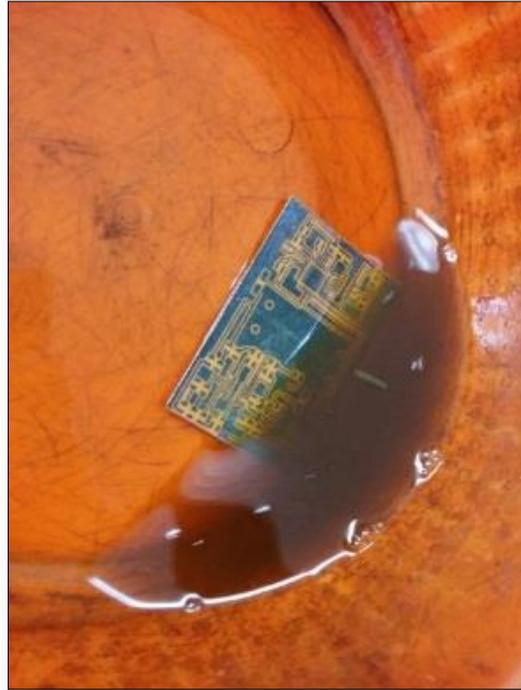
**Figura 3.13** Diseño de circuito transferido en placa madre

**Fuente:** Pedro Chonata

Es necesario remover el exceso de cobre de la placa, ya que con esto se logrará que solo las líneas de transmisión adheridas a la placa desde la hoja de transferencia sean las que permanezcan en la placa, facilitando la suelda de los diferentes elementos y el seguimiento del circuito. También se deberá de eliminar el exceso de tóner que se adhiere a la capa una vez que se realiza la transferencia de diseño. Para estos dos procesos utilizaremos un ácido especial para remover el cobre y acetona para retirar el tóner sobrante. Es importante verificar que no exista ninguna sobra de papel de transferencia antes de realizar estos procesos, ya que estas suciedades pueden dañar e interferir en el proceso de limpieza de cobre y tóner.

Inmediatamente después que se comprueba que la placa impresa con el diseño no contiene ningún sobrante de papel, es importante retirar el cobre de la placa, excepto de las zonas que se encuentran marcadas del diseño del circuito. Para esto sumergimos la placa en un ácido especializado para retirar el cobre, el ácido más común para realizar este tipo de lavados es el cloruro férrico, que se lo puede encontrar fácilmente y no supone mayores riesgos para la salud, sin embargo es importante evitar el contacto con la piel y especialmente con los ojos. Para proceder con el retiro del exceso de cobre, primero se mezcla en un recipiente, un poco de agua con cloruro férrico en relación de 2 a 1, dos partes de cloruro férrico por una parte de agua. Es necesario mezclar bien los componentes, y se espera por unos segundos antes de sumergir la placa. Se recomienda insertar la placa en el ácido de forma suave y constante, ya que si la arrojamos de manera brusca en el recipiente, no se lograra una correcta remoción. Se puede utilizar unas pinzas para esta finalidad.

Luego de que se ingresó la placa en el ácido, se empezó a mover el recipiente despacio, y de manera constante, para que el ácido alcance todos los rincones de la placa, y con el movimiento realice el proceso de remoción. Es necesario repetir el proceso las veces que sea necesario, con la finalidad de que todo el exceso de cobre sea removido de la placa.

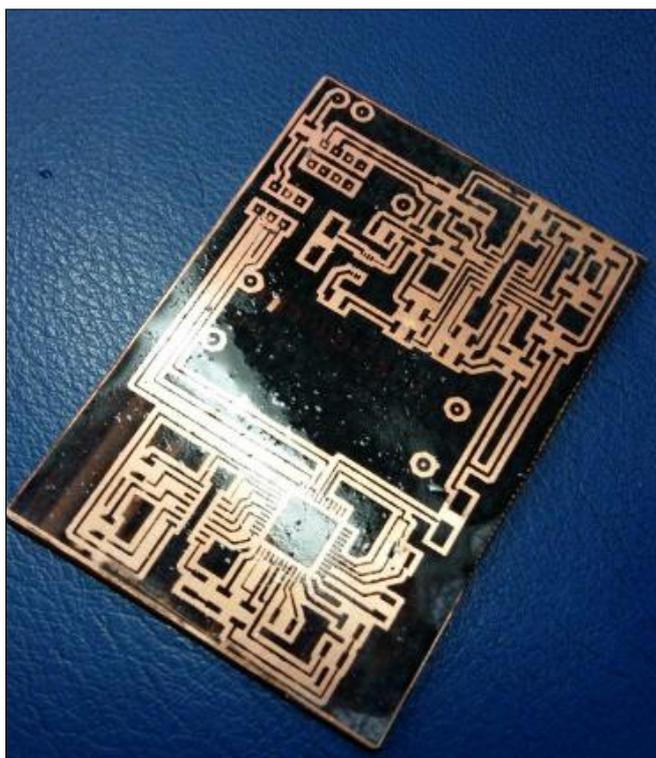


**Figura 3.14** Remoción de exceso de cobre con cloruro férrico

**Fuente:** Pedro Chonata

Una vez que se pasó la placa por el ácido, esta tomará un color poco más brillante, ya que todo el exceso de cobre fue removido, además se observará como todas las líneas del circuito quedan totalmente marcadas en la placa. Antes de realizar cualquier otro procedimiento, se debe limpiar de forma íntegra la placa, para limpiar cualquier resto de ácido que pudiera quedar en la misma. Para facilitar este trabajo se puede utilizar un poco de jabón, para limpiarla y enjuagarla con abundante agua.

Se debe evitar completamente la remoción de cualquier ácido o de cualquier elemento contaminante de la placa con elementos externos que puedan dañar la placa, ya que un simple rayón o fallo en la placa puede determinar la falencia de todo el circuito y de problemas posteriores en el diseño y funcionamiento del circuito.



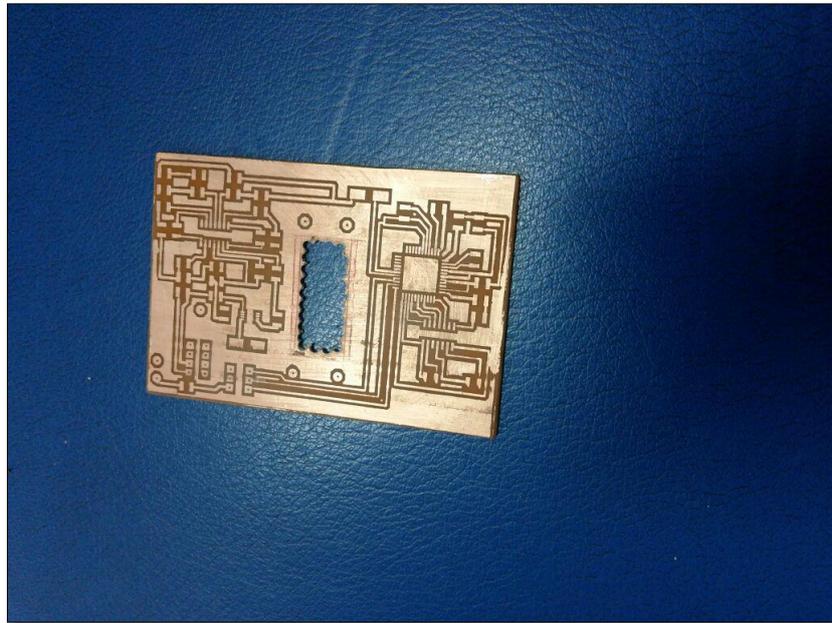
**Figura 3.15** Placa retirada el exceso de cobre

**Fuente:** Pedro Chonata.

Cuando se haya limpiado toda la placa del ácido sobrante, se tiene que secarla completamente para proceder con el siguiente procedimiento que es el de remover el tóner de la placa. Para este fin, utilizamos acetona común, el mismo que se utiliza en procesos de belleza y se encuentra en cualquier farmacia.

Para remover el tóner tomamos la placa de los bordes, tratando de evitar al máximo el contacto directo de la placa con los dedos, luego, tomamos un algodón y lo bañamos en acetona, y con este se procede a limpiar la placa de todo el tóner sobrante con movimientos lineales regulares y gentiles, que no produzcan ningún daño en el circuito impreso. Si el tóner es difícil de remover se puede utilizar la ayuda de alcohol industrial en mínimas cantidades,

procurando no excederse en el uso de este fluido, y que se lo use solo si es estrictamente necesario.



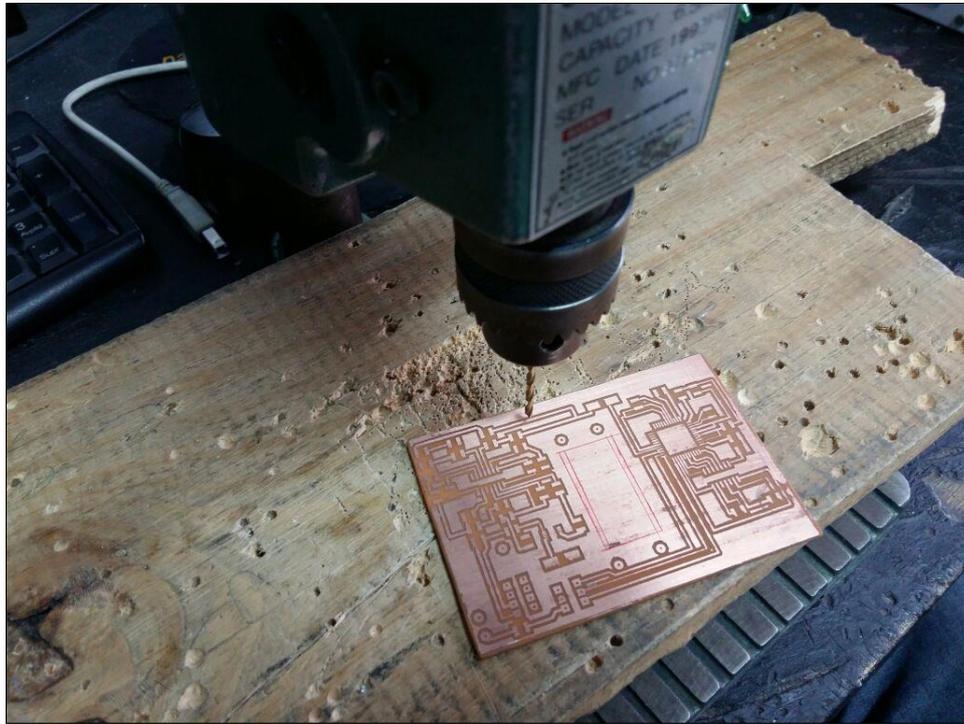
**Figura 3.16** Placa después de la limpieza de tóner

**Fuente:** Pedro Chonata

Posteriormente que se posee la placa lista para trabajar, procedemos a realizar las perforaciones necesarias para la ubicación de los elementos, esto nos facilitará en la aplicación y soldadura de los elementos en la placa de nuestro circuito.

Para este proceso colocamos la placa encima de un pedazo de madera, luego se procedió a alistar el taladro con una broca de 0,5 mm. Con mucho cuidado se procede a perforar la placa, siempre teniendo la precaución de perforar solo los espacios designados necesarios, ya que de perforar un lugar que no es el indicado puede ocasionar que el circuito falle o no funcione. Para evitar estos inconvenientes, se puede delimitar los espacios a perforar con la ayuda de un punzón o una punta metálica fina, con esto nos aseguraremos que todos los espacios que vayamos a perforar sean los correctos. Una vez culminado el proceso de perforado, puede

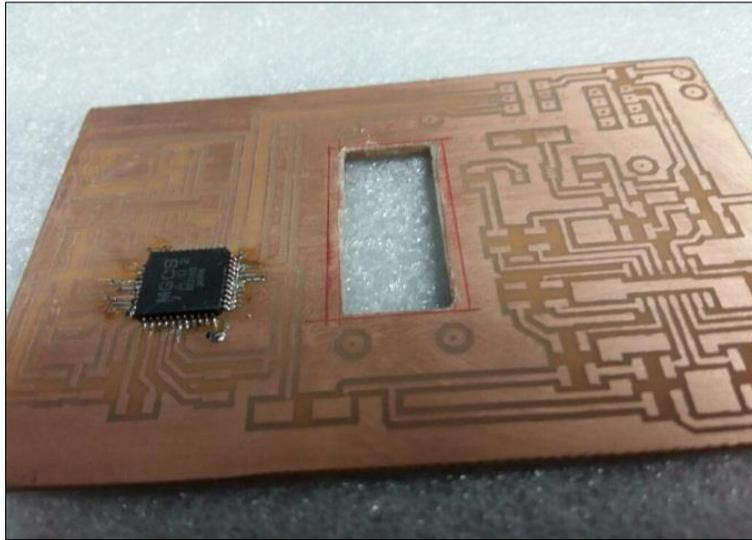
existir residuos o basuras por parte de la placa y por parte de la madera ubicada en la parte inferior, por lo cual, una vez finalizado el proceso de taladrado, se limpia la placa nuevamente para retirar cualquier residuo o suciedad de la misma.



**Figura 3.17** Perforación de la placa

**Fuente:** Pedro Chonata

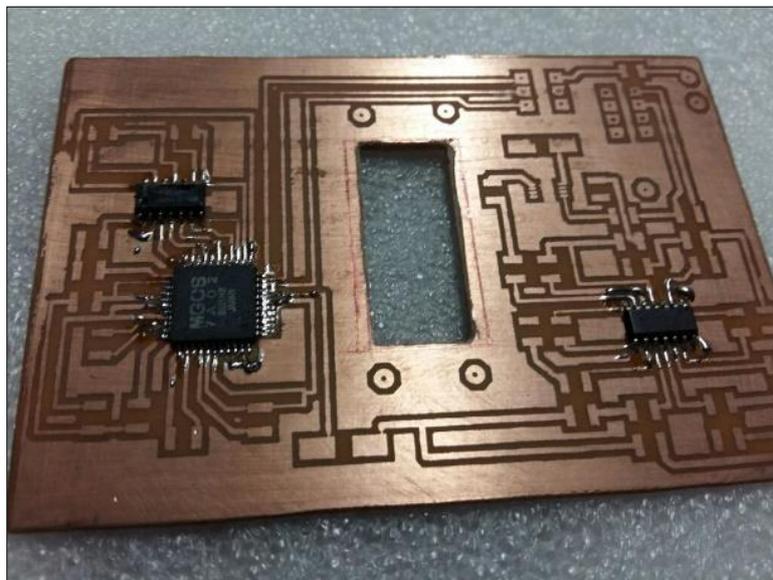
Cuando ya se poseen todas las perforaciones y una placa limpia se empieza con la suelta de todos elementos a la placa. Se debe verificar que el funcionamiento y programación de todos los elementos sean los correctos antes de empezar a soldar los elementos en la placa. Para proceder con la soldadura se utilizó un cautín tipo lápiz, estaño y crema para soldar. Se debe tener mucho cuidado de colocar excesivo o muy poco estaño en los elementos para evitar que estos puedan desprenderse o funcionar erróneamente. Primero se procedió a soldar el micro controlador para después proceder a soldar los demás elementos del circuito.



**Figura 3.18** Suelda del micro controlador a la placa

**Fuente:** Pedro Chonata

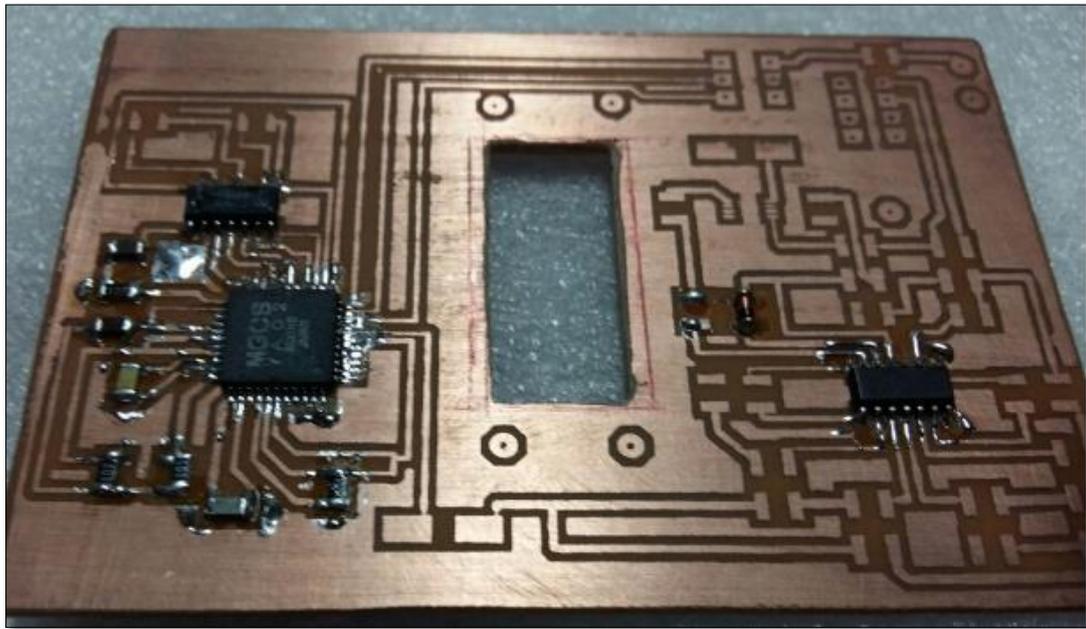
En seguida que se ha instalado el micro controlador, se procedió a instalar los otros dos elementos de circuitos integrados, utilizados para las funciones de acondicionamiento de señal y regulación de la alimentación de voltaje para los de todo el sistema.



**Figura 3.19** Suelda de elementos de circuito integrado

**Fuente:** Pedro Chonata

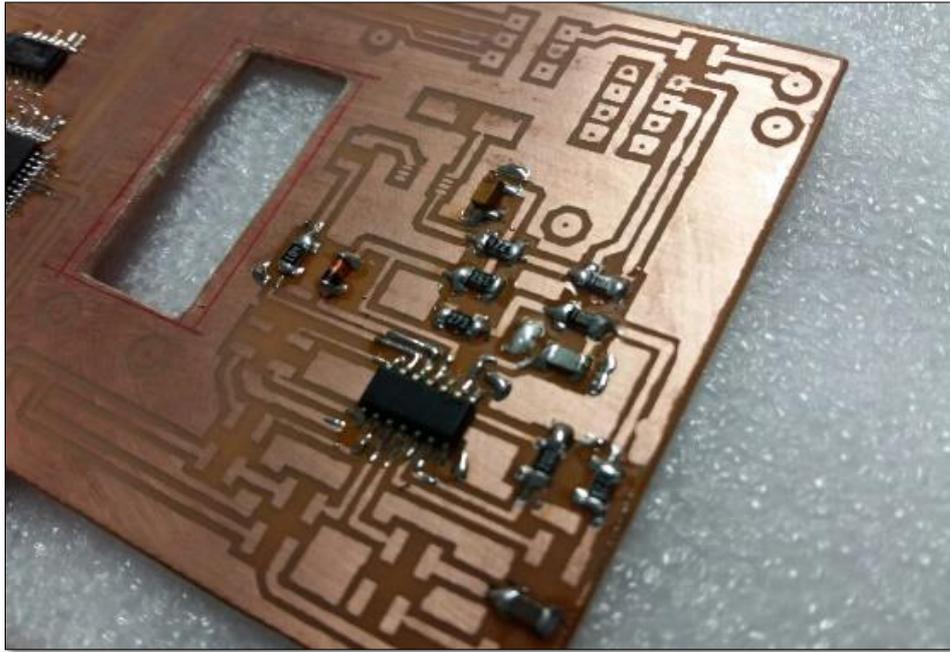
Luego que se hayan soldado estos elementos, procedimos a instalar las resistencias correspondientes para conectar nuestro micro controlador con el circuito integrado de amplificador operacional, que es el encargado de acondicionar la señal del sensor para que esta señal llegue al micro controlador más clara y sin fallas.



**Figura 3.20** Suelda del amplificador operacional en la placa.

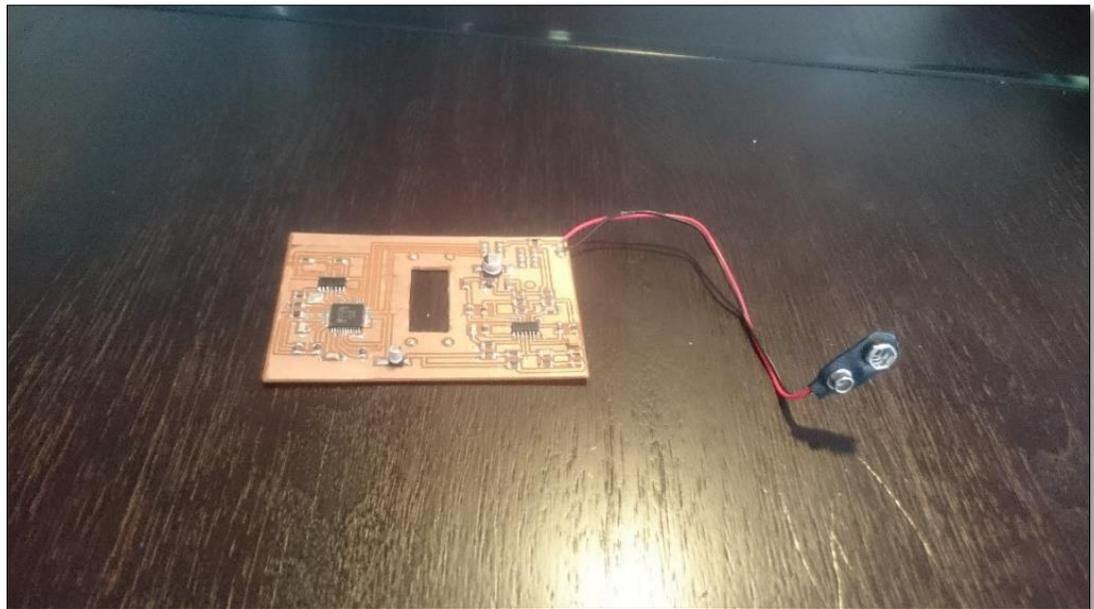
**Fuente:** Pedro Chonata

Posteriormente a tener listo el amplificador operacional, se procedió a realizar la suelda de los elementos del circuito integrado para el regulador de voltaje, el cual es el encargado de transformar los 9V entregado por la batería externa en 5V operacionales para todos los elementos del circuito, en especial para la alimentación del sensor de efecto hall encargado de medir los campos electromagnéticos. Después se procedió a soldar el socket para la batería de alimentación de 9V.



**Figura 3.21** Suelda de elementos en la placa del regulador de voltaje

**Fuente:** Pedro Chonata



**Figura 3.22** Suelda del socket para la batería

**Fuente:** Pedro Chonata

### 3.4 Control de calidad y funcionamiento de la placa.

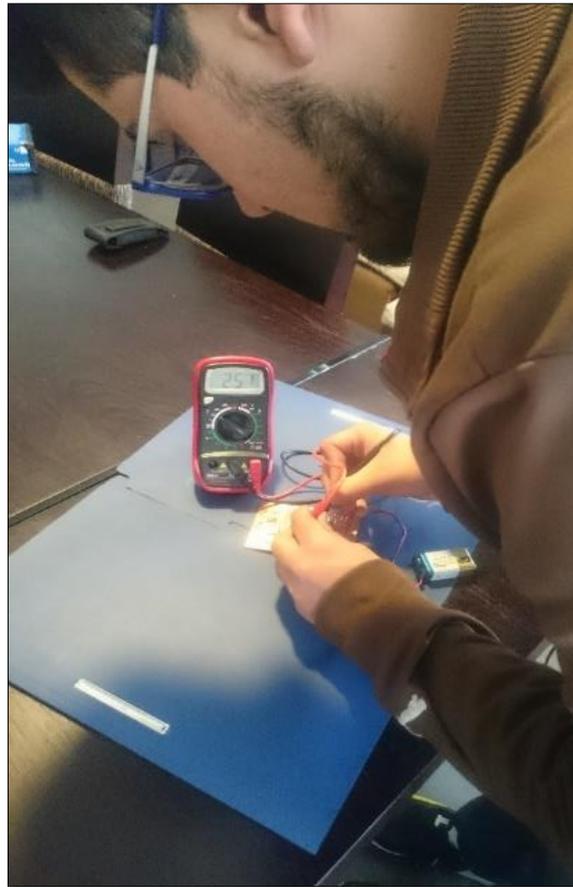
Una vez soldados los diferentes elementos que van en el diseño del circuito, se procede a la conexión de nuestro sensor hall, para poder realizar las pruebas de funcionamiento de la placa y del circuito en general. Antes de conectar la fuente de alimentación, es recomendable poner debajo de la placa un cartón o un papel, para evitar que se produzca contacto con algún elemento externo que pueda ocasionar un corto circuito. Para la medición de voltaje se usará un multímetro que nos ayude a determinar el voltaje de alimentación y de salida de nuestro sensor hall, sin ningún campo magnético cerca, y luego con un imán de neodimio que alterará el voltaje de salida a medida que se detecta campo magnético. En la Figura 3.23 podemos observar el voltaje de alimentación del sensor, el cual nos registró un valor de 5.03 V.



**Figura 3.23** Medición del voltaje de alimentación del sensor hall

**Fuente:** Pedro Chonata

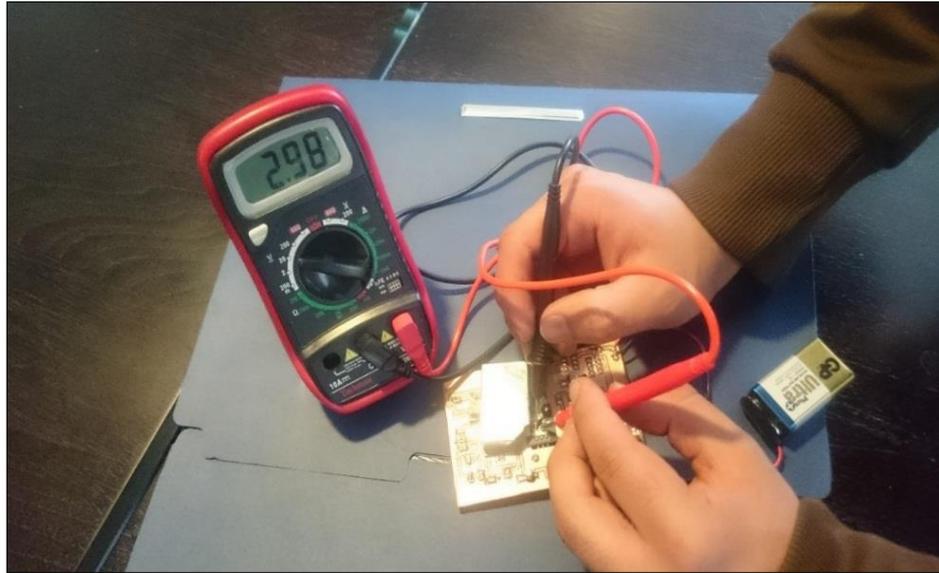
Después se realizó la medida del voltaje de salida del sensor, sin que este cerca de ningún campo magnético. En la Figura 3.24 se puede observar esta medición la cual nos arrojó un valor de 2.51 V.



**Figura 3.24** Medición de voltaje de salida del sensor hall

**Fuente:** Pedro Chonata

Inmediatamente se agregó un imán de neodimio, uno de los imanes más fuertes que existen y se lo colocó en cerca del sensor con la finalidad de verificar la variación de voltaje, inmediatamente se observó que el voltaje de salida presento variación en su valor. Una vez que se acercó el imán hacia el sensor, se registró un valor de 2.98 V. A medida que se acerca o se aleja el imán hacia el sensor se detecta una variación de voltaje de salida, por lo que se comprueba el funcionamiento del circuito y sus componentes.



**Figura 3.25** Medición de voltaje de salida con imán de neodimio

**Fuente:** Pedro Chonata

Acercando el imán aún más cerca hacia la dirección del sensor se pudo identificar que el voltaje iba subiendo, es decir a medida que se detecta mayor campo magnético el voltaje sube, por lo que se ratifica que el voltaje es directamente proporcional al campo detectado, logrando así identificar diferentes campos magnéticos producidos por diferentes elementos



**Figura 3.26** Medición de voltaje de salida con mayor campo detectado

**Fuente:** Pedro Chonata

### 3.5. Carcasa de protección del equipo.

Cuando se terminó con la suelda e implementación de los elementos en la placa, y se comprobó que su funcionamiento era correcto y marcaba en los parámetros normales, procedimos a realizar la carcasa de protección del equipo para evitar el daño de los elementos internos. Para realizar la carcasa, utilizamos fibra de vidrio, dada que su protección es muy elevada pero también nos otorga maniobrabilidad y facilidad de manejo del equipo gracias a su bajo peso. Las dimensiones de la carcasa del equipo son de 7cm x 13cm x 1,2cm.



**Figura 3.27** Tapa de la carcasa

**Fuente:** Pedro Chonata

Una vez que se contaba con la carcasa de fibra de vidrio, se procedió a colocar al circuito dentro de las dos tapas, para asegurar las mismas mediante tornillos para una correcta sujeción.

Cuando se obtuvo el equipo totalmente armado, se procedió con el pegado de un sticker de lona en la carcasa, como medida de protección del equipo para evitar daños.



**Figura 3.28** Gaussímetro

**Fuente:** Pedro Chonata

## Capítulo IV

### 4. Pruebas de funcionamiento del Gaussímetro y mediciones en vehículo Toyota Prius.

#### 4.1. Prueba de funcionamiento del equipo.

Cuando se finalizó con el diseño y construcción de nuestro gaussímetro, fue necesario realizar las pruebas de funcionamiento del equipo. Para determinar el correcto funcionamiento de nuestro equipo se realizaron tres tipos de pruebas, con un gaussímetro universal calibrado adquirido y comprado en una tienda electrónica. Las primeras pruebas las realizamos con la medición de campos emitidos por electrodomésticos o aparatos eléctricos que se encuentran en el hogar. La segunda prueba se la realizó a través de una bobina de corriente continua, alimentada a 110V que nos genera un campo magnético ideal calculado, y un campo magnético real medido por el equipo, comparando estos dos valores sacaremos el porcentaje de error de funcionamiento. Con la bobina también se realizó mediciones de campo magnético a diferentes distancias, y con elementos que puedan interferir en el medio. La tercera prueba se realizó con la medición de radiación producida por un alternador y por las líneas de corriente de la batería de un vehículo Kia Sportage Active del año 2013. El gaussímetro utilizado para las pruebas es un Lutron 822 A, calibrado de fábrica.

##### 4.1.1. Pruebas con aparatos Eléctricos.

La Organización mundial de la salud, realizó una prueba en diferentes aparatos eléctricos e indica que todos los aparatos eléctricos utilizados en nuestro diario vivir generan un campo magnético en mayor o en menor proporción. Se elaboró un listado con valores regulares de radiación electromagnética producida por diferentes aparatos electrónicos, los cuales trabajan a una frecuencia de 50 Hz. En la tabla 4.1 podemos ver la lista emitida por la Organización

Mundial de la Salud con referencia a la radiación electromagnética producida por aparatos electrónicos.

**Tabla 4.1** Radiación emitida por aparatos eléctricos comunes

Aparato Eléctrico	A una distancia de 3 cm ( $\mu\text{T}$ )	A una distancia de 30 cm ( $\mu\text{T}$ )
Secador de pelo	6-2000	0.01-7
Máquina de afeitar	15-15000	0.08-9
Aspiradora	200-800	2-20
Luz fluorescente	40-400	0.5-2
Horno	73-200	4-8
Microondas	16-56	1
Radio portátil	1-50	0.15-0.5
Lavadora	0,8-50	0.15-3
Hierro	8-30	0.12-0.3
Lavavajillas	3-20	0.6-3
Computadora	0.5-30	0.01
Frigorífico	0.7-1.7	0.01-0.25
Televisor de color	2.5-50	0.04-2

**Fuente:** (OMS, 2005). Campos electromagnéticos y salud pública.

Para realizar las pruebas de funcionamiento del gaussímetro, tomamos como referencia cinco aparatos eléctricos para realizar mediciones primero realizamos mediciones en un computador de escritorio común, un televisor a color, un refrigerador común, una lavadora de platos y finalmente una cocina de inducción.

Todos estos aparatos eléctricos se encuentran alimentados con 110V, además trabajan con una frecuencia de 50Hz.

Primero realizamos las pruebas en un computador de escritorio normal, cuando este equipo se encontraba apagado, no se detectó ningún tipo de campo alrededor del mismo, sin

embargo se detectó un campo magnético de 3,9 mG, cuando el equipo se encontraba encendido.



**Figura 4.1** Medición de radiación en un computador de escritorio

**Fuente:** Pedro Chonata

Después se procedió a realizar las pruebas de funcionamiento con un televisor prendido y funcionando, esta prueba se realizó a una distancia de 3 cm y pudimos observar que el televisor marcó un valor de 26.2 mG. A pesar de que el televisor es un poco antiguo se pudo determinar la radiación emitida por este tipo de aparatos eléctricos. En televisores más nuevos y actuales el valor de radiación será menor por las nuevas tecnologías implantadas en este tipo de aparatos electrónicos. Después se realizó la prueba en un refrigerador común a una distancia de 3cm, detectándose un valor de 3.3 mG.



**Figura 4.2** Medición de radiación en una televisión a color

**Fuente:** Pedro Chonata



**Figura 4.3** Medición de radiación en un refrigerador

**Fuente:** Pedro Chonata

La siguiente prueba la realizamos en una lavadora de platos, en donde la radiación detectada no fue muy elevada con un valor de 1.1 mG.



**Figura 4.4** Medición de radiación en una lavadora de platos

**Fuente:** Pedro Chonata

Por último, la prueba final con aparatos eléctricos se la realizó en una cocina de inducción, aparatos que han sido insertados de forma masiva en el país durante los últimos años. Se detectó un valor de 95.8mG, un valor elevado ya que este tipo de cocinas funcionan con un principio de calentamiento mediante inducción electromagnética.



**Figura 4.5** Medición de radiación en una cocina de inducción

**Fuente:** Pedro Chonata

Una vez finalizada las mediciones se procedió a tomar y a registrar los valores encontrados por cada aparato electrónico. A continuación se muestra la tabla comparativa de los valores calculados por el gaussímetro para los diferentes aparatos eléctricos.

Se debe tomar en cuenta la radiación puede variar según la marca, modelo y capacidad operativa del aparato eléctrico y también por el año de fabricación del mismo, ya que estos sufren cambios drásticos en su diseño por los avances tecnológicos a los que son sometidos todos los equipos modernos.

**Tabla4.2 Tabla de mediciones en los equipos eléctricos**

Equipo eléctrico	Radiación aparato apagado mG.	Radiación aparato encendido mG.
Computador	0.1	5
Refrigerador	0.1	3.3
Televisor a color	0.1	26.2
Lavadora de platos	0.1	1.1
Cocina de inducción	0.1	95.8

**Fuente:** Pedro Chonata

#### 4.1.2. Pruebas con una bobina.

Para realizar esta prueba, se tomó una bobina que funciona a corriente continua, con núcleo de aire  $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ , que posee un número de vueltas de  $N= 2385$ , y una longitud de alambre  $L = 350\text{m}$ . A esta bobina se le hizo circular una corriente de  $0,37\text{ A}$ . La medida fue tomada a  $5\text{ cm}$  de la bobina.

Para calcular el valor esperado de campo ideal producido utilizamos la siguiente fórmula.

$$B = \frac{\mu \times N \times I}{L} = [\text{T}] = 10^4 [\text{G}]$$

$$B = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 2385 \times 0,37}{350}$$

$$B = 0,031\text{G} = 31,68 \text{ mG}.$$

Para determinar el porcentaje de error aplicamos la fórmula del valor esperado versus el valor experimental de la siguiente manera.

$$\% \text{ Error} = \frac{\text{Valor esperado} - \text{valor experimental}}{\text{valor esperado}} \times 100$$

$$\% \text{ Error} = \frac{31,68 - 30,9}{31,68} \times 100$$

$$\% \text{ Error} = 0,0246 \times 100$$

$$\% \text{ Error} = 2,46\%.$$



**Figura 4.6** Medición de campo en la bobina

**Fuente:** Pedro Chonata

El porcentaje de error que se obtuvo fue del 2,46%, indicando que a pesar de realizada la configuración y programación del equipo, este posee un error mínimo de funcionamiento.

También se procedió a realizar mediciones en la bobina a diferentes distancias, en donde se observó que mientras más se aleje el gaussímetro de la bobina, el campo magnético producido será más bajo.



**Figura 4.7** Medida de campo en la bobina a una distancia de 3cm

**Fuente:** Pedro Chonata

Otra de las pruebas realizadas fue con la interacción de medios con la radiación electromagnética, para estas pruebas se utilizó limadura de acero y también ceniza como medios entre la radiación de la bobina y el gaussímetro. En el caso de la limadura se pudo apreciar un aumento en la radiación, mientras que en el caso de la ceniza se notó una disminución en la radiación detectada.



**Figura 4.8** Medida de campo con medio de ceniza a distancia de 3cm

**Fuente:** Pedro Chonata



**Figura 4.9** Medición de radiación con medio de limadura de acero a 5cm

**Fuente:** Pedro Chonata

**Tabla 4.3** Mediciones de campo en la bobina según la distancia y según el medio

Distancia (cm)	Radiación en mG	Radiación con limadura de acero en mG:	Radiación con ceniza en mG.
1	70,1	96.7	47.4
3	44,7	57.8	39
5	30,9	42.9	25.1
10	5,8	11.1	3.2
15	0,5	3.34	0.1

**Fuente:** Pedro Chonata

### 4.1.3 Pruebas en alternador del vehículo Kia Sportage

La última prueba fue realizada en un vehículo Kia Sportage del año 2013, en donde procedimos a realizar pruebas de radiación en el alternador y también en las líneas de corriente de la batería cuando el vehículo se encontraba encendido o apagado. Primero se procedió a tomar los valores de radiación con el vehículo apagado, en donde no se detectó ningún valor en el alternador ni en los cables de la batería



**Figura 4.10** Medición en el alternador con el vehículo apagado

**Fuente:** Pedro Chonata

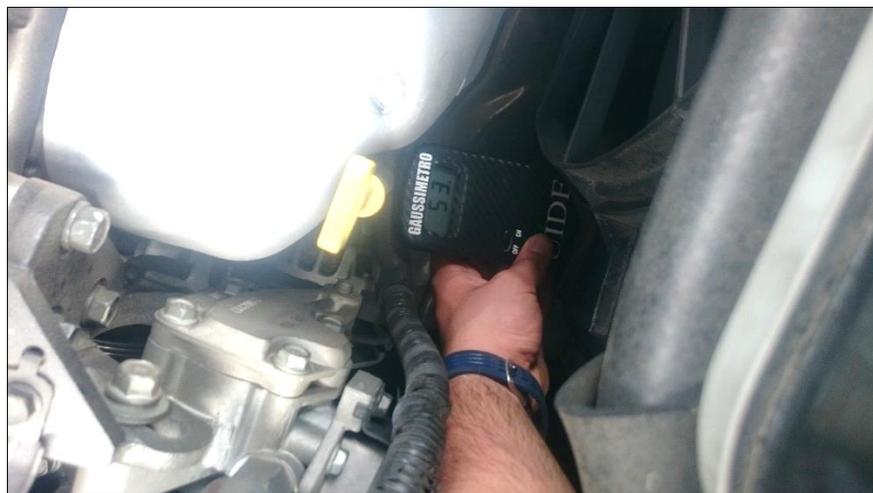
Cuando encendimos el vehículo, se detectó de forma inmediata radiación tanto en los cables de batería, y así también en el alternador. El vehículo se encontraba en ralentí y se

detectó un valor de 53.1 mG en el alternador y en los cables un valor de 12.5 mG. Cuando se realizó una medición en el alternado a una distancia de 10cm, se encontró un valor de 22.5 mG.



**Figura 4.11** Medición en los cables de batería con el vehículo en ralentí

**Fuente:** Pedro Chonata



**Figura 4.12** Medición en alternador con el vehículo en ralentí

**Fuente:** Pedro Chonata

Cuando se dejó el vehículo en ralentí y se cerró el capó del motor, todavía se detecta una leve radiación de 3.2 mG a la altura del alternador tal cual se muestra en el Figura 4.13.



**Figura 4.13** Medición de radiación con el capó cerrado

**Fuente:** Pedro Chonata

## **4.2. Mediciones en el vehículo Toyota Prius.**

### **4.2.1. Generalidades.**

Después de haber concluido con la finalización de la construcción de nuestro gaussímetro, se procedió a realizar la medición de radiación electromagnética en nuestro auto híbrido. Para determinar los valores de medición en nuestro vehículo procedimos a realizar diferentes mediciones con diferentes velocidades de funcionamiento, así como también en diferentes regiones de la cabina. El vehículo de prueba será el Toyota Prius del año 2009, uno de los vehículos híbridos más comerciales alrededor del mundo.



**Figura 4.14** Vehículo de Prueba

**Fuente:** Pedro Chonata

Las mediciones se realizó con diferentes condiciones de funcionamiento del vehículo, se las realizo con el vehículo apagado, con el vehículo en ralentí y a velocidades de 20, 40, 60, y 80 km/h. En el motor y en el inversor solo fueron posible realizar las mediciones con el vehículo apagado y en ralentí. Es importante recalcar que se necesita la ayuda de una persona para que se encargue de la conducción del vehículo, para evitar cualquier tipo de accidente. También es necesario mencionar que se necesita retirar de la cabina cualquier equipo electrónico o elemento ferromagnético que pueda interferir con las lecturas del medidor. En la tabla 4.4 se puede identificar la tabla que se utilizó para la recolección de datos, la misma que se llenó cada vez que se realizó una medición, con los parámetros requeridos, y también se puede identificar todas las zonas para la medición.

**Tabla 4.4** Tabla de registro para mediciones de radiación en el Toyota Prius

Mediciones en Toyota Prius en mG.								
Condicion de Funcionamiento	Piso del Conductor	Cuerpo del Conductor	Piso del Copiloto	Cuerpo del Copiloto	Piso Cabina posterior	Cuerpo Cabina Posterior.	Motor	Inversor
Vehículo Apagado								
Vehículo en Ralentí.								
20km/h.								
40km/h.								
60km/h.								
80km/h.								

**Fuente:** Pedro Chonata

#### 4.2.2 Pruebas con el vehículo apagado.

Con el vehículo apagado se pudieron realizar mediciones en todas las áreas designadas del vehículo. Con el vehículo apagado no se detecta ninguna radiación en el vehículo, tanto como en los exteriores e interior de la cabina. En la mayoría de las no se detectó radiación alguna.



**Figura 4.15** Medición en la cabina con el vehículo apagado

**Fuente:** Pedro Chonata



**Figura 4.16** Medición en el motor del con el vehículo apagado

**Fuente:** Pedro Chonata



**Figura 4.17** Medición en el inversor con el vehículo apagado

**Fuente:** Pedro Chonata

### 4.2.3. Pruebas con el vehículo en ralentí.

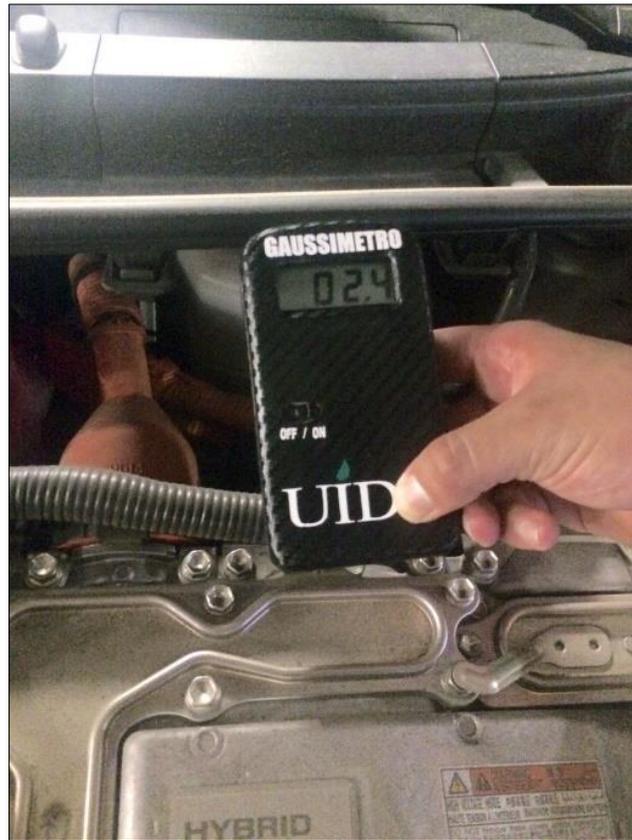
Después de realizar las mediciones con el vehículo apagado se procedió a encender el vehículo para realizar las mediciones con el vehículo en ralentí, en donde se pudo observar que se ya se detectó mediciones tanto en el interior de la cabina como también en el motor y en el inversor. En el interior de la cabina se pudo detectar valores de entre 0,1 mG hasta valores de 0,4 mG en el piso del conductor.



**Figura 4.18** Medición en la cabina posterior con el vehículo en ralentí

**Fuente:** Pedro Chonata

Mientras tanto que el valor más alto con el vehículo en ralentí se detectó en el inversor, en donde se midió un campo de 2,4 mg. Al encontrarse el vehículo en ralentí, el inversor ya empieza a funcionar, por tanto ya se produce y se mide un campo magnético, sin necesidad de que el vehículo se encuentre en movimiento.



**Figura 4.19** Medición en el inversor con el vehículo en ralentí

**Fuente:** Pedro Chonata

#### **4.2.4. Pruebas con el vehículo funcionando a una velocidad de 20km/h.**

Para realizar las pruebas del vehículo en ruta, se arrancó el vehículo y se procedió a realizar las pruebas con el vehículo funcionando a una velocidad promedio de 20km/h. En este modo de prueba y para las pruebas posteriores solo se pueden tomar mediciones de radiación al interior de la cabina, en donde se encontró que a la velocidad estándar de 20 km/h, se detectó una radiación mínima de 0,2 mG, en la zona del cuerpo del copiloto, y una radiación máxima de 1,3 mG en la zona del piso del conductor.



**Figura 4.20** Medición en el cuerpo del copiloto a una velocidad de 20km/h.

**Fuente:** Pedro Chonata

#### **4.2.5. Pruebas con el vehículo funcionando a 40 km/h.**

Al aplicar una aceleración más fuerte, aumentando así la velocidad, en el interior del vehículo se empieza a medir campos de radiación electromagnética más fuerte. En esta fase de conducción ya trabajan en conjunto motor eléctrico y motor de combustión interna, lo que genera este aumento de radiación electromagnética.

Los valores medidos oscilan entre 0,4 a 2,2 mG detectándose un campo mayor en la posición del piso del piloto, con un aumento considerable de radiación desde que se iniciaron las pruebas. En las otras zonas de la cabina la radiación es más baja pero se confirmó que a esta velocidad la radiación tuvo un aumento considerable.



**Figura 4.21** Medición en el cuerpo del piloto a una velocidad de 40 km/h

**Fuente:** Pedro Chonata



**Figura 4.22** Medición en la cabina posterior a 40 km/h

**Fuente:** Pedro Chonata

#### 4.2.6. Pruebas con el vehículo funcionando a 60 km/h.

En la prueba con el vehículo a 60 km/h, se pudo detectar que el campo magnético fue en aumento, en esta fase trabaja el motor eléctrico como un generador, por lo cual se da el aumento de radiación. Se pudo detectar valores que oscilan entre 0,5 mG a 4,5mG. El valor más bajo se detectó en el cuerpo del copiloto mientras que el más alto en el piso del conductor. Los valores en piso de la cabina posterior resultaron muy parecidos al valor del cuerpo del piloto.



**Figura 4.23** Medición en la cabina posterior a una velocidad de 60 km/h

**Fuente:** Pedro Chonata

#### 4.2.7. Pruebas con el vehículo funcionando a 80 km/h.

Estas fueron las últimas pruebas realizadas en el vehículo, aquí se dispuso de la mayor aceleración alcanzando la velocidad más alta de fase de pruebas, se pudo observar que los valores de radiación aumentaron, el valor más alto se mantuvo en el piso del conductor, mientras que el más bajo se detectó en el cuerpo de copiloto. Los valores de medición en esta prueba oscilan entre 0,9 mG a 5,1 mG, siendo este último el valor más alto registrado en las pruebas.



**Figura 4.24** Medición Cabina Posterior a velocidad de 80 km/h

**Fuente:** Pedro Chonata



**Figura 4.25** Medición Cuerpo Copiloto a una velocidad de 80 km/h

**Fuente:** Pedro Chonata

Las pruebas finalizaron con las mediciones de 80km/h, aquí fue donde se detectaron los valores más altos de radiación, con velocidades más altas la radiación fue decreciendo poco a poco. Cabe indicar que los valores de medición detectados más altos fueron los encontrados en el piso del conductor, mientras que en la cabina posterior y asiento del copiloto se detectaron valores mucho más bajos.

Los valores finales fueron tabulados y archivados para su posterior análisis, todos los valores registrados fueron guardados en la tabla 4.4, en donde se indica los valores de radiación magnética en unidades mG de las pruebas realizadas en el vehículo Toyota prius y en donde se pueden apreciar todas las variaciones de radiación con respecto a la velocidad de funcionamiento

**Tabla 4.5** Tabla de los valores medidos en mG en el vehículo Toyota prius

Mediciones en Toyota Prius en mG.								
Condición de Funcionamiento	Piso del Conductor	Cuerpo del Conductor	Piso del Copiloto	Cuerpo del Copiloto	Piso Cabina posterior	Cuerpo Cabina Posterior.	Motor	Inversor
Vehículo Apagado	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Vehículo en Ralentí.	0,4	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,5	2,4
20km/h.	1,3	0,7	0,4	0,2	0,9	0,4	N/A	N/A
40km/h.	2,2	1,6	0,7	0,4	1,1	0,8	N/A	N/A
60km/h.	4,3	1,9	0,8	0,5	1,7	0,9	N/A	N/A
80km/h.	5,1	2,7	0,9	0,7	2,2	1,3	N/A	N/A

**Fuente:** Pedro Chonata

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones.

- Se ha realizado un estudio a profundidad sobre los campos magnéticos, como se producen y como se generan en los vehículos híbridos, logrando comprender por qué se genera la contaminación magnética en este tipo de automotores.
- Se revisó e investigó los elementos y sistemas que componen el auto híbrido Toyota Prius, logrando entender su funcionamiento, sus características y su operatividad, estableciendo las razones de por qué se produce radiación magnética en este vehículo
- Se logró construir un medidor de campos magnéticos llamado gaussímetro, capaz de detectar valores de radiación magnética altos, ya que no se lo ha podido calibrar de manera adecuada para la detección de valores bajos de radiación magnética, principalmente por las características del sensor Hal 1821 que este posee, ya que la sensibilidad de este sensor no es capaz de detectar campos de baja magnitud, y solo permite medir campos magnéticos de magnitudes muy grandes.
- El sensor de efecto hall Hal 1821, es el sensor con mayor sensibilidad que se oferta en el mercado, siendo este el sensor con mayor rango de medición y mejor sensibilidad que se pudo encontrar en tiendas nacionales y extranjeras, sin embargo este no se ha podido calibrar de manera que detecte campos magnéticos pequeños producidos al interior de un vehículo híbrido, debido a que ningún sensor de efecto hall, tiene la capacidad de medir campos pequeños producidos en miligauss, solamente se fabrican para la medición de campos más altos en unidades como gauss o teslas.

- En el país, no existe una oferta y demanda de sensores de efecto Hall, lo que complica los temas de investigación y los temas de calibración de gaussímetros a base de este tipo de sensores. Si se desea conseguir un sensor de mayor sensibilidad, es necesario cotizar y adquirir sensores en el mercado internacional.
- El vehículo híbrido Toyota Prius emite radiaciones desde 0,1 mG a 5,1mG dependiendo de las condiciones de funcionamiento y la zona de medición, por lo cual el equipo construido no cubre totalmente con las mediciones producidas por dicho automotor. Los valores referenciales se los tomó con el equipo Lutron 822 A.
- El gaussímetro que se construyó es de uso universal, por lo cual lo podemos utilizar para un sinnúmero de mediciones, tanto en el campo automotriz como en otros campos de la industria o del hogar. En la presente investigación se realizó mediciones en aparatos eléctricos del hogar como son televisor a color, lavadora de platos, computador, refrigerador y cocina de inducción. También se realizaron pruebas automotrices como fueron las de medir radiación producida por el alternador de un vehículo Kia sportage y también las radiaciones emitidas por el vehículo Toyota prius.

### **Recomendaciones.**

- Es recomendable tomar todas las precauciones de seguridad y de protección para realizar trabajos o mediciones en elementos de alta tensión del vehículo Toyota Prius.
- Es necesario contar con mayor cantidad de estudios y más formación en ámbitos de contaminación por radiación magnética, ya que en nuestro país este es un tema muy desconocido y no se cuenta con la información y bibliografía necesaria acerca del tema

- Se debe establecer valores de radiación magnética máximos autorizados en el país, para poder normar, regular y controlar los valores permitidos de exposición a este tipo de radiación.

- Se recomienda el uso de este equipo para otro tipo de investigaciones, sean estas en otros vehículos o en dispositivos eléctricos y electrónicos.

- Se debe construir y diseñar más equipos de medición de este tipo, que nos permitan medir diferentes campos y con diferentes frecuencias ya que en el país este tipo de instrumentos son escasos. Una de las opciones, puede ser el de programar el sensor de efecto Hall, Hal 1821, para detectar campos magnéticos grandes, en donde se marque una señal de advertencia, como el encendido de una luz, cuando el equipo detecte campos mayores a 500 mG, el cuál es el límite de exposición máximo permitido que recomienda la Organización Mundial de la Salud. Cuando se detecte campos más pequeños, se puede encender una luz verde en donde se indique que el campo magnético no supone ningún peligro para la salud.

- Se recomienda aumentar la oferta de sensores de efecto Hall en el país, ya que estos pueden tener un sin número de funciones y pueden ser de gran ayuda en diferentes proyectos, y en nuestro país el conocimiento y la comercialización de este sensor es muy limitada.

## BIBLIOGRAFIA

Bueche, F. J., & Hetch, E. (2007). *Física general de Shaum*. Mexico, D.F.: McGraw-Hill.

Cheng, D. k. (1998). *Fundamentos de electromagnetismo para ingeniería*. . Naucalpán de Juárez: Adisson Wesley Longman de México, S.A de C.V. .

Concepción, M. (2010). *Sistemas Híbridos Avanzados*. Autodiagnostic and Publishing. .

Fitsa. (2007). *Tecnología de propulsión híbridas y las evidencias físicas de su eficacia*.

Indiel., C. d. (2005). *Manual de Taller de alternadores*.

Méndez, C. M. (2016). *Diseño de freno regenerativo de automóviles híbridos*. 10.

OMS. (2005). *Estableciendo un diálogo sobre los riesgos de los campos electromagnéticos*.

Toyota, M. C. (2012). *Manual de despiece del vehículo híbrido*.

Wangsness, R. K. (2001). *Campos Electromagnéticos*. Mexico D.F.: Editorial Limusa, S.A.

Macinyre, S. A. (2002). *Magnetic Field Measurement*. Copyright.

Talavera, G. G. (2010). *Teoría del campo electromagnético*. México: Limusa Editores.

Vega Pérez, S., & Vega Pérez, J. (2014). *Electromagnetismo*. México: Grupo Editorial Patria S.A. *Arduino* . (s.f.). Obtenido de <https://www.arduino.cc/>

*Atmel*. (s.f.). Obtenido de <http://www.atmel.com/devices/atmega328p.aspx?tab=overview>

Augeri, F. (s.f.). *CISE Electrónica*. Obtenido de <file:///C:/Users/User1/Downloads/introduccion%20al%20funcionamiento%20y%20diagnostico%20de%20vehiculos%20h%C3%ADbridos.pdf>

Berman, B. (14 de Junio de 2011). *Hybrid Cars*. Obtenido de <http://www.hybridcars.com/history-of-hybrid-vehicles/>

Boettger, J. (2009). *Sensors: Articles Archives*. Obtenido de <http://archives.sensormag.com/articles/1297/he1297/>

Boylestad, R. (2004). *Introducción al análisis de circuitos*. México: Pearson Educación.

Bueche, F. J., & Hetch, E. (2007). *Física general de Shaum*. Mexico, D.F.: McGraw-Hill.

Cheng, D. k. (1998). *Fundamentos de electromagnetismo para ingeniería*. . Naucalpán de Juárez: Adisson Wesley Longman de México, S.A de C.V. .

Concepción, M. (2010). *Sistemas Híbridos Avanzados*. Autodiagnostic and Publishing. .

Ecuador, P. (s.f.). Obtenido de <http://www.proasetel.com>

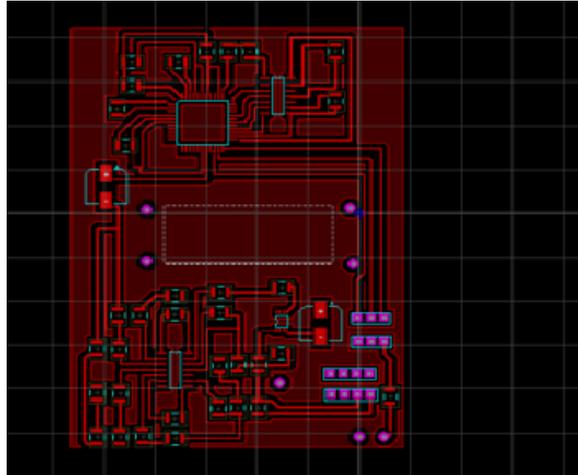
Fitsa. (2007). *Tecnología de propulsión híbridas y las evidencias físicas de su eficacia*.

- Indiel., C. d. (2005). *Manual de Taller de alternadores*.
- Méndez, C. M. (2016). Diseño de freno regenerativo de automóviles híbridos. 10.
- Micronas. (s.f.). Obtenido de v
- OMS. (2005). *Estableciendo un diálogo sobre los riesgos de los campos electromagnéticos*.
- Toyota, M. C. (2012). *Manual de despiece del vehículo híbrido*.
- Wangsness, R. K. (2001). *Campos Electromagnéticos*. Mexico D.F.: Editorial Limusa, S.A.
- <http://www.atmel.com/devices>
- <http://www.hybridcars.com>
- <http://archives.sensormag.com/>
- <http://www.proasetel.com>
- <http://www.micronas.com/en>

## Anexos.

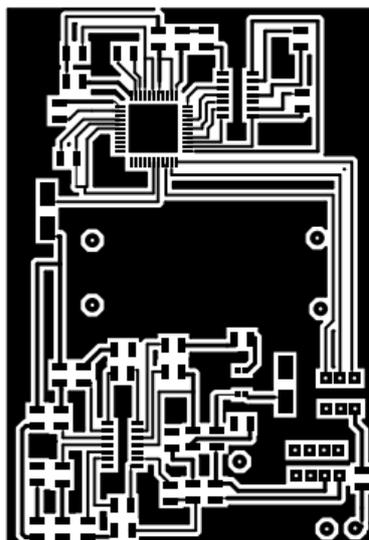
### Anexo I

Circuito elaborado en el programa Pcb



### Anexo II

Diseño de impresión para la hoja de transferencia



### Anexo III

Hoja de transferencia puesta en la placa madre



### Anexo IV

Placa con hoja de transferencia lista



## Anexo V

Placa sumergida en agua para retirar papel de transferencia



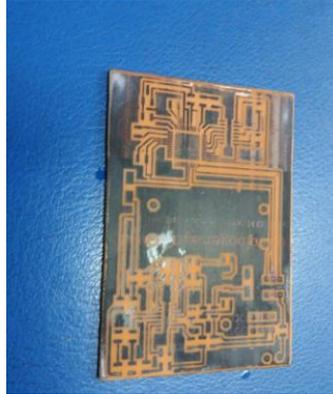
## Anexo VI

Retiro de papel de transferencia de la placa madre



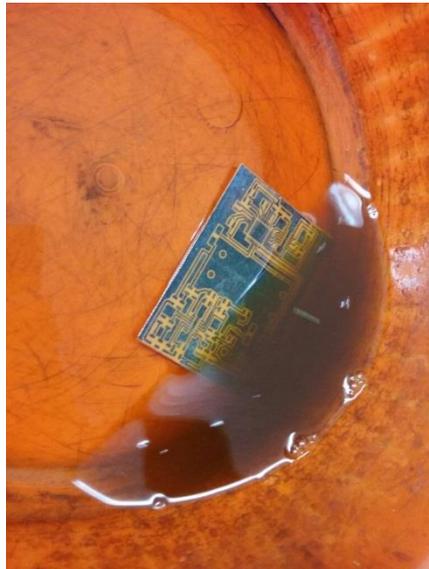
## Anexo VII

Diseño de circuito transferido en placa madre



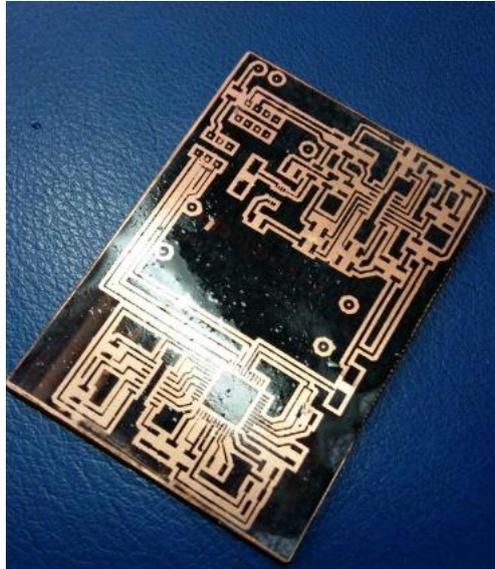
## Anexo VIII

Retiro de cobre con cloruro férrico



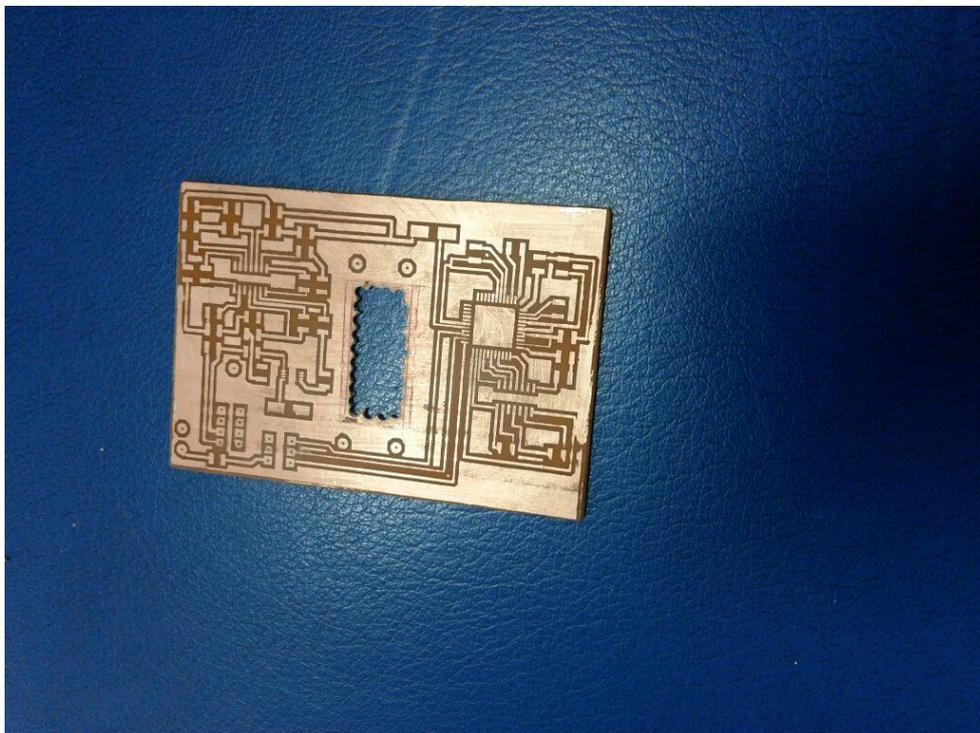
## Anexo IX

Placa retirada exceso de cobre



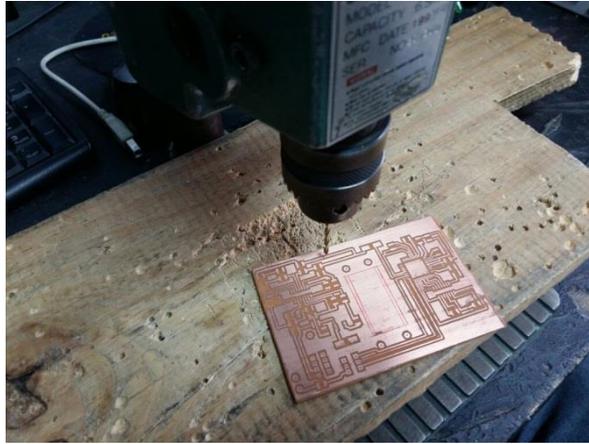
## Anexo X

Placa retirada el tóner



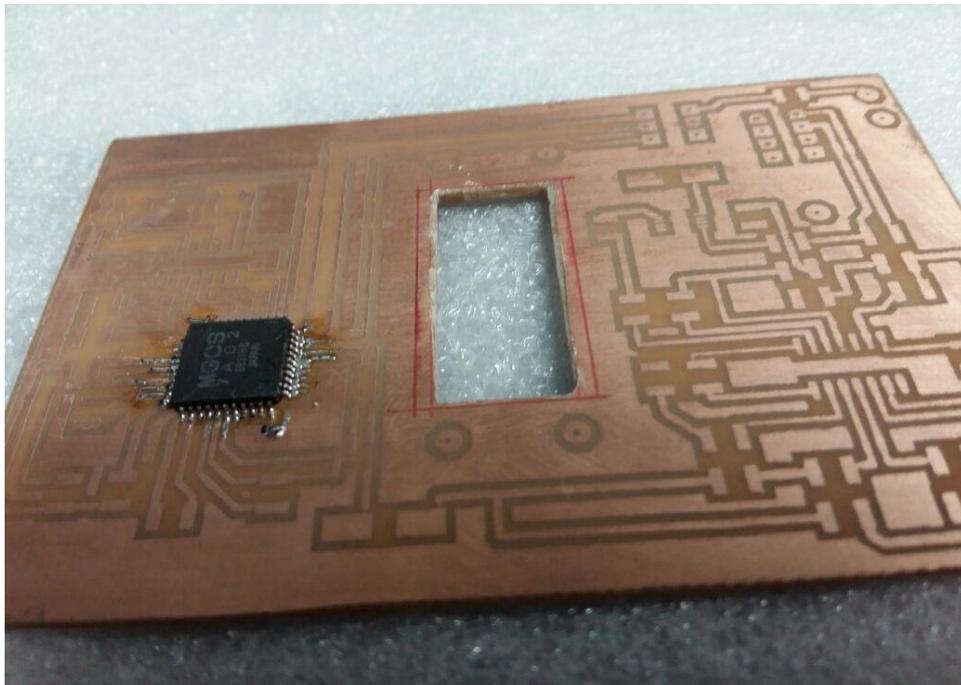
## Anexo XI

Perforación de la placa



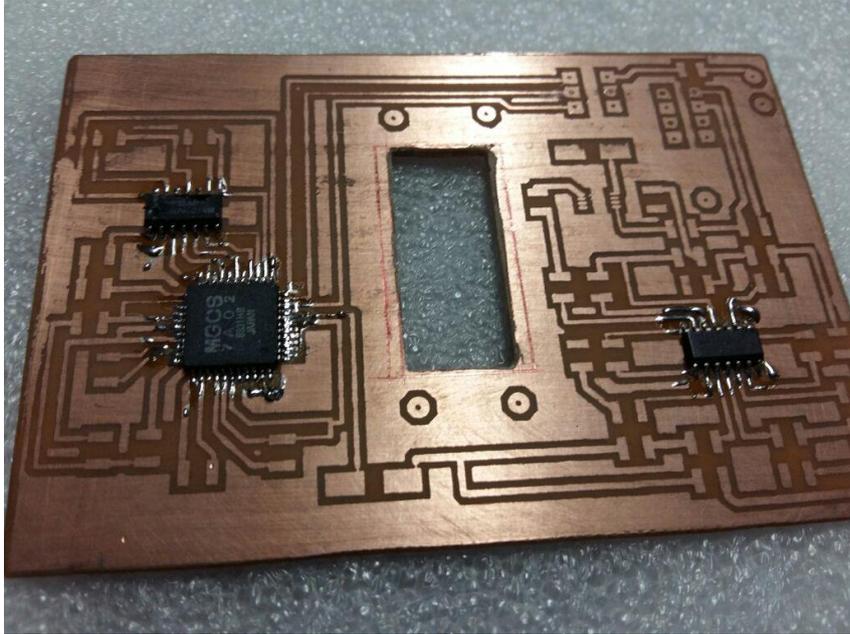
## Anexo XII

Suelda del Micro controlador



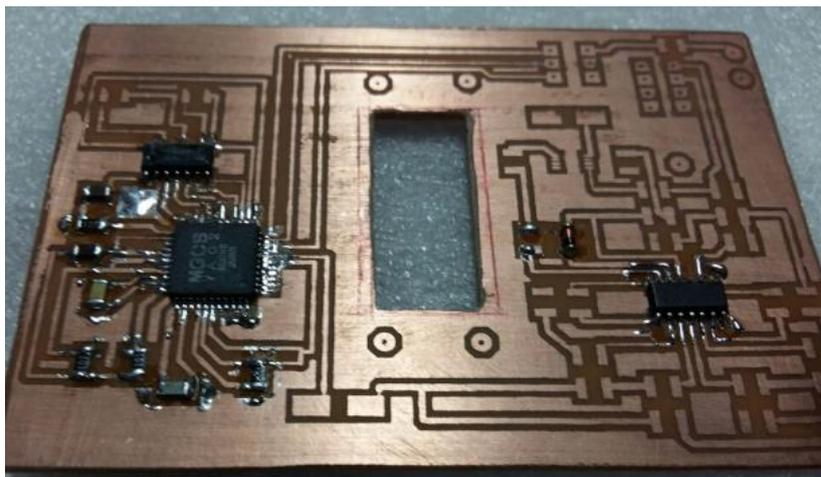
### Anexo XIII

Suelda de circuitos integrados



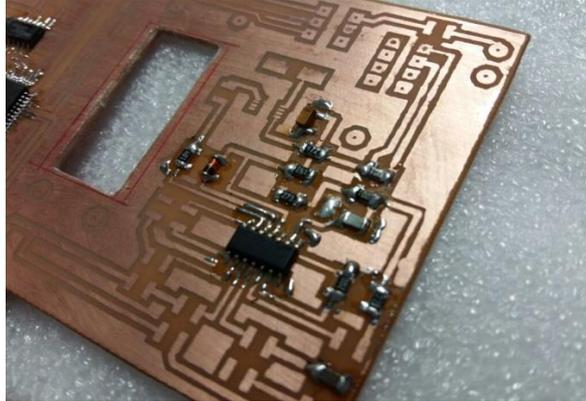
### Anexo XIV

Suelda de elementos en la placa del circuito del amplificador operacional



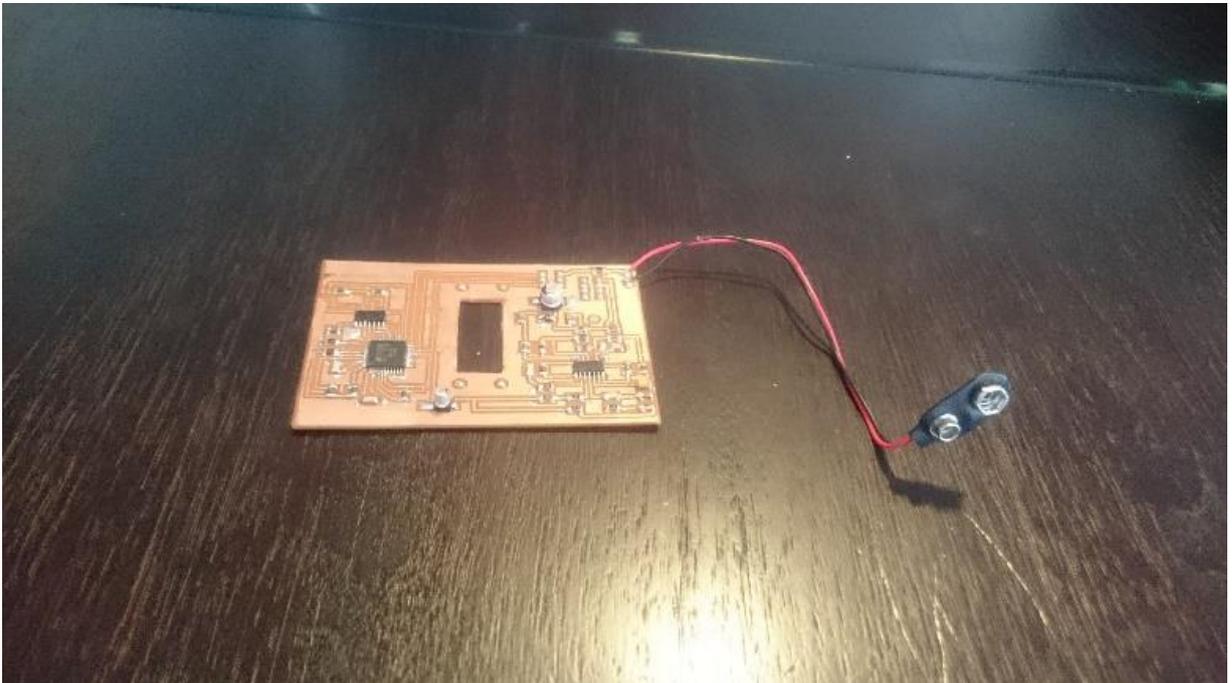
## Anexo XV

Suelda de elementos en la placa del regulador de voltaje



## Anexo XVI

Suelda del socket para a batería



## Anexo XVII

Medición del voltaje de alimentación del sensor hall



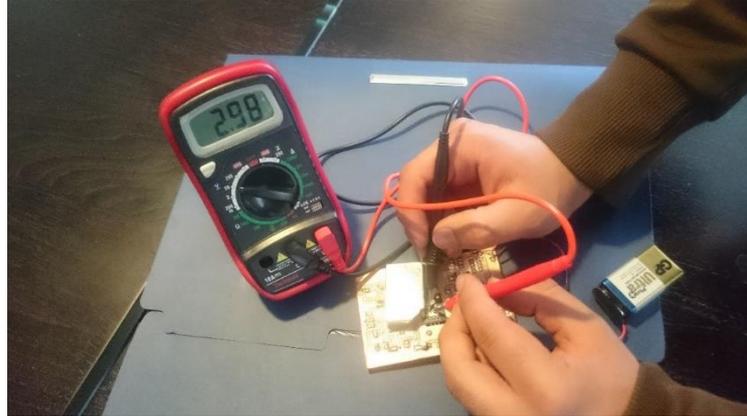
## Anexo XVIII

Medición de voltaje de salida del sensor hall



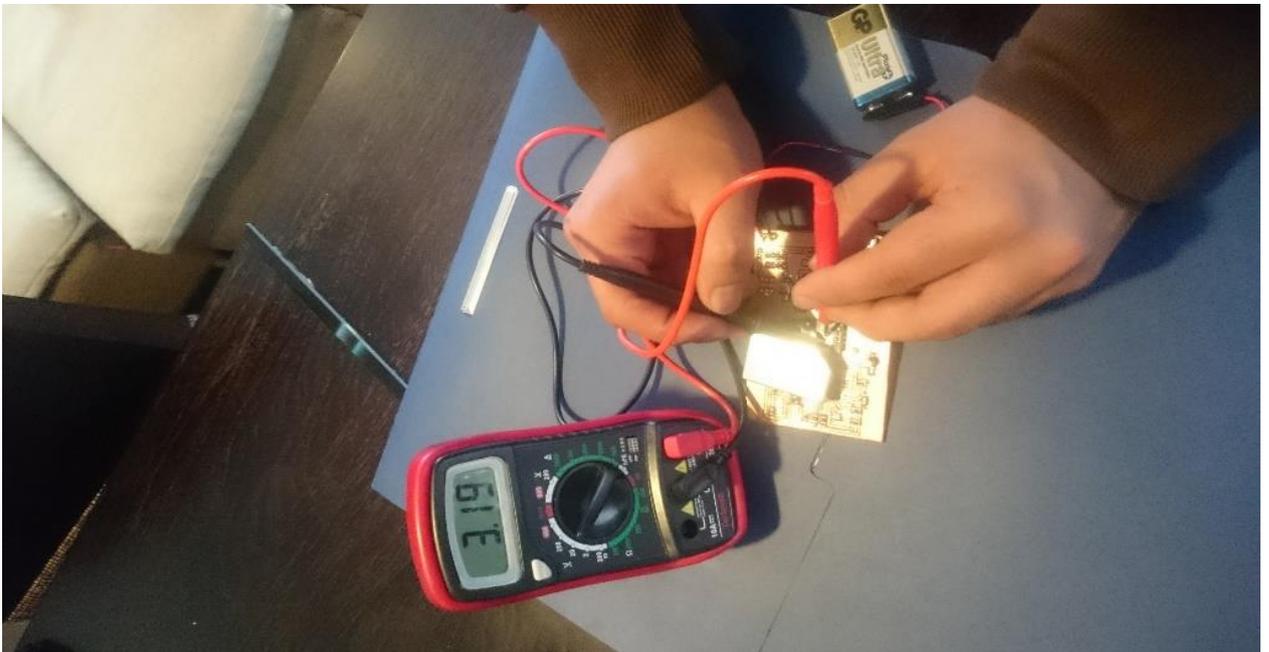
## Anexo XIX

Medición de voltaje de salida con imán de neodimio



## Anexo XX

Medición de voltaje de salida con mayor campo detectado



## Anexo XXI

Carcasa del equipo



## Anexo XXII

Medición de campo en televisión a color



## Anexo XXIII

### Medición en refrigerador



## Anexo XXIV

### Medición en lavadora de platos



## Anexo XXV

### Medición en cocina de inducción



## Anexo XXVI

### Medición de campo en bobina



## Anexo XXVII

Medición en una bobina a una distancia de 3cm



## Anexo XVIII

Medición en una bobina a una distancia de 15cm



## Anexo XXIX

Medida de campo con medio de ceniza a una distancia de 3cm



## Anexo XXX

Medición de campo con medio de ceniza a una distancia de 5cm



## Anexo XXXI

Medida de campo con medio de limadura de acero a 5 cm



Anexo XXXII

Medida de campo con medio de limadura de acero a 1cm



Anexo XXXIII

Medida de campo con medio de limadura de acero a 3cm



Anexo XXXIV

Vehículo Kia Sportage en donde se realizaron pruebas en el alternador



## Anexo XXXV

Medición del alternador con vehículo apagado



## Anexo XXXVI

Medición en cables de batería con vehículo apagado



## Anexo XXXVII

Medición en el alternador a una distancia de 10 cm



## Anexo XXXVIII

Orden de compra del sensor de efecto hall Hal 1821

### Order Summary

**SemiconductorStore.com**  
5400 W. Rosecrans Avenue  
Hawthorne, CA 90250 - US

**Date:** 7/7/2016

**Billing Address**  
PEDRO CHONATA  
005932548981  
ARUPOS 126 Y ELOY ALFARO  
QUITO, PICHINCHA 170102  
EC

**Shipping Address**  
PEDRO CHONATA  
005932548981  
ARUPOS 126 Y ELOY ALFARO  
QUITO, PICHINCHA 170102  
EC

---

Qty	Part #	Description
1	HAL1821UA-A	HAL1821UA-A Linear Hall Sensor Analog 3 Wire TO92UA

**Coupons:**

To use multiple discounts, separate them with a comma.  
Apply Coupon Code

**Subtotal:**  
\$6.00  
**Shipping:** FedEx International Priority  
\$37.23  
**Total:**  
\$43.23

## Anexo XXXIX

Programación del sensor Hal 1821.

```
#define XRANGE 50

int x,gss;//creación de diferentes variables

float gssx;

// include the library code: INCLUIMOS LIBRERÍA DEL LCD
#include <LiquidCrystal.h>

// initialize the library with the numbers of the interface pins
//Pines de comunicación con lcd
LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2);

void setup(){
  Serial.begin(9600);//Abre puerto de comunicación a 9600 bpps
  lcd.begin(8, 2);//Se usa pantalla 2x8
  // Print a message to the LCD.
  lcd.setCursor(0, 0);//ubica el cursor en la primera línea
  lcd.print("Medidor ");//despliega en lcd la leyenda
  lcd.setCursor(0, 1);//ubica el cursor en la segunda línea
  lcd.print("de GAUSS");//muestra en lcd el valor en gauss
  delay(2000);
}

void loop(){
  int aValue =analogRead(0);//Lee el valor de entrada analogico
  x = map(aValue, 0, 1024, 0, XRANGE);//Rango de medicion
  gss = map(aValue, 150, 870, -1400, 1400);//Valor máximo y mínimo
  Serial.print("|"); //imprime en pantalla la aguja de la escala
```

```

for (int i=0;i<x;i++){
  if(i==XRANGE/2-1)Serial.print("|");
  else Serial.print("-");//Si el valor es negativo poner "-"
}
Serial.print("O");
for (int i=x+1;i<XRANGE;i++){
  if(i==XRANGE/2-1)Serial.print("|");
  else Serial.print("-");
}
Serial.print("|");
Serial.print(gss);//Se imprime en lcd el valor en gauss
Serial.println("Gauss");//Se envia serialmente la palabra
delay(100);
lcd.clear(); //limpia la pantalla lcd
lcd.setCursor(0, 0);//ubica el cursor en la primera línea
lcd.print("Medidor:");//despliega en lcd la leyenda
lcd.setCursor(0, 1);//ubica el cursor en la segunda línea
lcd.print(gss);//muestra en lcd el valor en gauss

```

## Anexo XL

Vehículo designado para realizar las pruebas



## Anexo XLI

Medición con vehículo apagado



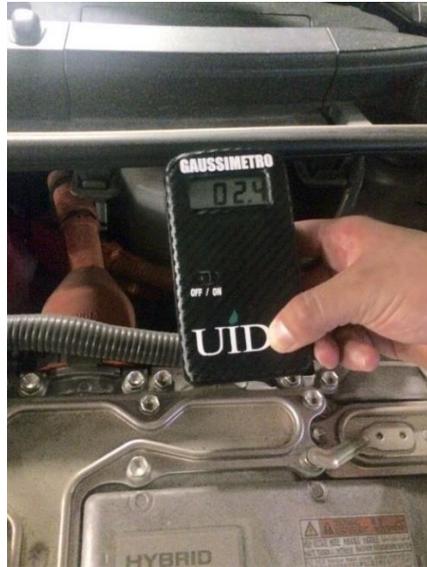
## Anexo XLII

Medición en el motor con el vehículo apagado



## Anexo XLIII

Medición en el inversor con el vehículo en ralentí



## Anexo XLV

Medición a 20 km



Anexo XLIV

Medición a 40 km/h



Anexo XLVI

Medición a 60km/h



Anexo XLVII

Medición a 80 km/h



## Anexo XLVIII

Tabla de registro de mediciones en Toyota Prius

Mediciones en Toyota Prius en mG.									
Condición de funcionamiento	Plata del Conductor	Casero del Conductor	Frente del Copilote	Casero del Copilote	Plata Cabina pasajero	Casero Cabina pasajero	Motor	Inercia	
Vehículo Apagado	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Vehículo en Marcha	0,4	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,5	2,4	
20km/h	1,7	0,7	0,4	0,2	0,3	0,4			
40km/h	2,2	1,6	0,7	0,4	1,1	0,8			
60km/h	4,3	1,9	0,8	0,5	1,7	1,2			
80km/h	5,1	2,2	0,9	0,7	2,2	1,7			

## Anexo XLIX

Tablas de registros para bobina y aparatos eléctricos

Equipo eléctrico	Radiación aparato apagado mG.	Radiación aparato encendido mG.
Computador	0,1	3,9
Refrigerador	0,1	3,3
Televisor a color	0,1	26,2
Lavadora de platos	0,1	1,1
Cocina de inducción	0,1	35,8

Distancia (cm)	Radiación en mG.	Radiación con estructura de acero en mG.	Radiación con locust en mG.
3	70,1	36,2	47,4
3	49,7	52,1	7,3
5	30,3	42,3	25,1
10	5,8	11,1	3,2
15	0,5	7,34	0,1

