



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

### **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE CARGA INDUCTIVA PARA EL LABORATORIO DE AUTOTRÓNICA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

**VILLACÍS LÓPEZ JUAN ANTONIO  
VERGARA VARGAS DARWIN RAFAEL**

## **TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Previa a la obtención del Título de:**

## **INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR  
2016**

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

2016-05-05

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**VILLACÍS LÓPEZ JUAN ANTONIO  
VERGARA VARGAS DARWIN RAFAEL**

---

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE  
CARGA INDUCTIVA PARA EL LABORATORIO DE AUTOTRÓNICA DE LA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

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

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Carlos Santillán Mariño  
**DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Wilson Javier Villagrán C.  
**DIRECTOR**

---

Ing. Luis Buenaño Moyano  
**ASESOR**

---

**CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** VILLACÍS LÓPEZ JUAN ANTONIO

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN  
PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE CARGA INDUCTIVA PARA EL  
LABORATORIO DE AUTOTRÓNICA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA  
AUTOMOTRIZ”

**Fecha de Examinación:** 2016-11-29

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. José Pérez <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Wilson Javier Villagrán C. <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Luis Buenaño Moyano <b>ASESOR</b>			

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

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

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

---

Ing. José Pérez  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

---

**CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** VERGARA VARGAS DARWIN RAFAEL

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN  
PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE CARGA INDUCTIVA PARA EL  
LABORATORIO DE AUTOTRÓNICA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA  
AUTOMOTRIZ”

**Fecha de Examinación:** 2016-11-29

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. José Pérez <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Wilson Javier Villagrán C. <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Luis Buenaño Moyano <b>ASESOR</b>			

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

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

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

---

Ing. José Pérez  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

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

---

**Villacís López Juan Antonio**

---

**Vergara Vargas Darwin Rafael**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Nosotros, Juan Antonio Villacís López y Darwin Rafael Vergara Vargas, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

---

**Villacís López Juan Antonio**

---

**Vergara Vargas Darwin Rafael**

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto principalmente a Dios y la Virgen de Guadalupe por permitirme llegar a este momento tan importante de mi vida profesional, por ponerme las pruebas suficientes y al mismo tiempo permitir superarme de ellas.

A mis padres, quienes en el transcurso de mi carrera profesional se han preocupado por mi bienestar y educación, apoyándome cuando más lo necesité, siempre confiando en mi capacidad de superar las adversidades que se presentaban cada día.

A mis abuelitos, especialmente a quien más compartió conmigo y ahora desde el cielo me cuida y derrama sus bendiciones sobre mí.

**Juan Antonio Villacís López**

A mi familia que con su apoyo me motivaron cada día para seguir adelante y así cumplir con mis objetivos.

De manera especial a mi madre quien me brinda su constante soporte en los momentos difíciles, a mi padre que a pesar de la distancia me guía por el camino correcto y a Dios porque gracias a él tengo un motivo para seguir adelante con los sueños a conseguir.

**Darwin Rafael Vergara Vargas**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios por permitirme culminar el presente trabajo de titulación, porque poco a poco se hizo realidad este sueño tan anhelado. A la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo y en especial a la Carrera de Ingeniería Automotriz por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

A mi Tutor, Ing. Xavier Villagrán, a mi asesor, Ing. Luis Buenaño por su esfuerzo y dedicación, quienes con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su estimulación han logrado que este proyecto concluya con total éxito.

**Juan Antonio Villacís López**

Mi principal agradecimiento a la ESPOCH y a la Carrera de Ingeniería Automotriz por haberme abierto sus puertas desde el inicio de mi vida universitaria y por haberme formado como persona y como profesional.

Mi especial reconocimiento a todos los ingenieros quienes han sabido transmitir sus conocimientos.

Es necesario resaltar el apoyo incondicional que he recibido de mis padres, sin olvidar mi más profundo agradecimiento a Dios quien me permite ser una persona productiva para mi familia y para la sociedad.

**Darwin Rafael Vergara Vargas**

# CONTENIDO

Pág.

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	
1.1	Antecedentes .....	1
1.2	Justificación.....	2
1.3	Objetivos .....	2
1.3.1	<i>Objetivo general</i> .....	2
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i> .....	3
<b>2.</b>	<b>RECARGA INDUCTIVA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS</b>	
2.1	Introducción .....	4
2.1.1	<i>Función del Sistema de Recarga Inductiva</i> .....	4
2.2	Electromagnetismo.....	4
2.3	El campo magnético.....	6
2.3.1	<i>Líneas de inducción y flujo magnético</i> .....	7
2.3.2	<i>Fuerza sobre una partícula cargada en movimiento</i> .....	7
2.3.3	<i>Momento sobre una espira con corriente</i> .....	7
2.3.4	<i>Movimiento de partículas cargadas en un campo magnético</i> .....	8
2.4	Leyes Del Electromagnetismo .....	9
2.4.1	<i>Ley de Gauss del Magnetismo</i> .....	9
2.4.2	<i>Ley de inducción de Faraday</i> .....	9
2.4.3	<i>Ley de Lenz</i> .....	9
2.4.4	<i>Ley de Biot-Savart</i> .....	10
2.4.5	<i>Ley de Ampere (no generalizada)</i> .....	12
2.5	Fem inducida.....	12
2.6	Campos eléctricos inducidos por campos magnéticos variables.....	13
2.7	Inducción mutua.....	13
2.8	Reluctancia .....	15
2.9	Autoinductancia .....	15
2.10	Tipos de Inductores .....	17
2.11	Tensión Inducida.....	19
2.12	Energía almacenada en un inductor .....	21
2.13	Baterías recargables para vehículos eléctricos.....	21
2.13.1	<i>Introducción</i> .....	21
2.13.2	<i>Actualidad en baterías para vehículos eléctricos</i> .....	22
2.14	Ultracondensadores .....	23
2.15	Arduino .....	23
2.15.1	<i>Comunicaciones</i> .....	24
<b>3.</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	
3.1	Diseño y selección de elementos.....	26
3.1.1	<i>Bases</i> .....	26
3.1.2	<i>Controlador</i> .....	27
3.1.3	<i>Control Inalámbrico</i> .....	30
3.1.4	<i>Medición de velocidad</i> .....	31
3.1.5	<i>Opto acoplador</i> .....	32

3.1.6	<i>Visualización</i> .....	33
3.1.7	<i>Control de motores</i> .....	34
3.1.8	<i>Almacenamiento de energía</i> .....	36
3.1.9	<i>Diseño de bobinas</i> .....	39
<b>4.</b>	<b>MONTAJE Y RESULTADOS</b>	
4.1	Esquema general de conexiones del auto prototipo .....	45
4.2	Programación del prototipo.....	47
4.3	Arduino y LCD i2C.....	54
4.4	Arduino & Módulo Puente H L298N.....	56
4.5	Arduino & Módulo Bluetooth H-05.....	58
4.6	Carga por Inducción .....	59
4.6.1	<i>Sistema de carga en el Auto Prototipo</i> .....	59
4.6.2	<i>Estación para carga por inducción</i> .....	60
4.7	Resultados obtenidos.....	61
4.8	Pruebas Realizadas.....	62
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
5.1	Conclusiones .....	64
5.2	Recomendaciones.....	64

**BIBLIOGRAFÍA**  
**ANEXOS**

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ondas electromagnéticas .....	5
Figura 2. Campo magnético.....	6
Figura 3. Inducción mutua.....	13
Figura 4. Autoinductancia.....	16
Figura 5. Circuito equivalente de un inductor .....	18
Figura 6. Símbolos para la inductancia.....	18
Figura 7. Inductores fijos y variables.....	19
Figura 8. Polaridad de una bobina .....	20
Figura 9. Tensión, corriente y potencia de un inductor .....	21
Figura 10. Arduino Mega.....	24
Figura 11. Base Acrílica con motores.....	26
Figura 12. Diseño de estructura .....	26
Figura 13. Arduino Mega.....	27
Figura 14. IDE Arduino, Selección de la Placa Arduino Mega2560.....	29
Figura 15. IDE Arduino, Selección del Puerto .....	29
Figura 16. Módulo Bluetooth HC-05.....	30
Figura 17. Encoders de disco ranurado.....	32
Figura 18. Opto acoplador de ranura .....	32
Figura 19. LCD con módulo I2C .....	33
Figura 20. LCD i2C 16x2 .....	34
Figura 21. Terminales puente H, módulo de Arduino .....	34
Figura 22. Conexiones de alimentación al puente H, módulo de Arduino.....	35
Figura 23. Esquema de conexiones para el control de un motor DC.....	36
Figura 24. Batería Li-Po 7.4 V 2000 mA .....	38
Figura 25. Flujo magnético.....	39
Figura 26. Bobinas de N1 y N2 vueltas .....	41
Figura 27. Bobina 2 en circuito abierto .....	42
Figura 28. Cálculo inductancia de bobina emisora.....	44
Figura 29. Cálculo inductancia de bobina receptora.....	44
Figura 30. Esquema de conexiones eléctricas en el prototipo .....	45
Figura 31. Conexiones prototipo / Sistema centralizado con Arduino Mega 2560.....	46
Figura 32. Conexión Arduino Mega y módulo LCD I2C 16x2.....	54
Figura 33. Pantallas de visualización en el LCD .....	54
Figura 34. Montaje LCD en el prototipo .....	55
Figura 35. Conexión Arduino y Opto acoplador (Sensor de velocidad) .....	55
Figura 36. Conexión Encoders en el prototipo .....	56
Figura 37. Conexión Arduino y módulo L298N.....	57
Figura 38. Conexión Puente H LN298 motores delanteros .....	57
Figura 39. Conexión Arduino Mega y módulo Bluetooth H-05.....	58
Figura 40. Conexión módulo bluetooth .....	58
Figura 41. Interfaz de control Android .....	59
Figura 42. Bobina receptora.....	59
Figura 43. Diagrama de conexión de la bobina emisora.....	60
Figura 44. Bobina emisora.....	60
Figura 45. Señal de entrada de la bobina .....	61

Figura 46. Señal rectificada de entrada de la bobina .....	61
Figura 47. Prototipo Terminado.....	62

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Características de Arduino Mega.....	28
Tabla 2. Características de Hardware bluetooth .....	31
Tabla 3. Características de Software de bluetooth.....	31
Tabla 4. Especificaciones de las baterías .....	38
Tabla 5. Valores bobinas .....	63
Tabla 6. Tiempos de carga.....	63
Tabla 7. Acciones para encendido y carga .....	63

## **LISTA DE ANEXOS**

- A** Diagrama de conexiones eléctricas
- B** Programación del Arduino

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo diseñar y construir un prototipo de vehículo eléctrico, enfocado en la demostración de la carga de sus baterías basado en el fundamento de carga por inducción mutua en la cual se utiliza una bobina emisora que se encuentra en la base de carga, y una bobina receptora que se encuentra en la parte inferior del prototipo. Adoptando una metodología propia estructurada basándose en las necesidades y utilidades del prototipo, se optó por la selección de los elementos que complementan las funciones del mismo, para esto se eligió fuente libre (Open Source), por medio de éstos se logra comandar las funciones de carga de energía y movimiento del auto por medio de un Arduino Mega 2560 que a su vez se comunica con un bluetooth para realizar el control de movimiento mediante la aplicación Arduino Control Car. Para el almacenamiento de energía se utiliza una batería Li-Po de 7.4 v y 2000 mAh la cual será recargada totalmente en un tiempo aproximado de 5 horas, esto teniendo una carga de 20 % y una distancia de 3 cm entre bobinas. En la parte superior posee un LCD el cual muestra parámetros de carga y velocidad del prototipo. Con esto se demuestra que para los sistemas de recarga de baterías no es necesario tener cables del cargador hacia el vehículo, además que con la utilización de este sistema se ayuda a preservar el medio ambiente. Mediante pruebas realizadas y resultados obtenidos se demostró el funcionamiento óptimo del prototipo el cual se debería considerar para en un futuro llevarlo a una escala real y poder probar su funcionamiento en un vehículo eléctrico.

PALABRAS CLAVE: <ARDUINO MEGA 2560(CONTROLADOR)>,<CONEXIÓN INALÁMBRICA(BLUETOOTH)>,<BATERÍA(LiPo)>,<DISPLAY(LCD)>,<INDUCTOR(BOBINA EMISORA)>,<INDUCIDA(BOBINA RECEPTORA)>,<CORRIENTE (INDUCCIÓN MUTUA)>,<APLICACIÓN(CONTROL CAR)>.

## ABSTRACT

The purpose of present research work is to design and build an electric vehicle prototype, focused in the demonstration of the charge of its batteries with the basis of charge by mutual induction in which uses a transmitter coil, that is in the base charge and a receiver coil in the bottom part of the prototype. Through a proper structured methodology and according to the needs and utilities of the prototype chose the elements that complement its functions, using (Open Source) to command in order the charge functions of energy and movement of the car by means of Arduino Mega 2560, which in turn communicates with a Bluetooth to control of movement through the Arduino Control Car application. For the storage of energy uses a Li-Po battery of 7.7 v and 2000 mAh that will be totally recharged approximately in 5 hours obtaining a charge of 20% and a distance of 3 cm between coils. At the top contains a LCD which shows parameters of charge and speed of the prototype. This demonstrates that for battery-recharging system is not necessary to have charger cables to the vehicle, besides the use of this system helps to preserve the environment. By means of tests and results obtained, it demonstrated the optimum operation of the prototype that should be considered in the future to take it to a real scale to be tested in an electric vehicle.

KEYWORDS: <ARDUINO MEGA 2560(CONTROLLER)>,<WIRWLESS CONECTION(BLUETOOTH)>,<BATTERY(LiPo)>,<DISPLAY(LCD)>,<INDUCTOR(TRANSMITTER COIL)>,<INDUCED(REVEIVER COIL)>,< ELECTRIC CURRENT(MUTUAL INDUCTION)>,< APLICATION(CONTROL CAR)>.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

Los fenómenos magnéticos y eléctricos fueron descubiertos desde la antigüedad. El filósofo y matemático griego Tales de Mileto fue el primero en narrarlos. Se estudiaban de forma separada y tomó mucho tiempo en descubrirse que existía una relación entre el uno y el otro, lo que hizo que James Clerk Maxwell creara una teoría unificadora llamada Teoría Electromagnética, la cual se establece hasta la actualidad. (Úcar, 2008)

La persona que pudo llegar a darse cuenta que entre electricidad y magnetismo existía un enlace fue Michael Faraday, físico y químico británico. Tomo como referencia los trabajos realizados por Hans Christian Oersted. El profesor Oersted, apoyado en consideraciones filosóficas, que el magnetismo y la electricidad deberían tener relación. Después de varios experimentos infructuosos, descubrió por casualidad, que una corriente eléctrica era capaz de desviar la aguja imantada utilizada en una brújula. De esta manera, entre el campo eléctrico que crea la corriente y el campo magnético de la aguja existía algún tipo de enlace. Pero al final fué Faraday quien, con los descubrimientos de Oersted y Ampère todavía recientes, realizó uno de los más importantes descubrimientos de las últimas épocas. (Úcar, 2008)

El presente trabajo de titulación se realizará tomando como referencia la investigación realizada en la Carrera de Ingeniería Automotriz con el tema de “Diseño y Construcción de un Modelo de un Sistema de Recarga Inductiva Para Autos Eléctricos”. (Cují Caisaguano, y otros, 2015)

La finalidad de este trabajo de titulación es la de ser un instrumento de aporte tecnológico, investigativo y científico para la nueva generación de alumnos, ya que ofrecerá conocimientos notables y un alto grado de nivel académico especialmente el área de autotrónica.

## **1.2 Justificación**

El presente trabajo de titulación comprende el diseño y construcción de un prototipo que demuestre el funcionamiento de carga inductiva como sucedería en una estación de carga eléctrica también llamada electrolinera en la cual se realiza la recarga de vehículos eléctricos, la misma que se está llevando a cabo en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en la Carrera de Ingeniería Automotriz y así contribuir a la investigación en los estudiantes de esta carrera, para convertirla así en una carrera donde se realicen grandes investigaciones con los estudiantes y el apoyo de los docentes para beneficio de las futuras generaciones.

El prototipo a ser implementado pretende ser una herramienta eficaz para el aprendizaje del funcionamiento de la recarga inductiva para vehículos eléctricos y demostrar de esta manera las grandes ventajas que trae esta tecnología ya que es el futuro de la industria automotriz.

Se cumple con los objetivos planteados, además de ser un recurso para incentivar y apoyar la investigación tecnológica de los alumnos de la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ya que el mundo actual demanda profesionales capaces de generar ciencia y nuevas tecnologías para la sociedad.

Mediante este trabajo de titulación los profesionales de futuras generaciones de la Carrera de Ingeniería Automotriz, podrán utilizar estas tecnologías y enfocarla hacia el cuidado del medioambiente.

## **1.3 Objetivos**

**1.3.1** *Objetivo general.* Diseñar y construir un prototipo de un sistema de carga inductiva para el laboratorio de autotrónica de la carrera de ingeniería automotriz.

### 1.3.2 *Objetivos específicos:*

- Conocer el funcionamiento del sistema de carga de baterías mediante inducción para una correcta elaboración del proyecto.
- Diseñar el sistema de carga inductiva con ayuda de software para comprobar su funcionamiento.
- Construir un prototipo utilizando sistemas electrónicos para demostrar el funcionamiento de carga inductiva.
- Demostrar el funcionamiento óptimo del prototipo mediante los resultados obtenidos de los cálculos realizados.

## CAPÍTULO II

### 2. RECARGA INDUCTIVA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

#### 2.1 Introducción

Este nuevo método reemplaza al sistema de recarga que poseen los vehículos eléctricos enchufables en el cual es necesario la conexión de cables para realizar la recarga, en este caso el usuario del vehículo eléctrico simplemente estacionará su auto sobre una plataforma de carga y sin ningún tipo de contacto físico ni esfuerzo adicional conseguirá cargar la batería del vehículo. (EcoInventos, 2015)

Esta tecnología es completamente inalámbrica al no existir ni conexiones visibles entre el vehículo y el punto de recarga. Uno de los puntos más importantes es la eficiencia de transmisión de la energía entre la bobina secundaria instalada en el vehículo y las baterías del mismo. Gracias a esta tecnología se consigue una eficiencia de más del 90 por ciento en esta transferencia energética. (EcoInventos, 2015)

**2.1.1** *Función del Sistema de Recarga Inductiva.* Su función es la de realizar la transmisión de energía a través de la resonancia magnética desde la bobina emisora que se encuentra en el suelo hasta la bobina receptora la cual se encuentra en el vehículo, para proporcionar la recarga rápida y fácil a las baterías del vehículo eléctrico.

La fuente de alimentación toma la energía disponible de la red eléctrica y energiza una bobina que envía la energía, la cual es inductiva, lo que significa que puede necesitar la compensación de condensadores en serie o en paralelo para reducir el voltaje y las corrientes en el circuito de suministro, mientras que en el vehículo existe otra bobina la cual recibe la energía.

#### 2.2 Electromagnetismo

Las ondas electromagnéticas poseen la propiedad que tiene el campo magnético y eléctrico la cual es generarse mutuamente cuando varían en el tiempo.

Las ondas electromagnéticas recorren a la velocidad de la luz y trasladan energía a través del espacio. La energía trasladada por una onda electromagnética depende de su frecuencia: entre mayor sea su frecuencia mayor es la energía que se está transportando: (Marcelo Alonso, 2008)

$$W = h * f \quad (1)$$

Dónde: W es la energía, h es una constante (la constante de Plank) y f es la frecuencia.

Figura 1. Ondas electromagnéticas



Fuente: <http://genesis.uag.mx/edmedia/material/fisicaII/electromagnetismo.cfm>

El plano de oscilación del campo eléctrico (rayas rojas en el diagrama superior) define la dirección de polarización de la onda. Se dice que una fuente de luz produce luz polarizada cuando la radiación emitida viene con el campo eléctrico alineado preferencialmente en una dirección. (Marcelo Alonso, 2008)

El electromagnetismo, estudia los fenómenos eléctricos y magnéticos que se unen en una sola teoría aportada por Faraday, que se resumen en cuatro ecuaciones vectoriales que relacionan campos eléctricos y magnéticos conocidas como las ecuaciones de Maxwell. Gracias a la invención de la pila de limón, se pudieron efectuar los estudios de los efectos magnéticos que se originan por el paso de corriente eléctrica a través de un conductor. (Marcelo Alonso, 2008)

El electromagnetismo, por ende se comprende que estudia conjuntamente los fenómenos físicos en los cuales intervienen cargas eléctricas en reposo y en movimiento, así como

los relativos a los campos magnéticos y a sus efectos sobre diversas sustancias sólidas, líquidas y gaseosas. (Marcelo Alonso, 2008)

### 2.3 El campo magnético.

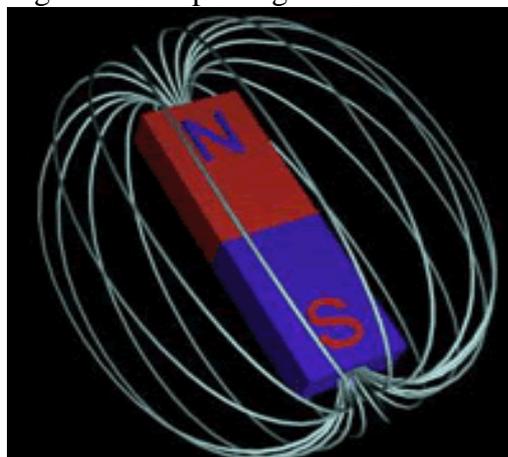
Puede ser natural o producido artificialmente produciendo los mismos efectos sobre las brújulas, conductores con corriente, etc. El vector campo magnético se conoce también por inducción magnética y se representa simbólicamente por  $\vec{B}$ . (Cantú, 1991 pág. 115)

Este campo ejerce fuerzas llamadas magnéticas las que interactúan sobre los materiales. De la misma forma que el campo eléctrico también es un campo vectorial, pero que no produce ningún efecto sobre cargas en reposo. Sin embargo, el campo magnético tiene influencia sobre cargas eléctricas en movimiento. (Física Práctica, 2007)

Si una carga en movimiento atraviesa un campo magnético, la misma sufre la acción de una fuerza. Esta fuerza no modifica el módulo de la velocidad, pero sí la trayectoria (ver fuerza magnética). Sobre un conductor por el cual circula electricidad y que se encuentra en un campo también aparece una fuerza magnética. (Física Práctica, 2007)

El campo magnético está presente en los imanes. Por otro lado, una corriente eléctrica también genera un campo magnético. El campo magnético se denomina con la letra B y se mide en Tesla. (Física Práctica, 2007)

Figura 2. Campo magnético



Fuente:

[//rabfis15.uco.es/proyecto/Fund\\_teoricos/fuerza%20ejercida%20por%20campo.htm](http://rabfis15.uco.es/proyecto/Fund_teoricos/fuerza%20ejercida%20por%20campo.htm)

**2.3.1** *Líneas de inducción y flujo magnético.* El campo magnético se representa gráficamente por líneas de inducción, la tangente sobre cualquier punto en las líneas de inducción es paralela a la dirección del campo magnético en ese punto. (Cantú, 1991 págs. 116-117)

El flujo magnético se define como la integral sobre el componente normal del campo magnético a la superficie, el flujo magnético para una superficie dada está dado por: (Cantú, 1991 págs. 116-117)

$$\phi_m = \int \tilde{B} * \tilde{ds} \quad (2)$$

La unidad del flujo magnético es el weber. (Cantú, 1991 págs. 116-117)

**2.3.2** *Fuerza sobre una partícula cargada en movimiento.* En un tubo de rayos catódicos se puede observar los efectos del campo magnético producido por un imán sobre el flujo de electrones, se encuentra que la fuerza magnética que actúa sobre los electrones en movimiento es directamente proporcional a la carga, la velocidad y al campo magnético. Así como al producto vectorial entre el vector velocidad y el vector campo magnético, la fuerza se expresa con la siguiente ecuación: (Cantú, 1991 pág. 117)

$$\tilde{F} = q\tilde{v} \times \tilde{B} \quad (3)$$

Donde esta fuerza es la fuerza centrípeta que hace que las partículas cargadas en movimiento describan trayectorias circulares, es decir, que, si en la ecuación se conoce la masa y la velocidad de la partícula, se puede determinar la fuerza y a su vez el campo magnético esto es: (Cantú, 1991 pág. 117)

$$B = \frac{F}{q v \sin \theta} \quad (4)$$

Las unidades del campo magnético son Tesla que equivale al weber/m<sup>2</sup>, un tesla es igual a 10<sup>4</sup> gauss. (Cantú, 1991 pág. 117)

**2.3.3** *Momento sobre una espira con corriente.* Al hacer circular una corriente por una espira o una bobina que se encuentra en una región del espacio donde existe campo

magnético, esta experimenta un momento dado por la siguiente ecuación: (Cantú, 1991 pág. 118)

$$\tau = \tilde{\mu} \times \tilde{B} \quad (5)$$

Donde  $\tilde{\mu}$  es el momento del dipolo magnético. La ecuación es muy similar a la ecuación del momento del dipolo eléctrico. El dipolo magnético en el campo magnético almacena una energía que está dada por: (Cantú, 1991 pág. 118)

$$U = -\tilde{\mu} \cdot \tilde{B} \quad (6)$$

Que equivale al trabajo que tiene que realizar un agente externo para hacer girar un cierto ángulo a partir de su posición de energía cero. (Cantú, 1991 pág. 118)

**2.3.4** *Movimiento de partículas cargadas en un campo magnético.* Cuando una partícula cargada en movimiento entra a un campo magnético experimenta una fuerza y aplicando la segunda Ley de Newton, se obtiene la ecuación que describe la trayectoria circular de la partícula que también depende de la dirección de los vectores velocidad y campo magnético es: (Cantú, 1991 pág. 118)

$$r = \frac{m v}{q B} \quad (7)$$

De esta ecuación se obtiene la velocidad angular de la p

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{q B}{m} \quad (8)$$

Como se observa,  $\omega$  no depende de la velocidad de la partícula. El ciclotrón es un acelerador de las partículas cargadas que presenta varias ventajas sobre los electrostáticos, como la de poder acelerar iones a energías del orden de Mev, con fuentes de voltaje bajo ( $10^5$  volts). (Cantú, 1991 pág. 118)

## 2.4 Leyes Del Electromagnetismo

**2.4.1** *Ley de Gauss del Magnetismo.* El flujo magnético neto a través de cualquier superficie cerrada es cero:

$$\phi = \oint B \cdot dA = 0 \quad (9)$$

En forma equivalente, el número de líneas de campo magnético que entran a una superficie cerrada es la misma que el número de líneas que salen de ella. Las líneas de campo magnético son siempre cerradas, pues no existen polos magnéticos aislados. (Serrano Domínguez, y otros, 1991 pág. 357)

**2.4.2** *Ley de inducción de Faraday.* Se constituye mediante esta ley que la fuerza electromotriz inducida en un circuito varía directamente con respecto al tiempo del flujo magnético a través de un circuito, matemáticamente se expresa: (Serrano Domínguez, y otros, 1991 pág. 358)

$$\varepsilon = - \frac{d\phi}{dt} \quad (10)$$

El signo negativo indica que la fem inducida tiene tal dirección que se opone al cambio que la introduce.

De la definición del flujo magnético se sabe que su variación se puede producir variando el campo magnético o la superficie, o el ángulo que forman el campo magnético y la superficie (área). La corriente inducida solo dura mientras está variando el flujo magnético. (Serrano Domínguez, y otros, 1991 pág. 358)

**2.4.3** *Ley de Lenz.* La fem y la corriente inducida se oponen a la causa que las produce, es decir, las corrientes inducidas producen campos magnéticos que tienden a anular los cambios de flujo que las inducen. (Serrano Domínguez, y otros, 1991 pág. 358)

**2.4.3.1** *Fuerza electromotriz inducida en un conductor en movimiento.* Cuando un conductor de longitud  $\ell$  se mueve en el interior de un campo magnético B con una

velocidad  $v$  de forma que  $B$  sea perpendicular al conductor, la fem inducida se expresa por la ecuación: (Serrano Domínguez, y otros, 1991 pág. 358)

$$\varepsilon = -B\ell v \quad (11)$$

**2.4.4** *Ley de Biot-Savart.* Después de muchas experiencias, se llegó a la conclusión de que los campos magnéticos son producidos por cargas en movimiento, esto es, por corrientes eléctricas. (Serrano Domínguez, y otros, 1991 pág. 325)

Los físicos Biot y Savart dedujeron una relación matemática que permite conocer el campo magnético  $dB$  en un punto  $P$  debido a un elemento de corriente  $ds$  que conduce una intensidad de corriente  $I$  es: (Serrano Domínguez, y otros, 1991 pág. 325)

$$dB = \frac{\mu}{4\pi} \frac{Ids \times \hat{r}}{r^2} \quad (12)$$

O lo mismo que es lo mismo

$$dB = \frac{\mu}{4\pi} \frac{Ids \times r}{r^3} \quad (13)$$

Dónde:

$\mu$  es la permeabilidad magnética del medio, en el S.I. para el vacío:

$$\mu = 4\pi * 10^{-7} \frac{Wb}{A.m} \quad (14)$$

$r$  es la distancia del punto al elemento de corriente.

Para calcular el campo magnético que produce un conductor que lleva una corriente, se debe integrar el vector  $dB$  en toda la longitud del conductor. (Serrano Domínguez, y otros, 1991 pág. 325)

**2.4.4.1** *Campo magnético establecido por una carga eléctrica en movimiento.* El campo magnético creado por una carga que se mueve con una velocidad  $v$  en un punto

situado a una distancia  $r$  de ella, mediante la expresión: (Serrano Domínguez, y otros, 1991 pág. 326)

$$B = \frac{\mu}{4\pi} \frac{q (v * r)}{r^3} \quad (15)$$

**2.4.4.2** *Campo magnético de un alambre recto y largo.* El campo magnético creado por una corriente rectilínea indefinida a una distancia  $a$  se obtiene mediante. (Serrano Domínguez, y otros, 1991 pág. 326)

$$B = \frac{\mu I}{2\pi a} \quad (16)$$

Campo magnético creado por una espira circular conductora en su centro.

$$B = \frac{\mu I}{2\pi r} \quad (17)$$

Donde  $r$  es el radio de la espira e  $I$  es la intensidad de corriente eléctrica que circula por la espira.

Campo magnético en el interior de solenoide.

$$B = \frac{\mu N}{L} I \quad (18)$$

Donde  $N$  es el número de espiras,  $L$  es la longitud del solenoide,  $I$  la intensidad de corriente que circula por él y  $n$  es el número de espiras por unidad de longitud. (Serrano Domínguez, y otros, 1991 pág. 326)

**2.4.4.3** *Fuerza entre dos corrientes paralelas.* La fuerza por unidad de longitud con que se atraen o se repelen dos conductores rectilíneos y largos separados por una distancia  $d$ , y que transportan intensidades de corriente  $I_1$  e  $I_2$  se calcula por: (Serrano Domínguez, y otros, 1991 págs. 326-327)

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu}{2\pi} (I_1 * I_2) / d \quad (19)$$

Cuando las intensidades de corriente son del mismo sentido existen entre ellas fuerzas atractivas, cuando las intensidades de la corriente son de sentido contrario, las fuerzas son repulsivas. (Serrano Domínguez, y otros, 1991 págs. 326-327)

**2.4.5** *Ley de Ampere (no generalizada).* Instaura que la integral de línea de  $\mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}$  a lo largo de una trayectoria cerrada es  $\mu I$  donde  $I$  es la intensidad de una corriente constante que pasa a través de una superficie delimitada por la trayectoria cerrada. Matemáticamente se expresa: (Serrano Domínguez, y otros, 1991 pág. 327)

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu I \quad (20)$$

**2.4.5.1** *Definición del ampere.* El ampere como la intensidad de una corriente que, circula en el mismo sentido por dos conductores paralelos y rectilíneos distanciados por el vacío y por el recorrido de un metro, origina en cada uno una fuerza atractiva de  $2 \times 10^{-7}$  N/m. (Serrano Domínguez, y otros, 1991 pág. 327)

Esta ley es útil para calcular el campo magnético de configuraciones geométricas conductoras de corriente que tienen simetría. (Serrano Domínguez, y otros, 1991 pág. 327)

## **2.5 Fem inducida**

En un análisis cuantitativo de la ley de Faraday encontramos que al introducir o sacar una espira cuadrada de un campo magnético obtenemos que la fem inducida en la espira está dada por la siguiente ecuación: (Cantú, 1991 pág. 120)

$$\varepsilon = B l v \quad (21)$$

Donde “ $l$ ” es la longitud del lado de la barra que corta líneas de campo, “ $B$ ” es el campo magnético. Y “ $v$ ” es la velocidad de la espira. Obviamente que se genera una corriente cuya dirección la determinamos de acuerdo a la Ley de Lenz. Si la espira se encuentra totalmente dentro del campo magnético. Entonces el flujo es constante y la fem es cero.

Por consiguiente, no existe corriente inducida, aunque puede existir una diferencia de potencial entre los extremos de la espira. (Cantú, 1991 pág. 120)

## 2.6 Campos eléctricos inducidos por campos magnéticos variables con el tiempo

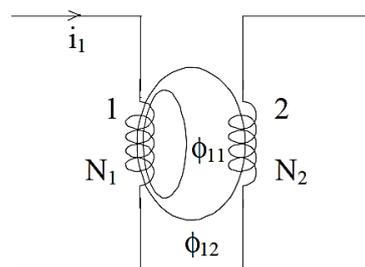
Cuando se coloca una espira circular en una región del espacio donde el campo magnético está variando con el tiempo, se induce una Fem de acuerdo a la ley de Faraday. Lo cual significa que tenemos un campo eléctrico en la espira y quedaría la siguiente ecuación: (Cantú, 1991 pág. 120)

$$\oint \vec{E} \cdot \vec{dl} = - \frac{d\phi_B}{dt} \quad (22)$$

Que es una forma más general de plantear la ley de Faraday. Este campo eléctrico no es electrostático, ya que la integral de línea cerrada no es cero. Los campos electrostáticos son conservativos ya que la integral de línea cerrada de estos es cero. La dirección de estos campos eléctricos inducidos la podemos encontrar a partir de la ley de Lenz. (Cantú, 1991 pág. 120)

## 2.7 Inducción mutua

Figura 3. Inducción mutua



Fuente: [http://www.uco.es/grupos/giie/cirweb/teoria/tema\\_11/tema\\_11\\_21.pdf](http://www.uco.es/grupos/giie/cirweb/teoria/tema_11/tema_11_21.pdf)

Se supone que se tiene la bobina 1, por la que circula una corriente  $i$ , que varía con el tiempo, estableciéndose un flujo magnético  $\phi_{11}$  y cerca de la bobina 1, se tiene la 2. Una parte del flujo atraviesa también a la bobina 2 y se lo expresa como  $\phi_{12}$ . La tensión inducida en la bobina 2 viene dada por la ley de Faraday: (Grupos giie, 2010)

$$v_2 = N_2 \frac{d\phi_{12}}{dt} \quad (23)$$

Como  $\phi_{12}$  está relacionado con la corriente  $i_1$ ,  $v_2$  es proporcional a la variación de  $i_1$  con el tiempo, es decir:

$$v_2 = M \frac{di_1}{dt} \quad (24)$$

En donde la constante de proporcionalidad M se denomina coeficiente de inducción mutua entre las dos bobinas y su unidad, en el sistema internacional, es el henrio (H), igual que para el de autoinducción. (Grupos giie, 2010)

Al combinar las ecuaciones anteriores:

$$v_2 = N_2 \frac{d\phi_{12}}{dt} = M \frac{di_1}{dt} \quad (25)$$

Se obtiene:

$$M = N_2 \frac{d\phi_{12}}{di_1} \quad (26)$$

Con un conjunto de bobinas devanadas sobre un mismo núcleo ferromagnético, la relación entre el flujo y la corriente no es lineal, mientras que sí lo es cuando el medio no es ferromagnético, en cuyo caso la expresión anterior pasa a ser: (Grupos giie, 2010)

$$\frac{M=N_2 \phi_{12}}{i_1} \quad (27)$$

El acoplamiento mutuo es bilateral y se obtienen análogos resultados si por la bobina 2 circula una corriente, variable en el tiempo  $i_2$ . Entonces los flujos serían  $\phi_{21}$  y  $\phi_{22}$  y la tensión inducida en bornes de la bobina 1 es: (Grupos giie, 2010)

$$v_1 = M \frac{di_2}{dt} \quad (28)$$

Con lo que las ecuaciones, serán, respectivamente: (Grupos giie, 2010)

$$M = N_1 \frac{d\phi_{21}}{di_2} \quad \text{y} \quad M = N_1 \frac{\phi_{21}}{i_2} \quad (29)$$

## 2.8 Reluctancia

La reluctancia de un material indica si éste deja establecer las líneas de fuerza en mayor o menor grado. Los materiales no ferromagnéticos, como el aire, poseen una reluctancia muy elevada. En cierta forma la reluctancia es un concepto similar al de resistencia en un circuito eléctrico, hasta tal punto que se puede establecer una ley de Ohm para los circuitos magnéticos, el flujo que se establece en un circuito magnético es proporcional a la fuerza magneto motriz proporcionada por la bobina e inversamente proporcional a la reluctancia del medio por donde se establecen las líneas de fuerza del campo magnético. La reluctancia es una característica propia de cada material magnético cual en un circuito magnético uniforme se puede calcular como: (Electrotecnia, 2010)

$$R = \frac{l}{\mu A} \quad (30)$$

Dónde:

R = Reluctancia

$\mu$  = permeabilidad del núcleo en unidades RMKS,

A = área de sección del circuito (sección del núcleo magnético) en metros cuadrados,

l = longitud del circuito medida en metros. (Electrotecnia, 2010)

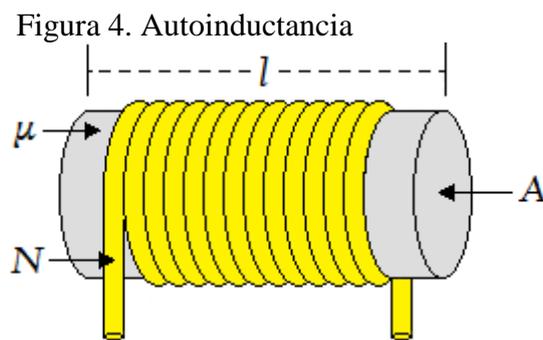
## 2.9 Autoinductancia

Puesto que la fem (fuerza electromotriz) inducida se opone a cualquier cambio en el flujo que enlaza a la bobina y, asimismo, a cualquier cambio de corriente que pasa por el devanado, se denomina fuerza contraelectromotriz. La capacidad de la bobina para oponerse a cualquier cambio de la corriente es una medida de la autoinductancia L de la

bobina. Para abreviar, se suele desechar el prefijo auto. Se mide en henrys (h), en honor a físico norteamericano Joseph Henry. (Boylestad, 1990 págs. 341-342)

Los inductores son bobinas de varias dimensiones, diseñadas para introducir a un circuito cantidades de inductancia específicas. La inductancia de una bobina varía directamente con el flujo que enlaza al devanado; por ende, se utilizan con frecuencia materiales ferromagnéticos para incrementar la inductancia al hacer aumentar el flujo que enlaza la bobina. (Boylestad, 1990 págs. 341-343)

En términos de dimensiones físicas, se puede obtener una aproximación cercana a la inductancia de las bobinas de la figura mediante una de las ecuaciones que se dan a continuación. (Boylestad, 1990 págs. 341-343)



Fuente:

[http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/gispud/ac/cap\\_2/11\\_bobina\\_ideal.html](http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/gispud/ac/cap_2/11_bobina_ideal.html)

### Sistema RMKS:

$$L = \frac{(N^2 \mu A)}{l} \quad (31)$$

Dónde:  $N$  = número de vueltas,

$\mu$  = permeabilidad del núcleo en unidades RMKS,

$A$  = área del núcleo en metros cuadrados, y

$l$  = longitud media del núcleo en metros.

### **Sistema CGS:**

$$L = \frac{0.4 \pi N^2 \mu A}{10^8 l} \quad (32)$$

Dónde: N = número de vueltas,

$\mu$  = permeabilidad del núcleo en unidades CGS,

A = área del núcleo en centímetros cuadrados, y

l = longitud media del núcleo en centímetros.

### **Sistema Inglés:**

$$L = \frac{N^2 \mu A}{10^8 l} \quad (33)$$

Dónde: N = número de vueltas,

$\mu$  = permeabilidad del núcleo en unidades inglesas,

A = área del núcleo en pulgadas cuadradas, y

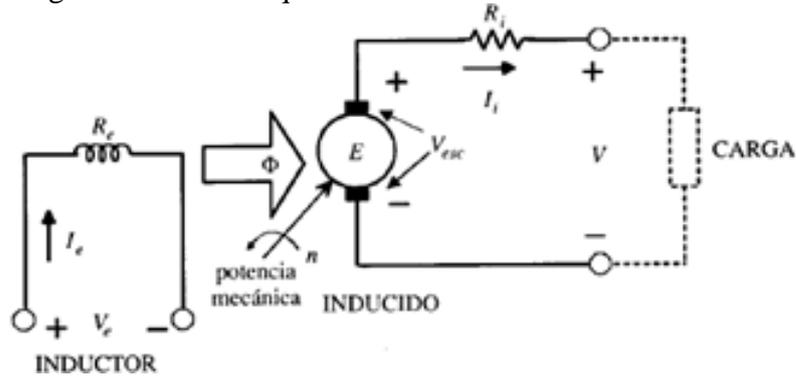
l = longitud media del núcleo en pulgadas.

En la mayoría de los manuales de electrónica se pueden encontrar ecuaciones para la inductancia de bobinas, distintas a las dadas antes. La mayoría de esas ecuaciones son más complejas a las que se acaban de describir. (Boylestad, 1990 pág. 343)

## **2.10 Tipos de Inductores**

A cada inductor se asocia una resistencia igual a la de las vueltas, y una capacitancia dispersa debida a la capacitancia entre las vueltas de la bobina. Para incluir esos efectos, se muestra en la figura el circuito equivalente para el inductor. (Boylestad, 1990 pág. 344)

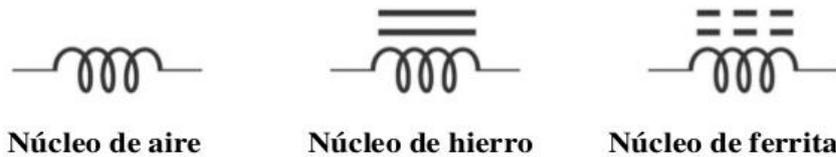
Figura 5. Circuito equivalente de un inductor



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos89/maquinas-corriente-continua-partes/maquinas-corriente-continua-partes.shtml>

Sin embargo, la función primaria del inductor es introducir inductancia – no resistencia o capacitancia – en la red. Por esta razón, los símbolos utilizados para la inductancia son como se ilustra en la figura. (Boylestad, 1990 pág. 344)

Figura 6. Símbolos para la inductancia

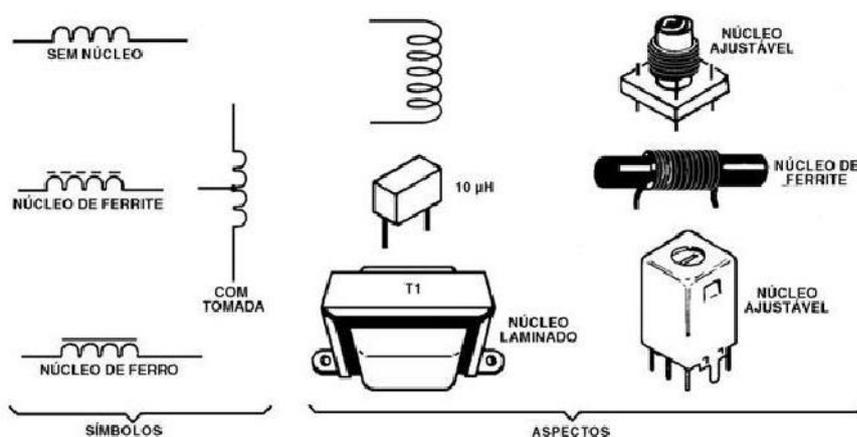


Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos38/electronica-basica/electronica-basica2.shtml>

Al igual que los capacitores, todos los inductores se pueden dividir en dos grupos generales: fijos y variables. Los fijos de núcleo de aire y núcleo de hierro. (Boylestad, 1990 pág. 344)

La bobina variable sintonizada por permeabilidad tiene un eje ferromagnético que se puede mover en el interior de la bobina para hacer variar los enlaces de flujos de la bobina y, por ende, también su inductancia. La figura muestra varios inductores fijos y variables. (Boylestad, 1990 pág. 344)

Figura 7. Inductores fijos y variables



Fuente: <http://www.saberelectronica.com.br/artigos/2053-lío-2-componentes-passivos>

## 2.11 Tensión Inducida

La inductancia de una medida es también una medida del cambio instantáneo de flujo de enlace de la bobina, debido a un cambio instantáneo de la corriente que pasa por el devanado, o sea: (Boylestad, 1990 pág. 345)

$$L = N \frac{d\phi}{di} \quad (34)$$

Dónde: N = número de vueltas,

$\phi$  = flujo en webers, e

i = corriente que pasa por la bobina en amperes.

La ecuación indica que cuanto mayor sea la inductancia de una bobina (con N fijo), tanto mayor será el cambio instantáneo de flujo de enlace de la bobina, debido al mismo cambio instantáneo de la corriente que pasa por la misma. Si se escribe la ecuación como sigue: (Boylestad, 1990 págs. 345-346)

$$e_L = N \frac{d\phi}{dt} = \left( N \frac{d\phi}{di} \right) \left( \frac{di}{dt} \right) \quad (35)$$

Y si se sustituye la ecuación anterior, se tendrá:

$$e_L = L \frac{di}{dt} \quad (36)$$

Que da la magnitud de la tensión a través de un inductor en términos de inductancia  $L$  y el índice de cambio instantáneo de la corriente que pasa por la bobina. Si la corriente que pasa por la bobina no cambia en un instante dado, la tensión inducida en la bobina será cero. Para aplicaciones de cd, después de que pase el efecto transitorio,  $di/dt = 0$  y la tensión inducida es: (Boylestad, 1990 págs. 345-346)

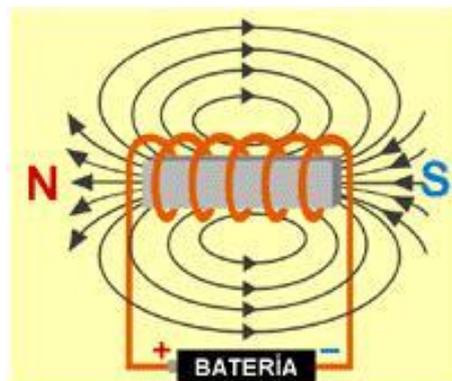
$$e_L = L \frac{di}{dt} = L(0) = 0v \quad (37)$$

Puesto que la tensión inducida en la bobina se opone a la fuente de la fem que la produjo, se denomina generalmente fuerza contraelectromotriz, que se abrevia como  $f_{cem}$ . Esta oposición se concluye a menudo mediante la adición de un signo negativo como lo indica la ecuación. (Boylestad, 1990 pág. 346)

$$e_{f_{cem}} = -L \frac{di}{dt} \quad (38)$$

El interés se centra en la ecuación de la magnitud, incluyendo el signo por medio de la polaridad indicada en la figura.

Figura 8. Polaridad de una bobina



Fuente: [http://www.quimicaweb.net/grupo\\_trabajo\\_fyq3/tema9/index9.htm](http://www.quimicaweb.net/grupo_trabajo_fyq3/tema9/index9.htm)

Recuérdese que la ecuación para la corriente en un capacitor es: (Boylestad, 1990 pág. 346)

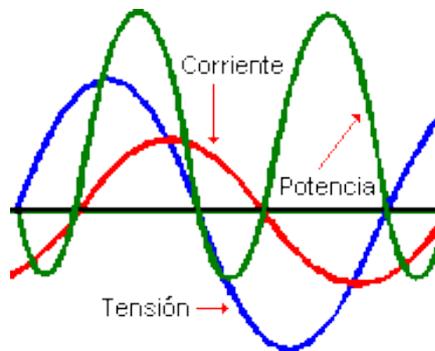
$$i_c = C \frac{dvc}{dt} \quad (39)$$

## 2.12 Energía almacenada en un inductor

El inductor ideal, como el capacitor, no disipa la energía eléctrica que se le suministra; almacena la energía en forma de un campo magnético. (Rodríguez Soler, y otros, 2015 pág. 123)

La figura muestra una gráfica de la tensión, la corriente y la potencia en un inductor, durante la formación del campo magnético que rodea el inductor. (Rodríguez Soler, y otros, 2015 pág. 123)

Figura 9. Tensión, corriente y potencia de un inductor



Fuente: <http://unicrom.com/potencia-en-corriente-alterna-ca/>

La energía almacenada se representa bajo la curva de la potencia. Mediante el uso del cálculo podemos demostrar que la evaluación del área bajo la curva da:

$$W_{\text{almacenado}} = \frac{1}{2}LI_m^2 \quad (40)$$

## 2.13 Baterías recargables para vehículos eléctricos

**2.13.1 Introducción.** Las baterías recargables se utilizan en múltiples aplicaciones, las más básicas como la asistencia para el arranque de motores de combustión interna en vehículos convencionales, para luego seguir con la utilización habitual de hoy en día, que es la asistencia a la potencia variable en vehículos híbridos; y como lo último en tecnología en vehículos totalmente eléctricos. (Rodríguez Soler, y otros, 2015 págs. 123-124)

Las baterías recargables existen desde hace más de 100 años. En 1859 se fabricó la primera batería plomo-ácido que hasta hoy en día es la más utilizada. Con el pasar del tiempo esta batería ha recibido múltiples mejoras que la hacen más eficiente en aspectos de energía de reserva o emergencia y funcionamiento en ciclos de carga y descarga. (Rodríguez Soler, y otros, 2015 págs. 123-124)

Con el pasar del tiempo aparecen las baterías níquel-cadmio de placas de bolsa que al principio fueron utilizadas solo en aplicaciones industriales hasta que en 1950 se empiecen a sellar y utilizar en la asistencia para arranque de los vehículos. En el año de 1985 se empiezan a experimentar con las baterías níquel-hidruros metálicos y se constituyeron desde entonces como las baterías preferidas por los constructores de vehículos híbridos. (Rodríguez Soler, y otros, 2015 págs. 124-125)

**2.13.2** *Actualidad en baterías para vehículos eléctricos.* La batería a base de litio, llamadas también batería Li-Ion, es una fuente que tiene como electrolito sal de litio, que abastece de los iones necesarios para que se produzca una reacción electroquímica reversible que tiene lugar entre el ánodo y el cátodo. (Santamarta, 2009)

Las características de este tipo de baterías son principalmente la ligereza de sus componentes, su alta capacidad energética y resistencia a descargarse, la capacidad para trabajar con un alto número de ciclos de regeneración, han logrado el diseño de baterías livianas, de pequeño tamaño y multitudinarias formas, con un mayor eficiencia, utilizados fundamentalmente en la industria electromecánica de alto consumo, además también para los autos eléctricos. (Santamarta, 2009)

En la industria automovilística se utiliza baterías a base de litio, pero las baterías de níquel-hidrógeno no contienen componentes inflamables y además baratos de usar (también son de mayor tamaño, para utilizarlas en los vehículos de mayor tamaño). Los vehículos deben cargarse de forma rápida durante las paradas y no necesitan otras fuentes de energía distintas de la batería. El prototipo de batería resiste más de 1.000 ciclos de carga y descarga. (Santamarta, 2009)

## **2.14 Ultracondensadores**

Los condensadores almacenan la energía en forma de campo eléctrico, logrando así que sean más eficaces que las baterías normales las cuales reciben su energía de reacciones químicas. Los ultracondensadores son celdas de almacenamiento fundadas en el condensador, que suministran rápidos y masivas descargas de energía instantánea. En algunos casos se usan en vehículos con celdas o células de combustible para proveer un empuje extra al acelerar, para la recuperación de velocidad por detenciones impuestas por el tráfico citadino. (Schindall , y otros, 2011)

A pesar de sus ventajas esenciales (una vida de más de 10 años, alta eficacia de carga y descarga, alta inmunidad a golpes y vibración e indiferencia al cambio de temperatura), existen restricciones físicas sobre la superficie del electrodo y el espaciado, que han limitado a los ultracondensadores a una baja capacidad de almacenamiento de energía que es 25 veces menor que una batería de litio de igual tamaño. (Schindall , y otros, 2011)

La acumulación de energía en un ultracondensador es proporcional a la superficie de los electrodos. Hoy en día los ultracondensadores utilizan electrodos de carbono activado, que es enormemente poroso y por lo cual tiene un área de superficie extremadamente grande. Aunque, los poros en el carbono son anormales en forma y tamaño, lo que minimiza la eficiencia. (Schindall , y otros, 2011)

Los nanotubos ordenados en forma vertical en el ultracondensador poseen un diseño regular, y una dimensión que varía solo en diámetros atómicos de ancho. El resultado es un área de superficie más eficaz, con un aumento comparativo en la capacidad de almacenamiento. (Schindall , y otros, 2011)

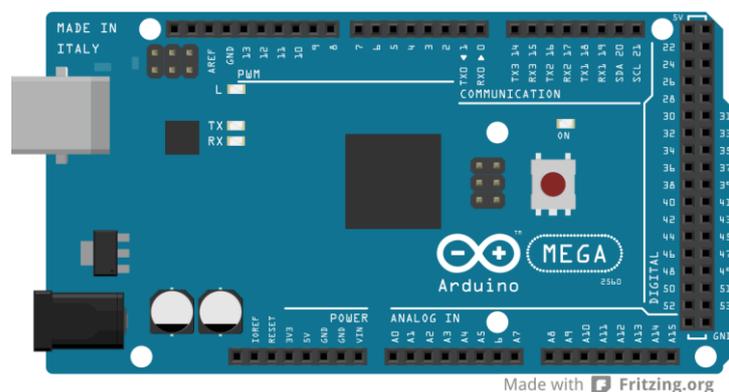
## **2.15 Arduino**

Es un dispositivo que logra que un ordenador pueda controlar y sentir el mundo físico a través de un pc. Utiliza plataforma de desarrollo de computación física de código abierto, en base a una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo para crear software. Arduino se usa para implantar objetos interactivos, estudiando datos de gran

variedad de interruptores y sensores para controlar multitudinarios actuadores como luces y motores. (UCA, 2010)

Al Arduino es lo puede alimentar a través de los tipos de conexiones, mediante USB o una fuente de alimentación externa. La fuente de alimentación se selecciona automáticamente. (UCA, 2010)

Figura 10. Arduino Mega



Fuente: <http://saber.patagoniatec.com/arduino-mega-2560-atmega-mega-arduino-clon-compatibleargentina-tutorial-basico-informacion-arduino-argentina-ptec/>

**2.15.1 Comunicaciones.** Este dispositivo facilita la comunicación con otros microcontroladores y la PC.

El componente ATmega16U2 ubicado en la placa canaliza la comunicación serie a través del puerto USB y los drivers incluidos en el software, suministran un puerto serie virtual en el ordenador. El software incluye un monitor de puerto serie que permite recibir y enviar información textual al Arduino. Los LEDs de la placa Arduino titilaran para emitir un aviso, si la comunicación se está efectuando a través de los pines 0 y 1. (UCA, 2010)

La librería Software Serial es la encargada de permitir la comunicación serie por cualquier par de pines digitales del Arduino. (UCA, 2010)

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA

El presente trabajo hace uso de la tecnología para la elaboración de prototipo de auto eléctrico, con recarga de energía eléctrica por medio de inducción.

Se plantea una metodología estructurada propia para la construcción del prototipo que parte de la definición de necesidades y bondades que se desea dotar al auto, en la siguiente lista se hace mención de éstas:

- El prototipo deberá ser totalmente eléctrico.
- El sistema de abastecimiento de energía eléctrica estará gobernado por una batería eléctrica recargable de 7.4 V.
- El prototipo poseerá un sistema de carga de energía eléctrica utilizando el principio de inducción eléctrica por inducción de cargas mediante campo magnético entre bobinas.

Como utilidades del prototipo deberá cubrir:

- El prototipo será controlado inalámbricamente utilizando interfaz bluetooth. El auto será guiado con instrucciones que le indiquen movimiento hacia adelante, atrás, izquierda y derecha.
- El modelo deberá poseer un indicador local que refleje la medición de velocidad en rpm.
- El prototipo presentará de manera local el valor en porcentaje de la carga total de la batería; en el caso de estar recargando la batería se emitirá una señal de aviso que evidencie el proceso.

Planteados los requerimientos como siguiente punto se plantea definir el modelo del prototipo; se lo diseña haciendo uso de las bases acrílicas existentes en el mercado y a partir de estas se fija dimensiones y formas que faciliten el montaje del resto de elementos que conformarán el prototipo.

### 3.1 Diseño y selección de elementos

#### 3.1.1 Bases. La base acrílica que se va a utilizar se detalla a continuación:

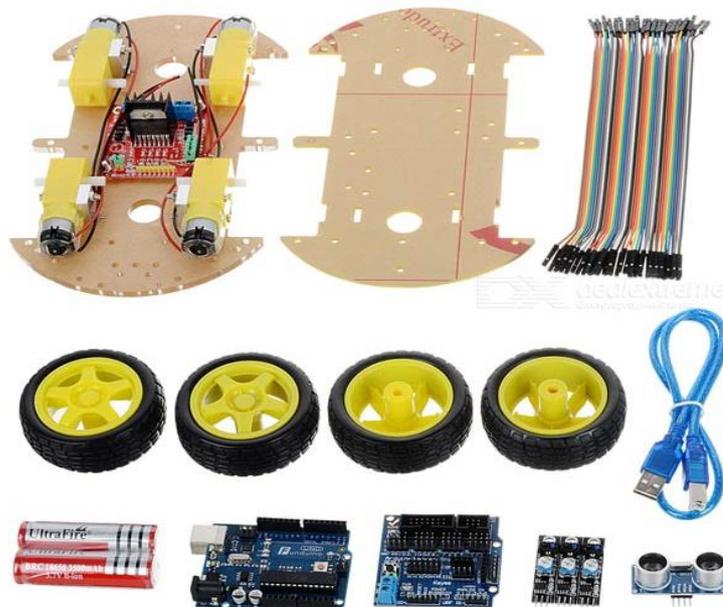
Figura 11. Base Acrílica con motores



Fuente: <http://teslabem.com/chasis-seguidor-de-linea-acrilico.html>

Para poder obtener una base completa con cuatro ruedas cada una con su motor y espacio suficiente para colocar los demás componentes es necesario la unión de dos bases independientes, la cual se detalla a continuación:

Figura 12. Diseño de estructura



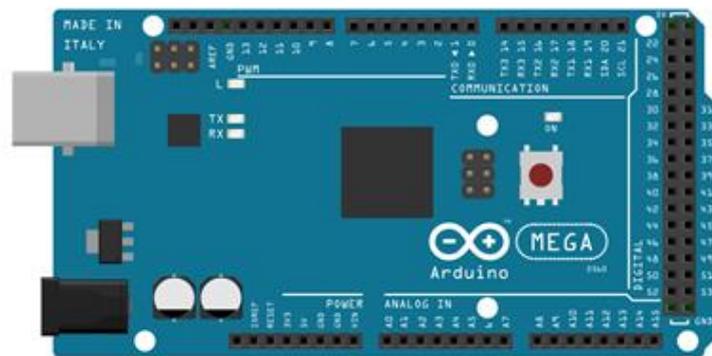
Fuente: <http://www.dx.com/p/arduino-compatible-bluetooth-controlled-robot-car-kits-146418#.WDTesvI97IU>

Definida la parte estructural del prototipo se realiza el estudio de dispositivos eléctricos/electrónicos que permitan dotar al prototipo de todas las características y bondades citadas anteriormente.

**3.1.2 Controlador.** Como centralizador y gestor de los recursos del sistema se analiza el uso de un controlador Arduino OPEN SOURCE.

Este componente utiliza la plataforma de desarrollo de computación física de código abierto, en base a una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo para crear software. Arduino se usa para implantar objetos interactivos, estudiando datos de gran variedad de interruptores y sensores para controlar multitudinarios actuadores como luces y motores. La placa la puede adquirir o montarla artesanalmente, y el software se lo puede descargar gratis desde la página [www.arduino.cc/en/](http://www.arduino.cc/en/). Al Arduino es lo puede alimentar a través de los tipos de conexiones, mediante USB o una fuente de alimentación externa. La fuente de alimentación se selecciona automáticamente. (Monk, 2012)

Figura 13. Arduino Mega



Fuente: <http://blascarr.com/wp-content/uploads/2015/05/hc-05-Mega.png>

El Arduino Mega 2560 es el microcontrolador más competente de la familia Arduino. Tiene 54 pines digitales que funcionan como entrada/salida; 16 entradas análogas, un cristal oscilador de 16 MHz, un botón de reset, una conexión USB y una entrada de alimentación de la placa.

La comunicación entre la computadora y arduino se produce a través del puerto serie, sin embargo posee un convertidor usb-serie, por lo que sólo se necesita conectar el dispositivo a la computadora utilizando un cable USB de tipo B. (Monk, 2012)

### 3.1.2.1 Características

Tabla 1. Características de Arduino Mega

<b>Microcontrolador</b>	ATmega2560
<b>Voltaje Operativo</b>	5V
<b>Voltaje de Entrada</b>	7-12V
<b>Voltaje de Entrada (límites)</b>	6-20V
<b>Pines digitales de Entrada/Salida</b>	54 (de los cuales 15 proveen salida PWM)
<b>Pines análogos de entrada</b>	16
<b>Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida</b>	40 mA
<b>Corriente DC entregada en el Pin 3.3V</b>	50 mA
<b>Memoria Flash</b>	256 KB (8KB usados por el bootloader)
<b>SRAM</b>	8KB
<b>EEPROM</b>	4KB
<b>Clock Speed</b>	16 MHz

Fuente: (Monk, 2012)

En caso de trabajar con una fuente externa de poder se debe utilizar un convertidor de corriente alterna a corriente directa y regular este voltaje en el rango que la placa establece. También se puede alimentar al microcontrolador mediante el uso de baterías. Este voltaje debe estar en el rango de 7 a 12 voltios. (Sabika, 2010)

El microcontrolador posee los siguientes pines para la alimentación del circuito:

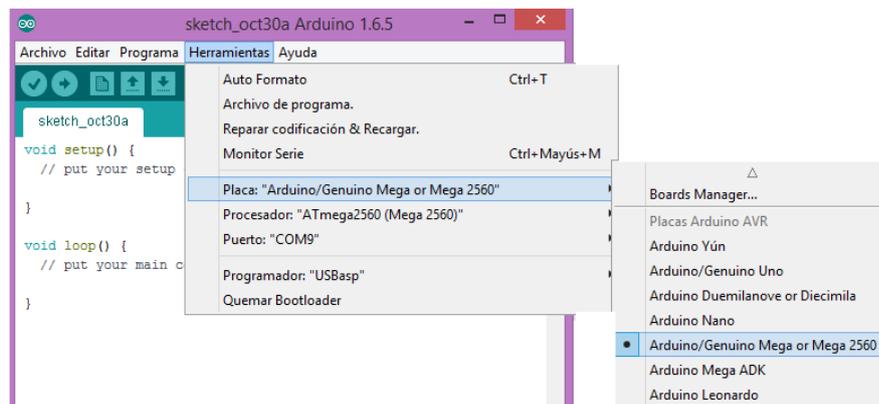
- **VIN:** A través de este pin es posible proporcionar alimentación a la placa.
- **5V:** Se puede obtener un voltaje de 5V y una corriente de 40mA desde este pin.
- **3.3V:** Se puede obtener un voltaje de 3.3V y una corriente de 50mA desde este pin.
- **GND:** El ground (0V) de la placa. (Sabika, 2010)

**3.1.2.2 IDE (software) de arduino.** Una vez que se conoce el microcontrolador a usarse y todos los pines necesarios para el manejo y control del Arduino, se instala el software para poder programarlo mediante el ordenador.

Se cuenta con la placa Arduino la cual se conecta al ordenador usando el cable USB, una vez conectada el led de la placa PWR (led de alimentación) deberá permanecer encendido.

Al conectar el arduino, Windows automáticamente deberá de inicializar la instalación de los drivers. Se ejecuta la aplicación Arduino, seleccionando la placa y el puerto serie. Una vez abierta la aplicación se selecciona Tools-Board-Arduino Mega 2560

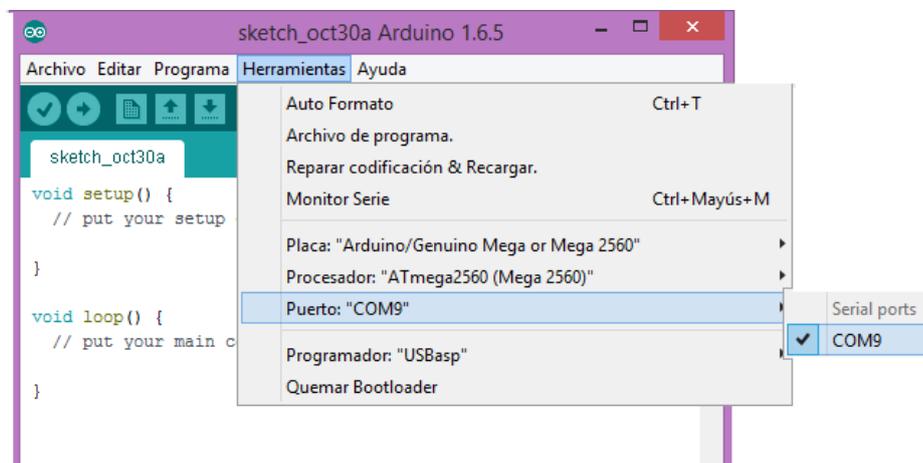
Figura 14. IDE Arduino, Selección de la Placa Arduino Mega2560



Fuente: Autores

Una vez seleccionado el modelo de la placa se selecciona el dispositivo serie de la placa.

Figura 15. IDE Arduino, Selección del Puerto

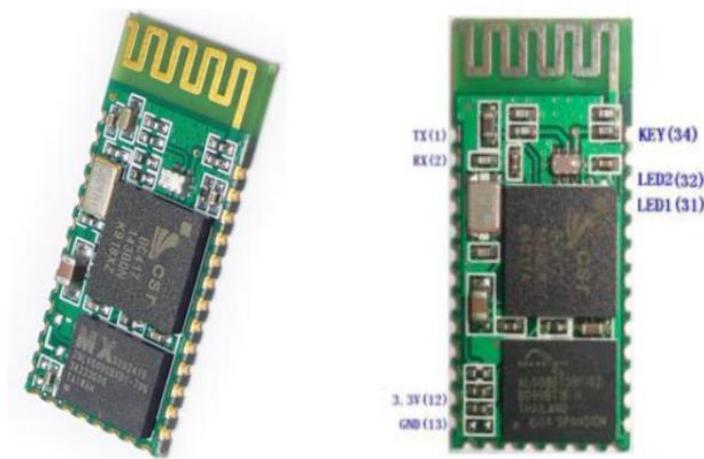


Fuente: Autores

**3.1.3 Control Inalámbrico.** El control del prototipo se lo requiere realizar de forma inalámbrica, y la tecnología Bluetooth es una de las soluciones en el campo de la electrónica, donde el enlace de datos sin conexiones físicas debe ser robusto, confiable y seguro. (Monk, 2012)

El módulo de bluetooth HC-05 es el que ofrece una mejor relación de precio y características, ya que es un módulo Maestro-Esclavo, quiere decir que además de recibir conexiones desde una PC o tablet, también es capaz de generar conexiones hacia otros dispositivos bluetooth. Esto permite por ejemplo, conectar dos módulos de bluetooth y formar una conexión punto a punto para transmitir datos entre dos microcontroladores o dispositivos. (Monk, 2012)

Figura 16. Módulo Bluetooth HC-05



Fuente: <http://www.instructables.com/id/Arduino-AND-Bluetooth-HC-05-Connecting-easily/?lang=es>

**3.1.3.1 Descripción.** Este Shield BlueTooth HC-05 es un módulo serie Bluetooth (Master / Slave). Se pueden elegir los pines digitales de arduino desde el D0 al D7 para utilizarlos como RX y TX para comunicarse con el módulo HC-05. (Monk, 2012)

Sólo es posible comunicar los dispositivos entre maestro y esclavo. Las configuraciones maestro/maestro o esclavo/esclavo no son posibles. El modo esclavo podría servir para conectar con PDA, PC, etc. y otros dispositivos que por defecto actúan como maestros. (Monk, 2012)

### 3.1.3.2 Características Hardware

Tabla 2. Características de Hardware bluetooth

Compatible	Con Arduino
Sensibilidad Típica	-80dBm.
Potencia de transmisión RF	+4 dBm
Fully Qualified Bluetooth V2.0 +modulación EDR	3Mbps
Funcionamiento	De bajo consumo
PID control	
Interfaz UART	Con velocidad de modulación en baudios programable
Antena PCB	Integrada

Fuente: (Monk, 2012)

### 3.1.3.3 Características del Software

Tabla 3. Características de Software de bluetooth

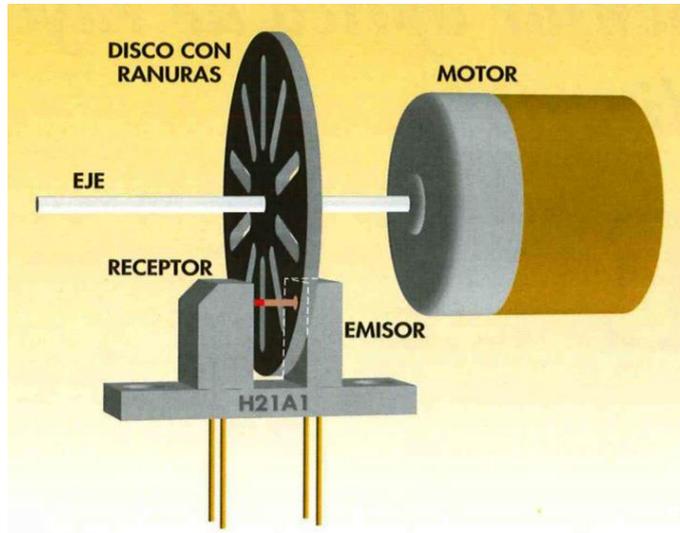
Velocidad en baudios (Modo comandos AT)	38400, Bits de datos: 8, Bit de parada: 1, Paridad: Sin paridad.
Tasa de velocidad de modulación en baudios soportadas	9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 230400, 460800.
Auto-conexión del dispositivo	Última configuración por defecto.
Permiso para conectar al dispositivo	Emparejado de forma predeterminada
Por defecto PINCODE	"1234"
Reconexión automática	30 min cuando se desconecta como consecuencia de pérdida de conexión por salirse del rango de alcance.

Fuente: (Monk, 2012)

**3.1.4 Medición de velocidad.** Bajo el principio de funcionamiento de los encoders que generan señales digitales en respuesta al movimiento, sea de un disco o cinta perforada y que son utilizados, en su mayoría de las aplicaciones, para el control de posición y/o velocidad de un motor se incluye en el prototipo para cubrir con la necesidad

de medir la velocidad de desplazamiento del prototipo. Fundamentado básicamente la cantidad de pulsos leídos y el número de cortes que existen en el disco para monitorear una posición específica o velocidad. (Monk, 2012)

Figura 17. Encoders de disco ranurado

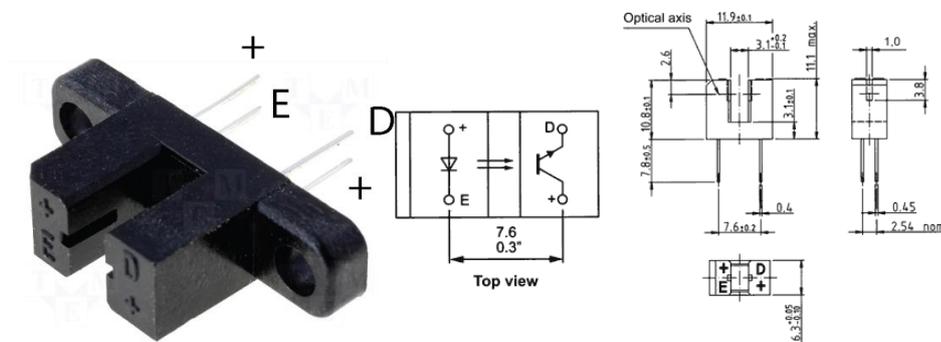


Fuente: <http://carolina-sp.blogspot.com/2014/11/contador-de-pulsos-de-encoder-con.html>

Sin embargo, este proyecto se centrará en realizar el conteo de pulsos que genera un encoders. Para ello se necesitará el sensor opto acoplador y el disco ranurado

**3.1.5** *Opto acoplador.* El sensor opto acoplador generará pulsos de acuerdo a cuantas franjas blancas o transparentes detectó. Estos pulsos serán contados por el microcontrolador.

Figura 18. Opto acoplador de ranura



Fuente: <http://carolina-sp.blogspot.com/2014/11/contador-de-pulsos-de-encoder-con.html>

**3.1.6 Visualización.** Para la visualización de la velocidad a la que viaja el vehículo prototipo y verificar el estado de carga de la batería de alimentación se utiliza un lcd de 16x2 con conexión I2C.

Figura 19. LCD con módulo I2C



Fuente: <http://lanzarduino.beautifulcode.com/wp-content/uploads/2016/02/lcd1.png>

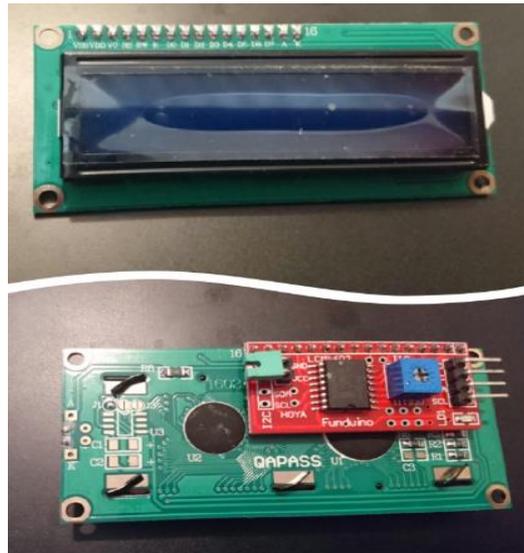
Habitualmente los display LCD suelen necesitar una gran cantidad pines digitales para conectarse al Arduino y funcionar, de 6 a 13 según la pantalla, y eso hace que el Arduino se quede sin pines libres para la conexión de otros componentes. (Sabika, 2010)

Para solucionar este inconveniente hace falta usar un módulo que convierta la conexión en paralelo del LCD a conexión en serie mediante alguno de los protocolos de comunicación que soporta el microcontrolador. (Sabika, 2010)

En cuanto a los módulos podemos encontrarlos con conexión ISP, Serial e I2C, siendo este último el más común de todos y del que trata esta entrada. (Sabika, 2010)

El módulo I2C solo tiene 4 cables que se corresponden a GND, 5V, SDA y SCL. Para conectarlo a la placa Arduino se tiene que buscar dónde están los pines SDA y SCL del protocolo I2C ya que varía según la placa y revisión. (Sabika, 2010)

Figura 20. LCD i2C 16x2

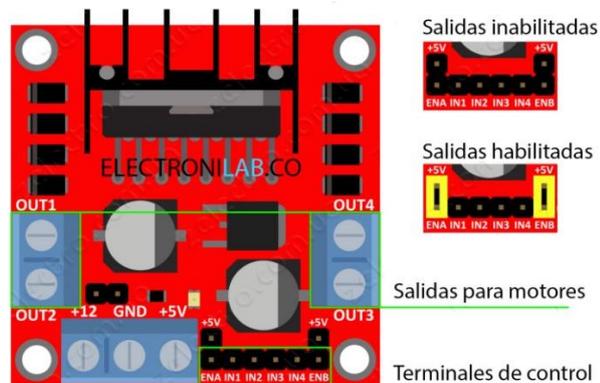


Fuente: Autores

También es necesario especificar una librería para el protocolo usado ya que la que viene de serie con el IDE solo funciona conectando la pantalla directamente; la librería se denomina LiquidCrystal.h.

**3.1.7 Control de motores.** Para gobernar el movimiento del prototipo se establece que los motores sean del tipo DC gobernados por un módulo que cumpla las características de un puente H, para ellos se selecciona el puente H e Arduino; éste módulo basado en el chip L298N permite controlar dos motores DC o un motor paso a paso bipolar de hasta 2 A. (Monk, 2012)

Figura 21. Terminales puente H, módulo de Arduino



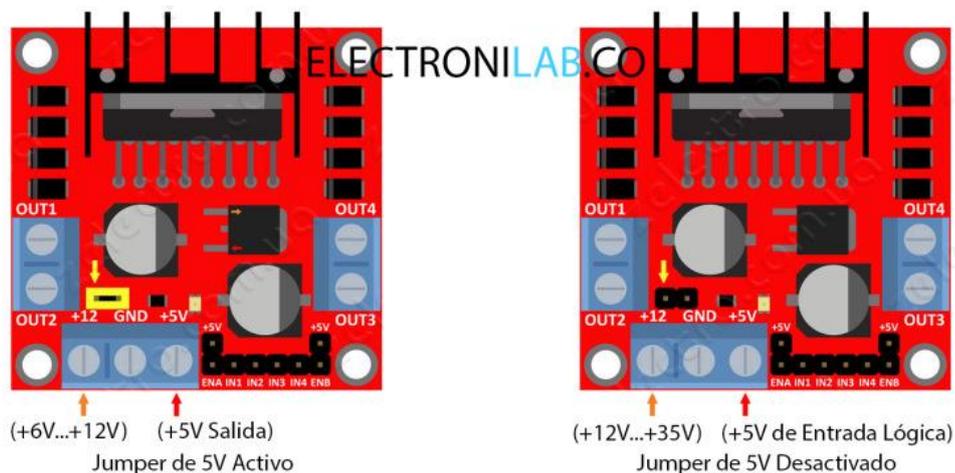
Fuente: <http://electronilab.co/tutoriales/tutorial-de-uso-driver-dual-l298n-para-motores-dc-y-paso-a-paso-con-arduino/>

El dispositivo posee todos los componentes necesarios para cumplir sus funciones sin necesidad de elementos adicionales, entre ellos diodos de protección y un regulador LM7805 que suministra 5V a la parte lógica del integrado L298N. Posee jumpers de selección para habilitar las salidas del módulo (A y B). La salida A está conformada por OUT1 y OUT2 y la salida B por OUT3 y OUT4. Los pines de habilitación son ENA y ENB. (Monk, 2012)

En la parte de abajo se pueden encontrar los pines de control del módulo, marcados como: IN1, IN2, IN3 e IN4. (Monk, 2012)

**3.1.7.1 Conexión de alimentación.** Este módulo se puede alimentar de 2 maneras gracias al regulador integrado LM7805.

Figura 22. Conexiones de alimentación al puente H, módulo de Arduino



Fuente: <http://electronilab.co/tutoriales/tutorial-de-uso-driver-dual-l298n-para-motores-dc-y-paso-a-paso-con-arduino/>

En caso de que el jumper de selección de 5V se encuentre activado, el módulo permite una alimentación entre 6 a 12 voltios de corriente directa. Al momento de que el regulador se encuentra activo, el pin marcado como +5V tendrá un voltaje de 5 voltios de corriente directa el mismo que se puede usar para alimentar la parte del módulo de control ya sea un microcontrolador o un Arduino, se aconseja que el consumo no sobrepase los 500 mA. (Monk, 2012)



**3.1.8.1** *Cómo funcionan las baterías a base de litio.* La tecnología de baterías de litio recargables permite un mejor rendimiento para casi todos los aparatos electrónicos que necesitan una batería autónoma recargable. (Nelson, 2011)

En el interior de este tipo de batería, existen dos electrodos de metal compuesto a base de carbono, que están sumergidos en un líquido conductor (electrolito). A este conjunto se lo denomina celda y la combinación de varias celdas forma la batería. (Nelson, 2011)

Al estar cargada y se le conecta a un dispositivo a alimentar, el circuito eléctrico del conjunto es cerrado. Se produce una reacción química que ocasiona la circulación de partículas ionizadas de un electrodo a otro, llevando la generación de electrones a los bornes de la batería. Por otra parte, si se conecta un cargador a los bornes de la batería, se genera un proceso químico inverso. Las partículas van en otra dirección, y la batería se recarga. (Nelson, 2011)

Gracias a la naturaleza reversible de una reacción química, la batería puede cargarse o descargarse, a diferencia de una pila simple. La descarga y carga completa forma un ciclo. (Nelson, 2011)

Sobre la batería o en algún lugar de ella son visibles dos valores: la capacidad, en miliamperios-horas (mAh), y la tensión, en voltios (V). (Nelson, 2011)

Una de las características importantes es la densidad de energía másica expresada en watt-hora por kilogramo (W)(h)/Kg, muestra la capacidad de la batería para transportar un máximo de energía por un peso mínimo. De igual manera, se habla de densidad de energía volumétrica si se considera el volumen mínimo en lugar del peso. (Nelson, 2011)

**3.1.8.2** *Selección de la batería.* Para el almacenamiento se ha tomado en cuenta los siguientes parámetros:

- Energía que es posible almacenar en la batería.
- La intensidad máxima que puede dar la batería.
- El peso de la batería
- Tiempo de carga

Tabla 4. Especificaciones de las baterías

Tipo	Energía/ peso	Tensión por elemento(V)	Duración (Numero de recargas)	Tiempo de carga	Descarga por mes en reposo
Ni-Cd	48-80 Wh/Kg	1,25	500	10-14 h	30 %
Ni-MH	60-120 Wh/Kg	1,25	1000	2- 4 h	20 %
Li-Po	100-130 Wh/Kg	3,7	5000	1-1,5 h	10 %

Fuente: Autores

Hecha la comparación de las baterías propuestas se selecciona la que mejor cumpla las necesidades del prototipo.

Por lo que se elige la batería Li-Po (Litio-Polímero) debido a que sus características son las adecuadas para la elaboración del sistema de almacenamiento de energía.

Figura 24. Batería Li-Po 7.4 V 2000 mA



Fuente: Autores

La batería de Polímero de Litio, conocidas como baterías Li-Po, las cuales son de última generación dentro del mundo del radio control, estas baterías tienen una excelente relación entre capacidad, peso, volumen y tensión (voltaje). (Hobby, 2013)

Las baterías Li-Po al ser comparadas con, las de Ni Mhi o Ni Cd, ganan notablemente. Donde se tenía un pack del tipo 7.2 voltios y 3000 mili amperios-hora de Ni Mhi o Ni Cd, ahora tenemos uno de 7.4 voltios y 6.000 mili amperios-hora de Li-Po que pesa la mitad y nos da una mayor descarga. Esto hace que, si la nueva batería va a instalarse en un vehículo eléctrico, por ejemplo el auto sea más ligero, más potente y que va a funcionar durante más tiempo. (Hobby, 2013)

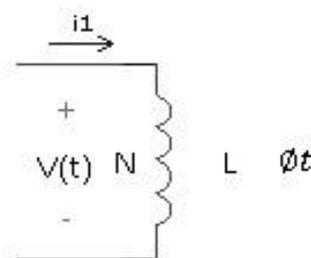
Voltaje de una Batería de Li-Po: las baterías de Li-Po poseen elementos de 3.7voltios. A estos elementos se les suele conocer como células. En radio control se utilizan baterías de Li-Po desde 1 elemento hasta 8 elementos (pueden ser más) en función del modelo en el que va a ir instalada y las prestaciones que queramos que tenga el mismo. Por lo general son baterías de 1, 2 o 3 elementos. Para conocer el voltaje de una batería solo hay que multiplicar el número de elementos por el voltaje de este, por lo que se conectan en serie (2S por ejemplo). Es decir que una batería de 2 elementos tendría 7.4voltios (3.7voltios x 2 elementos = 7.4voltios) (Hobby, 2013)

### 3.1.9 Diseño de bobinas

**3.1.9.1 Análisis para una bobina.** Si tenemos una bobina aislada de inductancia L y número de espiras N esta crea un flujo magnético  $\phi(t)$ .

El flujo magnético dependerá del número de espiras

Figura 25. Flujo magnético



Fuente: Autores

Se puede decir que en la bobina existen enlaces de flujo que se representa con la siguiente ecuación.

$$\lambda = N * \phi$$

Donde  $\lambda$  es el enlace de flujo

Las variaciones de estos enlaces de flujo respecto al tiempo inducen un voltaje por lo que se tiene:

$$\frac{d\lambda}{dt} = V(t) = N \frac{d\phi}{dt}$$

Se puede decir que el flujo  $\phi$  es generado por la corriente  $i$  y la variación del flujo  $\phi$  induce la generación del voltaje  $V$  por lo tanto el voltaje  $V(t)$  debe ser proporcional a la variación de la corriente:

$$i \rightarrow \phi \rightarrow V(t)$$

De esto se puede decir que:

$$V(t) = L \frac{di}{dt}$$

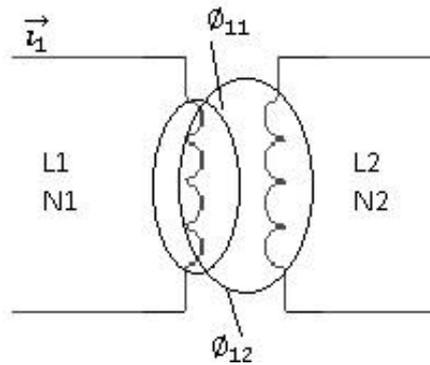
Esta relación es propia de un circuito inductivo para hallar el voltaje, donde  $L$  es la constante de proporcionalidad que corresponde al valor propio de la inductancia.

### **3.1.9.2** *Análisis para dos bobinas, el cual hace referencia al tema de titulación.*

Vamos a considerar ahora nuestro caso de estudio con dos bobinas, una que se encuentra en la estación de carga y la otra que se encuentra en el auto prototipo, para ello realizamos el siguiente análisis:

Se tiene una bobina de inducción  $L1$  de  $N1$  vueltas y una segunda bobina de inductancia  $L2$  de  $N2$  vueltas.

Figura 26. Bobinas de N1 y N2 vueltas



Fuente: Autores

Se hace circular una corriente variable con respecto al tiempo a través de la primera bobina, esta corriente genera un flujo, parte del flujo creado por  $i_1$  retorna por el aire sin poder enlazarse con L2, a este flujo que no logra enlazarse con L2 se lo denomina  $\phi_{11}$  (flujo de dispersión o de pérdidas).

Otra parte del flujo creado por la corriente  $i_1$  en la bobina uno si alcanza a enlazarse con la bobina dos, a este flujo se lo denomina  $\phi_{12}$  (flujo de enlace o flujo mutuo) de tal manera que:

$$\phi_1 = \phi_{11} + \phi_{12}$$

Donde  $\phi_1$  es el flujo total.

Como L1 es de N1 vueltas podemos decir entonces que en la bobina 1 existen:

$$\lambda_1 = N_1 * \phi_1$$

$$\frac{d\lambda_1}{dt} = V_1 = N \frac{d\phi_1}{dt}$$

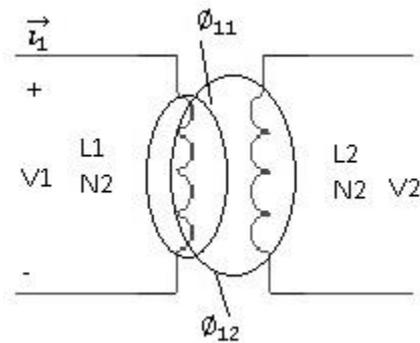
Por lo tanto, se tiene que:

$$i_1 \rightarrow \phi_1 \rightarrow V_1$$

En este punto hay que tomar en cuenta que el  $V_1 \propto i_1$ .

Se considera que la bobina dos está en circuito abierto, pero a pesar de esto se tiene que está asociada a un enlace de flujo  $\lambda_2$ .

Figura 27. Bobina 2 en circuito abierto



Fuente: Autores

$$\lambda_2 = N_2 * \phi_{12}$$

$$\frac{d\lambda_2}{dt} = V_2 = N_2 \frac{d\phi_{12}}{dt}$$

Donde  $\phi_{12}$  es el flujo mutuo.

La variación de los enlaces de flujo va a inducir un voltaje en los extremos de la bobina dos.

En este punto se debe considerar que el flujo  $\phi_{12}$  generado por la circulación de la corriente  $i_1$  induce en la bobina dos un voltaje  $V_2$  por lo cual tenemos:

$$\frac{d\lambda_2}{dt} = V_2 = \frac{d\phi_{12}}{dt} = M \frac{di_1}{dt}$$

Donde M es el coeficiente de inducción mutua entre las bobinas y se mide en henrios (H)  $V_2$  es el voltaje inducido en la bobina dos como consecuencia de la circulación de una corriente en la bobina 1, a este voltaje se lo denomina voltaje mutuo inducido.

Cuando lo descrito hasta este punto se da podemos decir que las bobinas están magnéticamente acopladas, los circuitos a los que pertenecen estas bobinas se los denomina de acoplamiento magnético.

**3.1.9.3** *Valores obtenidos.* Mediante la constante de transformación se obtiene el número de vueltas de la bobina dos tomando en cuenta el valor experimental de la bobina 1 que es 50 vueltas y teniendo un voltaje de entrada de 12 V obtenidos de una fuente, se pretende obtener 7,4 V de salida para la recarga de la batería, por lo tanto, tenemos:

$$\alpha = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Datos de entrada:

$$N_1 = 50 \text{ vueltas}$$

$$V_1 = 12 \text{ V}$$

$$V_2 = 7.4 \text{ V}$$

$$I_1 = 1 \text{ A}$$

Dada esta se procede a reemplazar datos para obtener la constante de transformación:

$$\alpha = \frac{V_1}{V_2} = \frac{12 \text{ V}}{7,4 \text{ V}} = 1,62$$

Entonces tenemos que:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$\frac{50}{N_2} = 1,62$$

$$N_2 = \frac{50 \text{ vueltas}}{1,62} = 31 \text{ vueltas}$$

Para calcular la corriente en la bobina 2, utilizamos la misma fórmula:

$$I_2 = \frac{V_1 * I_1}{V_2} = 1.62 A$$

Los valores de las inductancias de las bobinas 1 y 2 se calculan mediante un software online llamado INDUCTANCE OF A SOLENOID que se puede encontrar en el siguiente link: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/electric/indsol.html#c1>

Figura 28. Cálculo inductancia de bobina emisora

$$L = \frac{\mu N^2 A}{\ell} \quad \begin{array}{l} \ell = \text{length of solenoid} \\ A = \text{cross-sectional area} \end{array}$$

Longitud del solenóide  cm con N =  vueltas,  
radio de bobina r =  cm da un área A =  cm<sup>2</sup>.

La permeabilidad relativa del núcleo k = .

Luego la inductancia del solenóide es

L =  Henrios =  mH.

Fuente: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/electric/indsol.html#c1>

Figura 29. Cálculo inductancia de bobina receptora

$$L = \frac{\mu N^2 A}{\ell} \quad \begin{array}{l} \ell = \text{length of solenoid} \\ A = \text{cross-sectional area} \end{array}$$

Longitud del solenóide  cm con N =  vueltas,  
radio de bobina r =  cm da un área A =  cm<sup>2</sup>.

La permeabilidad relativa del núcleo k = .

Luego la inductancia del solenóide es

L =  Henrios =  mH.

Fuente: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/electric/indsol.html#c1>

## CAPITULO IV

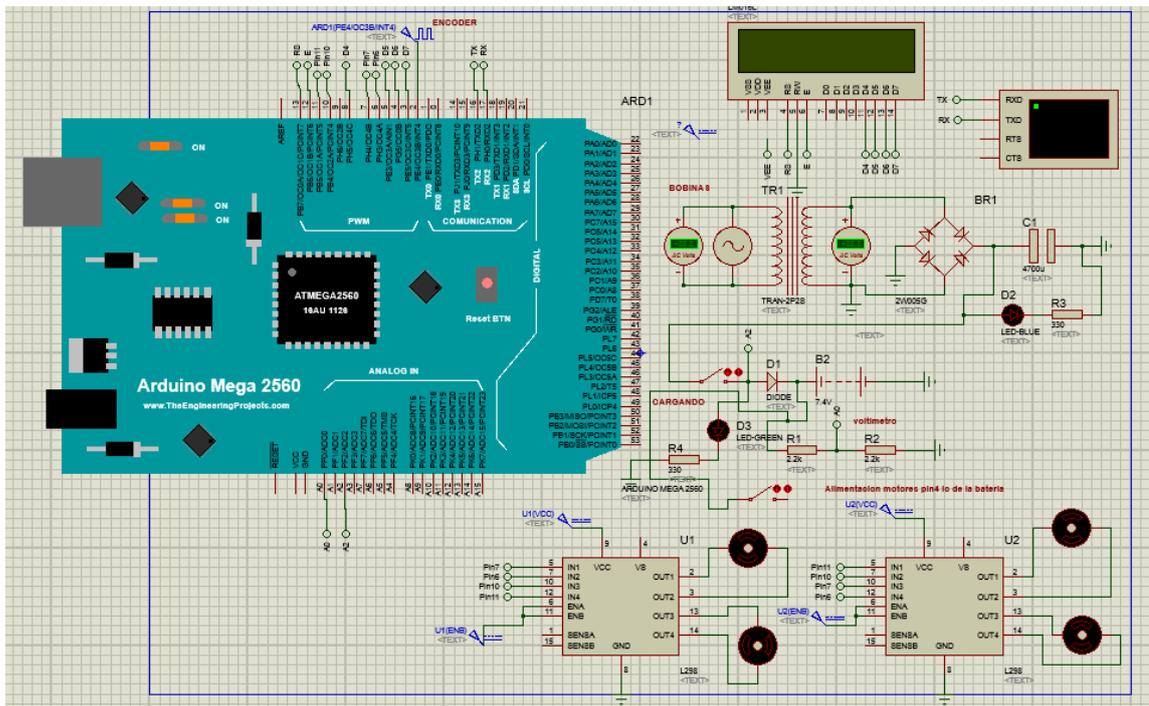
### 4. MONTAJE Y RESULTADOS

Encaminado en cumplir con los requerimientos planteados en la metodología se logra establecer los equipos y materiales necesarios.

#### 4.1 Esquema general de conexiones del auto prototipo

La siguiente figura representa el montaje de los elementos que conforman el prototipo, en él se evidencia las conexiones finales de cada elemento que lo conforma con sus respectivas interfaces para la adecuación de señales e interfaces de potencia para el control de los actuadores.

Figura 30. Esquema de conexiones eléctricas en el prototipo

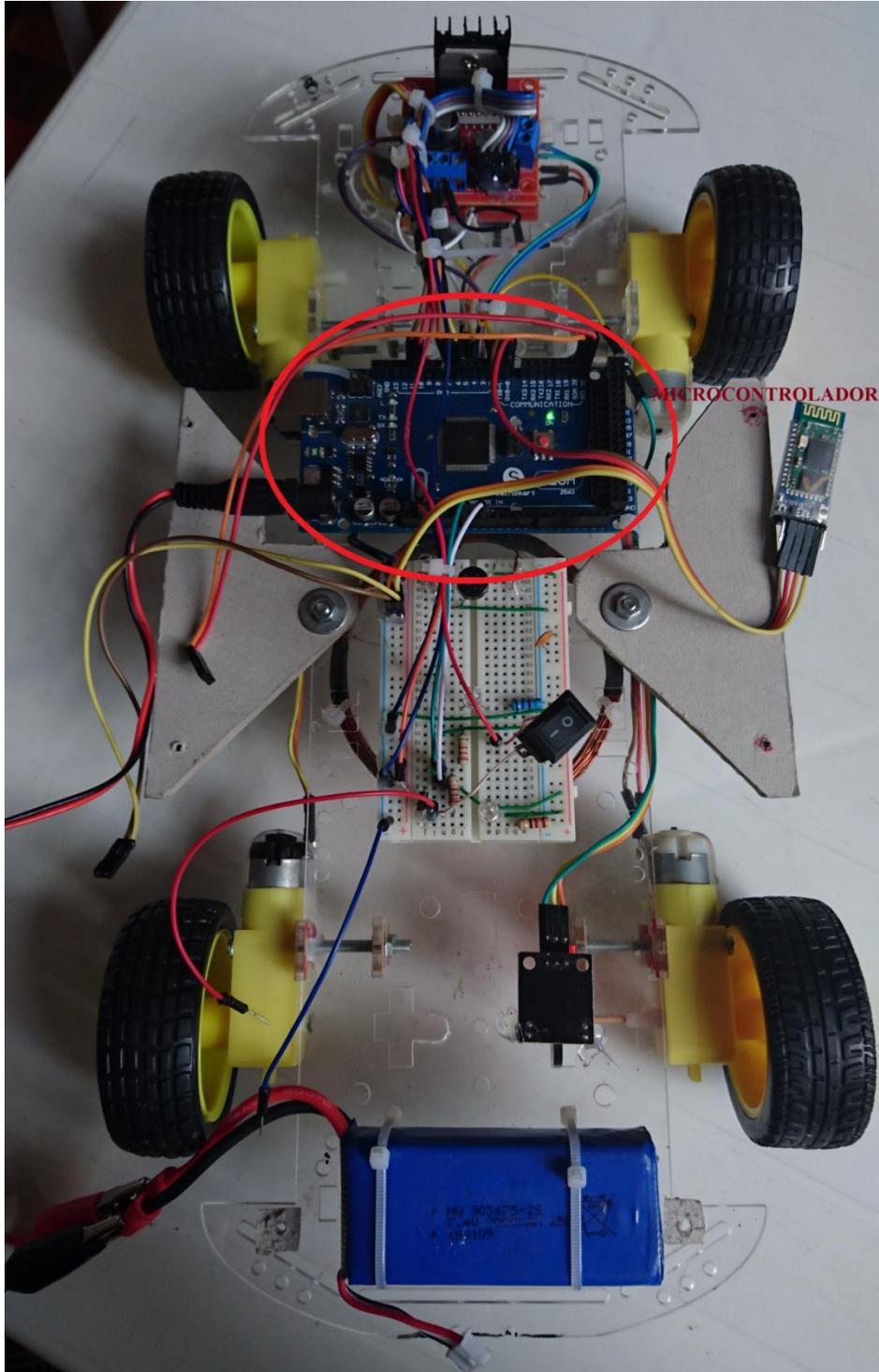


Fuente: Autores

El prototipo centraliza su control con un Arduino Mega 2560 por sus propiedades analizadas en el capítulo 3; es el encargado de gestionar señales de control proporcionadas por algunos de los elementos que conforman el prototipo y así mismo recibir y tratar señales para el monitoreo de variables que actúan sobre el funcionamiento del prototipo,

todo esto en base a la programación pre cargada por el software Arduino sobre el microcontrolador.

Figura 31. Conexiones prototipo / Sistema centralizado con Arduino Mega 2560



Fuente: Autores

La Figura 30 es el resultado de la implementación de diagrama de conexiones eléctricas plateada para la construcción del prototipo, como se mencionó anteriormente la administración de todos los recursos se la realiza mediante la programación del microcontrolador.

A continuación, se detalla el programa final del microcontrolador y se explica cada sentencia programada para el control de las interfaces físicas que conforman el prototipo.

## **4.2 Programación del prototipo**

El programa general para el funcionamiento del auto prototipo parte de la declaración de librerías que se utilizarán para el manejo de recursos de cada elemento o módulo que interviene en el desarrollo del trabajo.

```
#include <TimerOne.h>  
#include <LiquidCrystal.h>
```

Las librerías citadas en el programa general son la TimerOne.h utilizada para el manejo de una función directa para el monitoreo de la velocidad, guarda relación con el conteo de señales de pulso que emitirá el opto acoplador funcionando en conjunto como encoders.

Seguido del llamado de librerías se encuentra la declaración de variables definiendo los pines a utilizarse del microcontrolador Arduino y variables globales a usarse dentro del programa.

```
unsigned int counter=0;
```

Es una variable empleada para el conteo del cambio de estado de otra variable.

```
char estado;
```

Una variable del tipo carácter que servirá para determinar el estado de la batería si está consumiendo o en estado de carga.

```
int encoder_pin = 2;
```

Encoder es la variable que asigna que la señal del opto acoplador estará conectada al pin 2 del microcontrolador Arduino y está funcionará como un ingreso de PWM.

```
LiquidCrystal lcd(13, 12, 8, 5, 4, 3);
```

Se declara una variable del tipo lcd para el control del LCD i2c empleado para la visualización de variables y estados dentro del prototipo. Estableciendo una comunicación Serial.

```
int Ma1 = 11;
```

```
int Ma2 = 10;
```

```
int Mb1 = 7;
```

```
int Mb2 = 6;
```

Ma1, Ma2, Mb1, Mb2 representan las variables de control para los motores son aquellas que según su estado en la función declarada para el control, establecerán los mandos para avance y retroceso de los motores. A su vez estas líneas de código señalan los pines físicos del microcontrolador Arduino a los que se encuentran conectados los puertos del módulo puente H del L298N para el control de los motores.

```
float lectura;
```

```
float voltaje=0;
```

Lectura y voltaje son las variables empleadas para establecer los valores de carga de la batería del sistema de alimentación del prototipo.

```
void docount()
```

```
{  
  counter++;  
}
```

Docount () es la función encargada de medir la señal desde el sensor de velocidad, contabiliza los pulsos emitidos por el encoder.

```
void timerIsr()  
{  
  Timer1.detachInterrupt();  
  int rotation = (counter / 20);  
  lcd.setCursor(0, 0);  
  lcd.print("RPM:");  
  lcd.setCursor(5, 0);  
  lcd.print(rotation,DEC);  
  counter=0;  
  Timer1.attachInterrupt( timerIsr );  
}
```

TimerIsr () es la función propia del encoder conectado al microcontrolador aquí establece que el disco del encoder tiene 20 huecos por lo que el contador lo divide para 20 estableciendo que cada 20 conteos se da una revolución. Las sentencias establecidas en esta función son propias de la librería TimerOne.h

```
void setup()  
{  
  Serial.begin(9600);  
  lcd.begin(16, 2);  
  pinMode(encoder_pin, INPUT);  
  pinMode(Ma1, OUTPUT);  
  pinMode(Ma2, OUTPUT);  
  pinMode(Mb1, OUTPUT);  
  pinMode(Mb2, OUTPUT);  
  Timer1.initialize(1000000);  
  attachInterrupt(0, docount, RISING);  
  Timer1.attachInterrupt( timerIsr );  
}
```

En el void setup ( ) se inicializa todos los recursos a utilizarse dentro del programa para la ejecución de sentencias que debe cumplir el prototipo. Se fijan las funciones de cada pin declarado en el bloque de variables definiendo si actúan como entradas (INPUT), salidas (OUTPUT) o señales de PWM. Existen también funciones específicas propias de cada módulo conectado al microcontrolador.

```
void lectura_voltios(float unidad, int decimales)  
{  
  lectura=analogRead(0);  
  voltaje = 2*((5*float(lectura))/1024);  
  float(voltaje)*2*unidad,decimales;  
  delay(1000);  
}
```

La función lectura voltios permite configurar el microcontrolador Arduino como un voltímetro usando unas de sus entradas analógicas.

La función void loop ( ) es la función principal del programa, en ésta se establece todas las acciones que deberá estar ejecutando en forma repetida y continua el microcontrolador para establecer el funcionamiento de los modulo que gobierna.

```
void loop ( )  
{  
  int sensorValue = analogRead(A2);
```

Sensor Value es la variable en la que se leerá el valor de la entrada analógica A2 del microcontrolador.

```
  if (sensorValue >= 425)  
  {  
    lcd.clear();  
    for (int positionCounter = 0; positionCounter < 13; positionCounter++) {  
    lcd.setCursor(8, 0);  
    lcd.print("CARGANDO..");
```

```
lcd.scrollDisplayLeft();  
delay(50);
```

Seguido de la lectura del pin A2 aparece una condicional que expresa si el valor de la entrada analógica A2 es mayor o igual que 425 el prototipo estará en estado de carga.

```
lectura_voltios(1,2);  
lcd.setCursor(4, 1);  
lcd.print("Voltaje:");  
lcd.setCursor(14, 1);  
lcd.print(voltaje);
```

En el último segmento de programa del bloque afirmativo de la condición se llama a la función de lectura voltios para imprimir el valor de la lectura de carga de la batería en conjunto con un mensaje de estado CARGANDO que se muestra en el lcd.

```
{  
lectura_voltios(1,2);  
lcd.clear();  
lcd.setCursor(0, 1);  
lcd.print("Voltaje:");  
lcd.setCursor(10, 1);  
lcd.print(voltaje);  
}
```

Este bloque invoca también a la función lectura voltios pero es una lectura en estado de activo del auto prototipo, es un valor de voltaje de la batería cuando el prototipo está en marcha.

El siguiente bloque de programa representa el control de los motores a través de la lectura del puerto serial para la toma de instrucciones que envía el módulo de bluetooth.

```
if(Serial.available() > 0)
```

Verifica el estado del puerto Serial que será mayor de cero si existe tráfico de datos a través de él.

```
{  
estado = Serial.read();  
Serial.println(estados);  
}
```

El siguiente bloque de programa establece la secuencia de activación de los motores del auto prototipo para realizar un giro hacia la izquierda.

```
if (estado == 'd')  
{  
  digitalWrite(Ma1,LOW);  
  digitalWrite(Ma2,HIGH);  
  digitalWrite(Mb1,LOW);  
  digitalWrite(Mb2,HIGH);  
}
```

El siguiente bloque de programa establece la secuencia de activación de los motores del auto prototipo para realizar un giro hacia la derecha.

```
if (estado == 'b')  
{  
  digitalWrite(Ma1,HIGH);  
  digitalWrite(Ma2,LOW);  
  digitalWrite(Mb1,HIGH);  
  digitalWrite(Mb2,LOW);  
}
```

El siguiente bloque de programa establece la secuencia de activación de los motores del auto prototipo para avanzar hacia atrás.

```
if (estado == 'e')
```

```

{
  digitalWrite(Ma1,HIGH);
  digitalWrite(Ma2,LOW);
  digitalWrite(Mb1,LOW);
  digitalWrite(Mb2,HIGH);
}

```

El siguiente bloque de programa establece la secuencia de activación de los motores del auto prototipo para avanzar hacia adelante.

```

if (estado == 'a')
{
  digitalWrite(Ma1,LOW);
  digitalWrite(Ma2,HIGH);
  digitalWrite(Mb1,HIGH);
  digitalWrite(Mb2,LOW);
}

```

El siguiente bloque de programa establece la secuencia de desactivación de los motores del auto prototipo establece un estado de reposo.

```

if (estado == 'c')
{
  digitalWrite(Ma1,LOW);
  digitalWrite(Ma2,LOW);
  digitalWrite(Mb1,LOW);
  digitalWrite(Mb2,LOW);
}
}

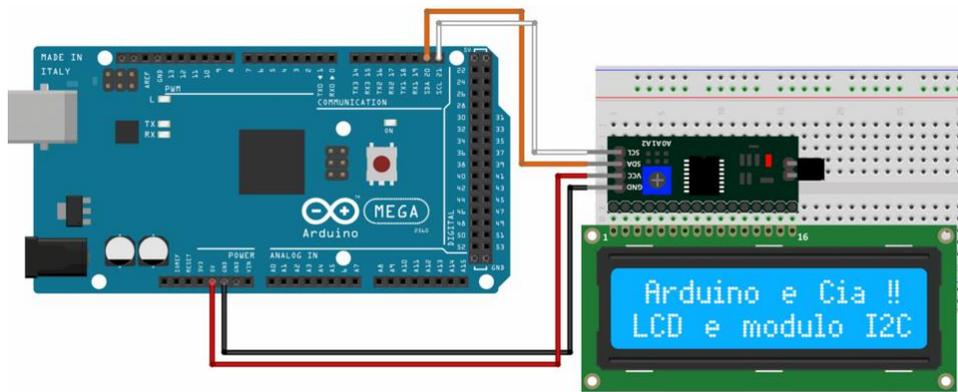
```

Las secciones de programa finales son aquellas que controlan directamente a los motores según el caso codificado de información que llega del Serial obtenidas por la comunicación inalámbrica con el bluetooth.

La figura 25 evidencia el diagrama en conjunto de todo el sistema eléctrico gobernado por el microcontrolador y se ha revisado el programa resultante para el control y administración de recursos del prototipo. A continuación se detalla las conexiones finales y se presenta evidencia del funcionamiento ya en campo de cada uno de los dispositivos dentro del auto prototipo.

### 4.3 Arduino y LCD i2C

Figura 32. Conexión Arduino Mega y módulo LCD I2C 16x2



Fuente: <http://lanzarduino.beautifulcode.com/wp-content/uploads/2016/02/lcd1.png>

La función del LCD como se estudió en el capítulo 3 será permitir la visualización de parámetros del auto prototipo.

Figura 33. Pantallas de visualización en el LCD



Fuente: Autores

Como se puede observar en las figuras anteriores los parámetros que se visualizan en el LCD incluido en el auto prototipo son: **Pantalla A:** Velocidad dada en revoluciones por minuto (RPM) y una lectura de voltaje, la misma que corresponde al valor de carga de la batería cuando el auto prototipo está rodando (en funcionamiento & consumiendo energía). **Pantalla B:** Mensaje CARGANDO y una lectura de voltaje correspondiente a la batería cuando ha llegado a la estación de carga. (carga de batería).

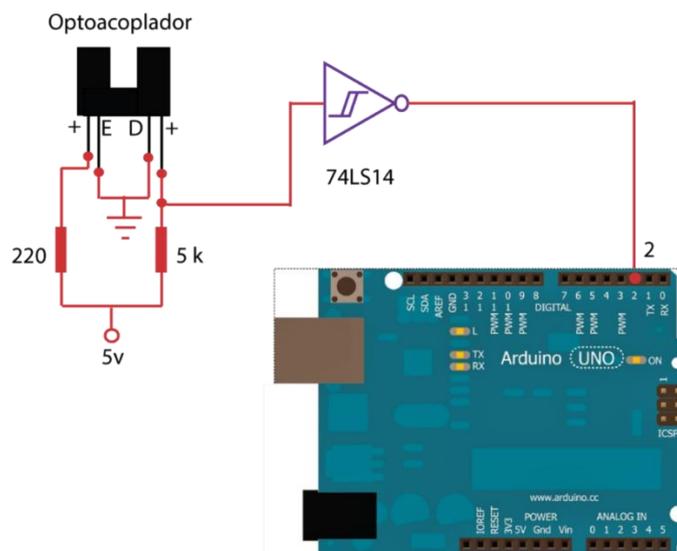
Figura 34. Montaje LCD en el prototipo



Fuente: Autores

Para medida de la velocidad como se estableció en el capítulo 3, se utiliza el principio de lectura de pulsos con encoders. La siguiente figura describe la forma de conexión del sensor en herradura para obtención de la velocidad del prototipo.

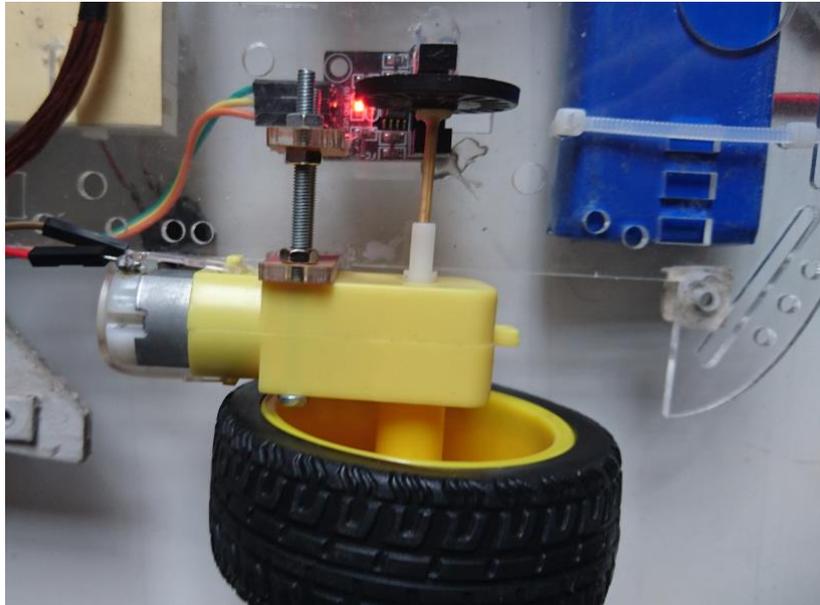
Figura 35. Conexión Arduino y Opto acoplador (Sensor de velocidad)



Fuente: <http://carolina-sp.blogspot.com/2014/11/contador-de-pulsos-de-encoder-con.html>

El montaje físico del sensor para la medición de la velocidad se lo evidencia en la siguiente figura.

Figura 36. Conexión Encoders en el prototipo



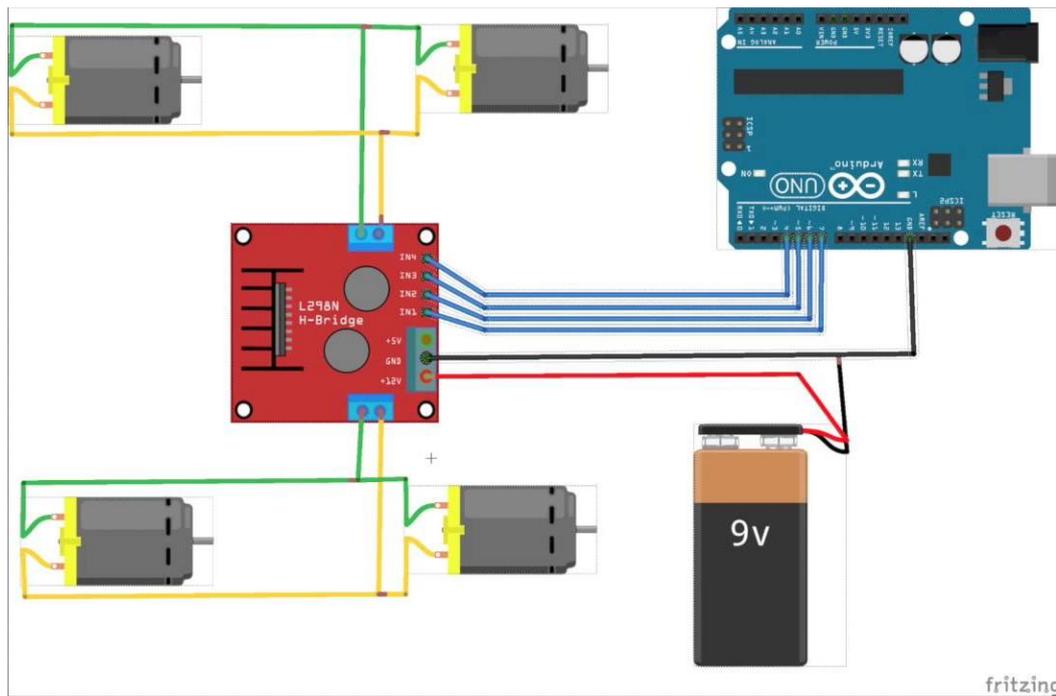
Fuente: Autores

#### **4.4 Arduino & Módulo Puente H L298N**

El control de los motores del auto prototipo resulta importante y como resultado se logró el manejo de 4 motores , uno por rueda los cuales a través de mandos generados por el microcontrolador son los que gobiernan el funcionamiento del auto.

Como resultado de la selección de dispositivos se optó finalmente por utilizar el shield de puente H de arduino en base al circuito integrado LN298N. A continuación se detalla la forma de conexión individual del shield interactuando con el micro y los motores.

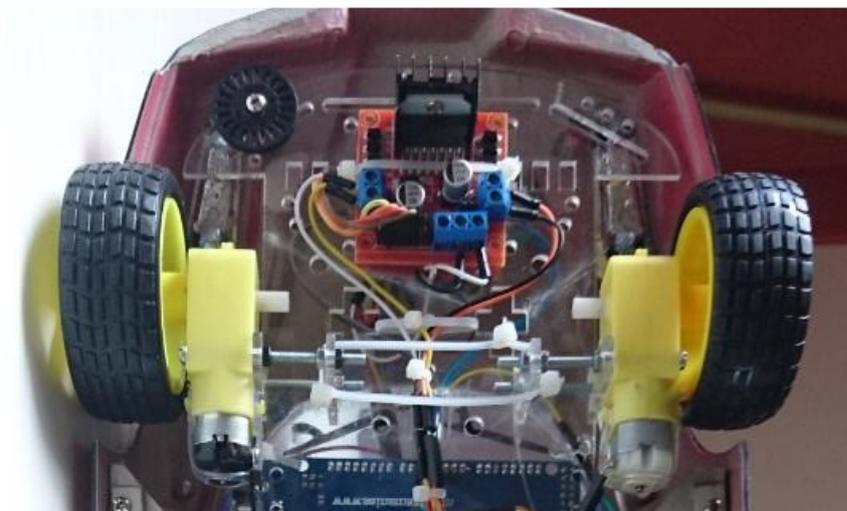
Figura 37. Conexión Arduino y módulo L298N



Fuente: <http://electronilab.co/tutoriales/tutorial-de-uso-driver-dual-l298n-para-motores-dc-y-paso-a-paso-con-arduino/>

Evidencia del correcto funcionamiento de los motores en el prototipo se adjunta en la siguiente figura las conexiones físicas y el montaje real de los motores dentro del aut o prototipo.

Figura 38. Conexión Puente H LN298 motores delanteros

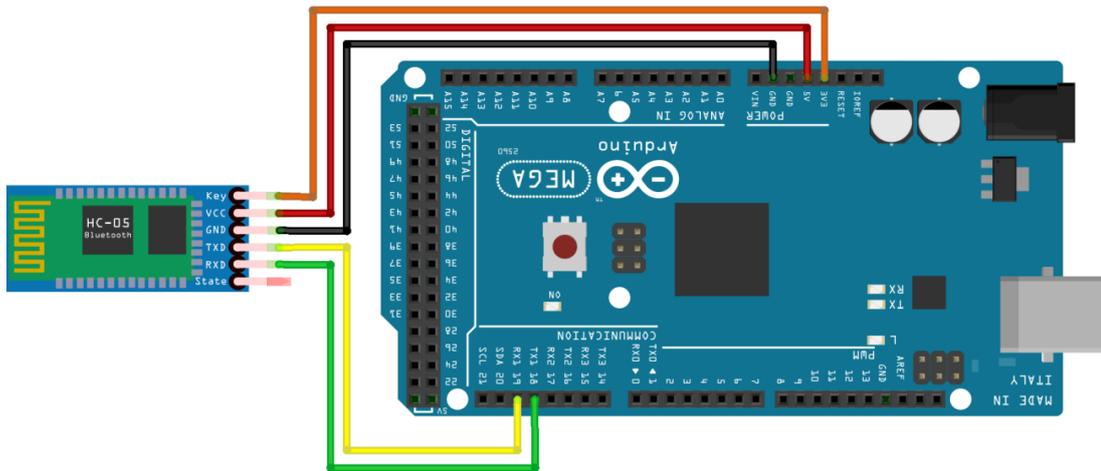


Fuente: Autores

## 4.5 Arduino & Módulo Bluetooth HC-05

Para el control inalámbrico del auto prototipo se seleccionó un control por interfaz bluetooth gobernado por un modulo HC-05 de arduino la siguiente figura describe la conexión básica de éste módulo con un arduino Mega.

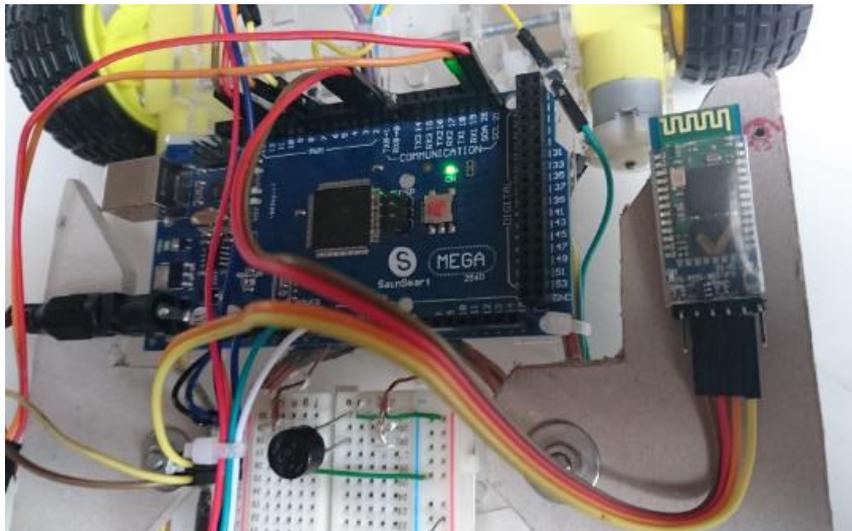
Figura 39. Conexión Arduino Mega y módulo Bluetooth H-05



Fuente: [http://blascarr.com/wp-content/uploads/2015/05/hc-05-Mega\\_bb.png](http://blascarr.com/wp-content/uploads/2015/05/hc-05-Mega_bb.png)

Se obtiene como resultado un control inalámbrico por medio de bluetooth, efectuando comunicación serial entre el modulo que capta instrucciones y las comunica por puerto serial al microcontrolador.

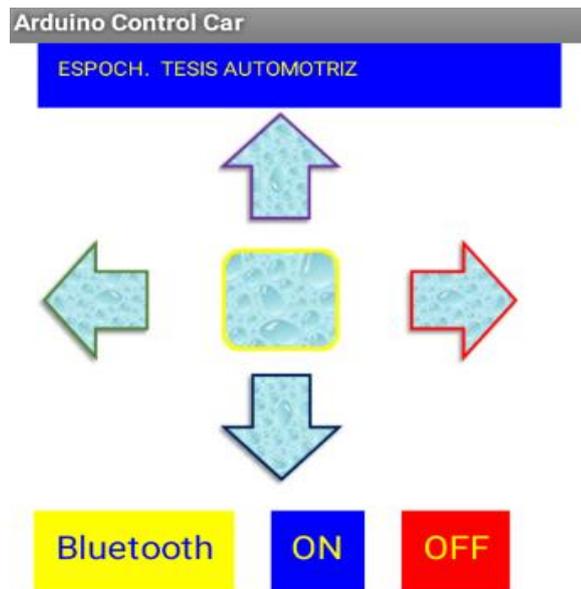
Figura 40. Conexión módulo bluetooth



Fuente: Autores

Para el control del auto prototipo se emplea una interfaz desarrollada en Android para celulares con soporte del mismo sistema operativo; en la figura se puede observar la interfaz que simula una palanca de direcciones en las que permite guiar al auto en sentido hacia adelante, hacia atrás y realizar curvas para alterar su rumbo.

Figura 41. Interfaz de control Android

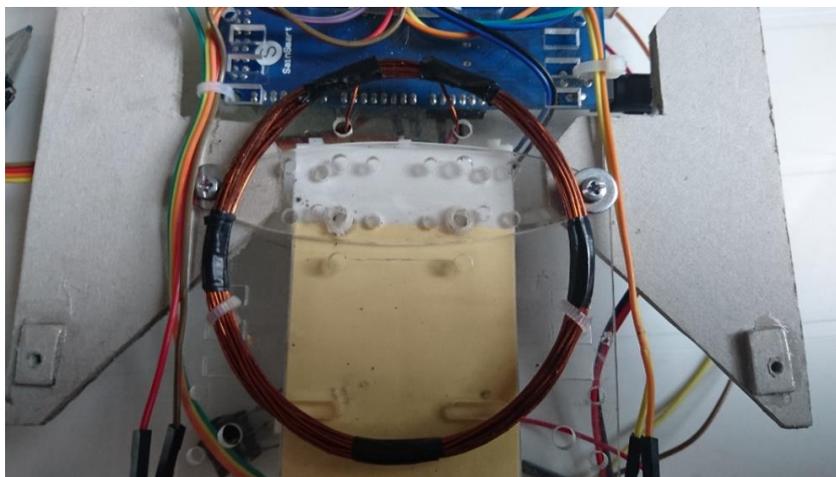


Fuente: Autores

## 4.6 Carga por Inducción

### 4.6.1 Sistema de carga en el Auto Prototipo

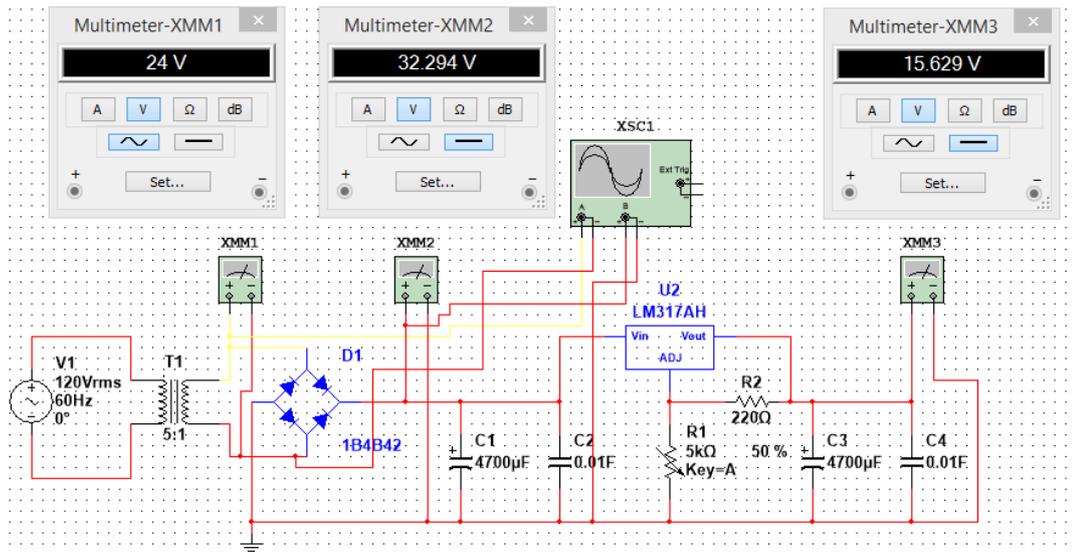
Figura 42. Bobina receptora



Fuente: Autores

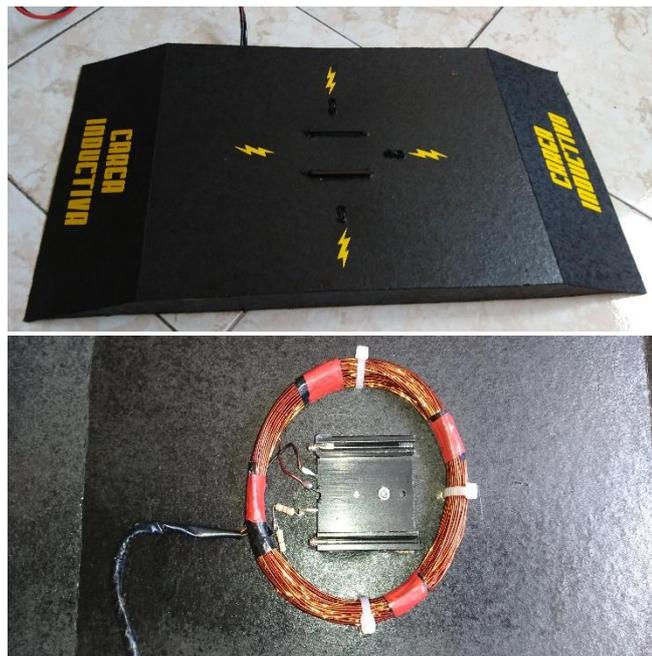
**4.6.2 Estación para carga por inducción.** Se partió del diseño de una fuente de poder regulable como generador de energía para la bobina emisora del campo magnético para inducir carga a la bobina del auto prototipo. La razón para que la fuente sea regulable, es la necesidad de incrementar la energía si la distancia a la que se sitúa la bobina del auto prototipo y compensar el campo para la carga adecuada de la batería del auto.

Figura 43. Diagrama de conexión de la bobina emisora



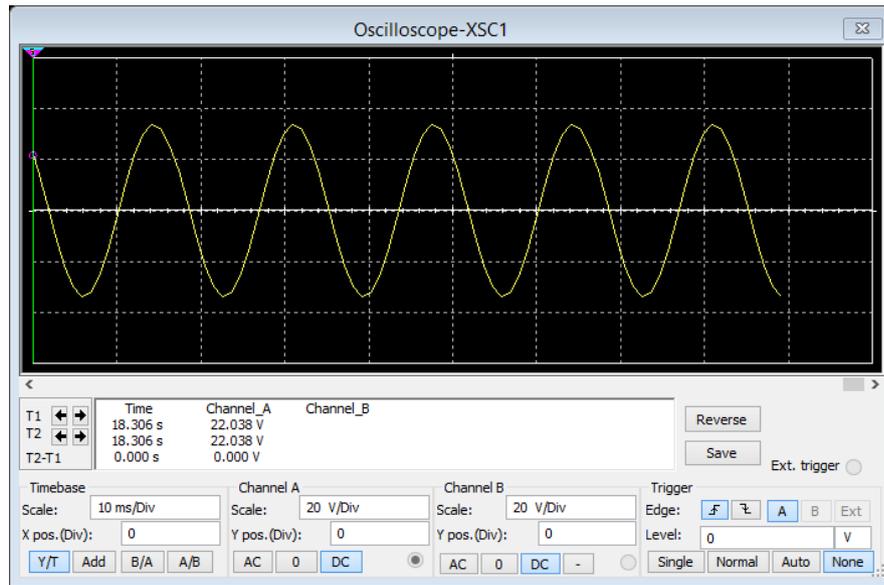
Fuente: Autores

Figura 44. Bobina emisora



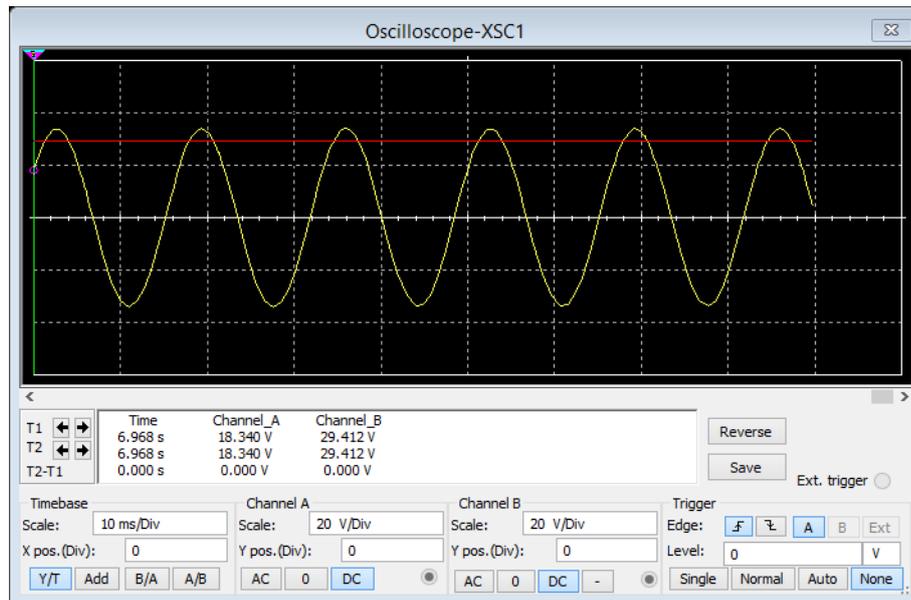
Fuente: Autores

Figura 45. Señal de entrada de la bobina



Fuente: Autores

Figura 46. Señal rectificada de entrada de la bobina



Fuente: Autores

## 4.7 Resultados obtenidos

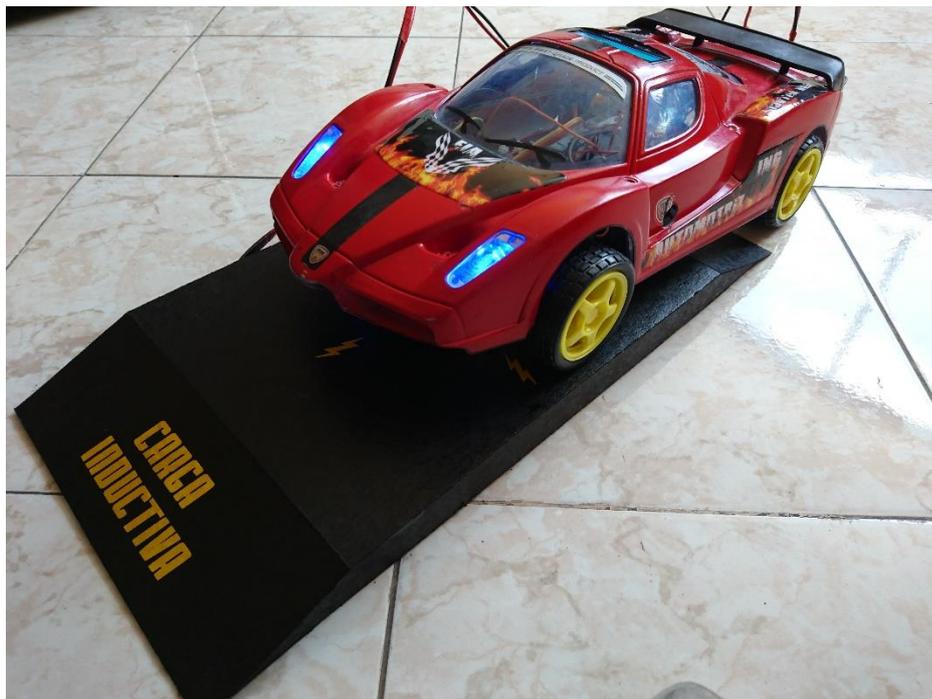
Se logra diseñar un sistema de carga inductiva, para el almacenamiento de energía en una batería Li-Po de 7.4 V y 2000 mAh, la misma que abastece de energía a todo el sistema

del prototipo, principalmente al Arduino Mega que es el encargado de comandar todas las funciones de carga y movimiento.

Posee un LCD el cual muestra la carga de la batería y las RPM del prototipo cuando está en movimiento, al momento que el prototipo esta con la batería descargada se va a posicionar sobre la rampa de carga que poseerá una bobina inductora la cual está conectada a un regulador de voltaje y este a su vez a la red eléctrica disponible.

Al empezar la carga de batería el LCD cambia la información de la pantalla y muestra el porcentaje de carga de la batería, al mismo tiempo se encenderán dos luces led en el interior las cuales muestran según su luminosidad, la intensidad de energía que emite la bobina emisora hacia la bobina receptora que se encuentra en la parte inferior del prototipo.

Figura 47. Prototipo Terminado



Fuente: Autores

## 4.8 Pruebas de Funcionamiento

Tabla 5. Valores bobinas

<b>Valores Bobinas</b>	
N1	50 Vueltas
N2	31 Vueltas
V1	12 Voltios
V2	7.4 Voltios
I1	1 Amperio
I2	1.6 Amperios

Fuente: Autores

Tabla 6. Tiempos de carga

<b>Tiempo de carga con un porcentaje de batería de 20%</b>	
1 hora 50 Minutos	50%
2 horas 33 Minutos	75%
4 horas 53 Minutos	100 %

Fuente: Autores

Tabla 7. Acciones para encendido y carga

<b>Encendido y carga</b>		
Encendido del prototipo	Conexión de lagartos a la alimentación de la batería	Enciende luces del vehículo y lcd
Encendido de Motores	Activación del interruptor ubicado en la parte inferior del prototipo	Enciende luz en los puentes H
Conexión inalámbrica de bluetooth	Conexión de celular mediante aplicación	Titila led del bluetooth
Encendido de bobina emisora	Conexión a fuente regulada en 12 voltios	Fuente encendida
Etapa de carga	Prototipo sobre la rampa de carga	Enciende led de verificación al interior del vehículo y evidencia el proceso en el lcd

Fuente: Autores

## **CAPITULO V**

### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

- Se diseñó y construyó un prototipo de un sistema de carga inductiva con ayuda de software Proteus para la distribución de componentes, el cual se encontrará en el laboratorio de autotrónica de la carrera de ingeniería automotriz para el conocimiento del funcionamiento y tecnología de los vehículos del futuro.
- Se investigó sobre el funcionamiento del sistema de carga de baterías mediante inducción para elegir la batería adecuada, en este caso le utilizó una batería recargable Li-Po de 7.4 V ya que cumple con los requerimientos para la utilización en el sistema de recarga inductiva.
- Se utilizó las leyes del magnetismo para poder llegar al cálculo adecuado de la inducción entre las bobinas emisora y receptora para poder demostrar el funcionamiento óptimo del prototipo al momento de llegar a la estación de carga.
- Se demostró el funcionamiento óptimo del prototipo mediante pruebas realizadas y resultados obtenidos de los cálculos realizados.

#### **5.2 Recomendaciones**

- Considerar este trabajo de titulación para en un futuro llevarlo a una escala real y poder probar su funcionamiento en un vehículo eléctrico.
- Bobinar de manera adecuada las espiras de las bobinas emisora y receptora para tener un funcionamiento adecuado al momento de realizar la recarga de la batería.
- Manipular cada elemento del prototipo con el mayor cuidado ya son componentes frágiles, y la falla de algún componente puede ocasionar mal funcionamiento del sistema.
- Conocer el lenguaje de programación y las aplicaciones del dispositivo Arduino para emplearlo de mejor manera ya que es un elemento base de mand

## BIBLIOGRAFÍA

**BOYLESTAD, Robert L.** *Análisis Introductorio de Circuitos*. 2<sup>da</sup> ed. México: Trillas, 1990, pp. 341-346.

**CANTÚ, Luis L.** *Electricidad y Magnetismo para estudiantes de ciencia e ingeniería*. México: Limusa, 1991, pp. 116-120.

**CUJI CAISAGUANO, Holguer Ramiro, & SÁNCHEZ CHÁVEZ, Lenin Heriberto.** *Diseño y construcción de un modelo de un sistema de recarga inductiva para autos eléctricos* (Tesis). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Mecánica, Ingeniería Automotriz. Ecuador (Riobamba). 2015. pp.02-03

**ECOINVENTOS.** *Carga inductiva para vehículos eléctricos* [En línea]. España: 26 de Marzo de 2015. [Consulta: 12 de mayo de 2016.] Disponible en: <http://ecoinventos.com/unplugged-carga-inductiva-para-vehiculos-electricos/>.

**ELECTROTECNIA.** *Magnetismo y Electromagnetismo* [En línea]. 28 de julio de 2010. [Consulta: 12 de junio de 2016]. Disponible en: [http://iesbernatguinovart.com/04a\\_matematicas/carpeta\\_arxiu/TEMA%208%20MAGNETISMO%20Y%20ELECTROMAGNETISMO.pdf](http://iesbernatguinovart.com/04a_matematicas/carpeta_arxiu/TEMA%208%20MAGNETISMO%20Y%20ELECTROMAGNETISMO.pdf).

**FÍSICA PRÁCTICA.** *Física Práctica* [En línea]. 01 de mayo de 2007. [Consulta: 28 de mayo de 2016]. Disponible en: <http://www.fisicapractica.com/campo-magnetico.php>.

**GRUPOS GIIE.** *Inducción mutua* [En línea]. 12 de julio de 2010. [Consulta: 06 de mayo de 2016.]. Disponible en : [http://www.uco.es/grupos/giie/cirweb/teoria/tema\\_11/tema\\_11\\_21.pdf](http://www.uco.es/grupos/giie/cirweb/teoria/tema_11/tema_11_21.pdf).

**TURBO HOBBY.** *Baterías de LIPO* [blog]. España: 26 de mayo de 2013. [Consulta: 08 de octubre de 2016]. Disponible en: <http://blogturbohobby.blogspot.com/2013/05/bateriaslipo.html>.

**ALONSO Marcelo, FINN Edward J.** *Electromagnetismo* [En línea]. 2008. [Consulta: 13 de junio de 2013]. Disponible en: <http://genesis.uag.mx/edmedia/material/fisicaII/electromagnetismo.cfm>.

**MONK, Simon.** *30 Arduino Projects for the Evil Genius*. New York - EEUU: Mc Graw Hill, 2012, pp120-122

**Nelson.** *Innovación 3000* [En línea]. 12 de julio de 2011. [Consulta: 24 de septiembre de 2016]. Disponible en: <https://nelsonacevedo72.wordpress.com/2011/07/12/como-funcionan-las-baterias-de-litio/>.

**RODRÍGUEZ SOLER, Paloma & CHACÓN GUADALIX, Joaquin.** *Guía del vehículo eléctrico II.* [En línea]. Febrero de 2015. [Consulta: 12 de junio de 2016]. Disponible en: <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Guia-del-Vehiculo-Electrico-II-fenercom-2015.pdf>.

**SABIKA, Grupo.** *Informe Ejercicios de Arduino Resuletos .* Madrid: Grupo Sabika, 2010.

**SANTAMARTA, José.** "Baterías recargables para vehiculos elevctricos". *Revista eólica y del vehículo eléctrico* [En línea], 2009, (California). [Consulta: 21 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.evwind.com/2009/12/04/baterias-recargables-para-vehiculos-electricos-por-jose-santamarta/>.

**SCHINDALL , Joel E. & KASSAKIAN, John G.** *Ingeniería* [En línea]. 10 de Febrero de 2011. [Consulta: 15 de mayo de 2016]. Disponible en: <http://www.solociencia.com/ingenieria/06031004.htm>.

**SERRANO DOMÍNGUEZ, Víctor; et al.** *Electricidad y Magnetismo.* México: Limusa, 1991. pp. 325-358

**UCA, Universidad.** *informe comenzando con arduino* [En línea]. 01 de ENERO de 2010. [Consulta: 13 de mayo de 2016.]. Disponible en: [http://www.uca.es/recursos/doc/Unidades/Unidad\\_Innovacion/Innovacion\\_Docente/AN\\_EXOS\\_2011\\_2012/22232441\\_310201212102.pdf](http://www.uca.es/recursos/doc/Unidades/Unidad_Innovacion/Innovacion_Docente/AN_EXOS_2011_2012/22232441_310201212102.pdf).

**ÚCAR, Iñaki.** *Grandes descubrimientos electromagneticos* [blog]. 03 de abril de 2008. [Consulta: 01 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.enchufa2.es/archives/grandes-descubrimientos-la-induccion-electromagnetica.html>.

**UNESA.** *Transporte y almacenamiento de electricidad* [En línea], 23 de 10 de 2015. [Consulta: 05 de junio de 2016]. Disponible en: [www.unesa.net/unesa/html/sabereinvestigar/largoviaje/transportealmacenar.htm](http://www.unesa.net/unesa/html/sabereinvestigar/largoviaje/transportealmacenar.htm).