

Construcción de un Banco Didáctico de Frenos Regenerativos

David Eduardo Villacrés Rosero

Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Internacional SEK, Quito

Nota de Autor

David E. Villacrés Rosero, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Internacional SEK, Quito

Director Ing. Juan Carlos Rocha M.Sc

Cualquier correspondencia concierne a este trabajo se puede dirigir a:

davicho1213@hotmail.com; dvillacres.mec@uisek.edu.ec

### Tabla de contenido

Resumen .....	8
Abstract.....	9
Introducción.....	10
Objetivos:.....	10
Objetivo general. ....	10
Objetivos Específicos. ....	10
Justificación .....	11
Antecedentes:.....	12
Estado del Arte .....	13
Vehículos Eléctricos .....	13
Vehículos Híbridos. ....	15
Clasificación de los Vehículos Híbridos. ....	16
Tipos de Vehículos Híbridos .....	18
Freno Regenerativo.....	20
Ventajas. ....	21
Consideraciones para Uso del Freno Regenerativo. ....	21
Acumuladores o Baterías:.....	26
Tipos de Baterías para Vehículos Eléctricos e híbridos .....	27
Método.....	28

# CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDÁCTICO DE FRENOS REGENERATIVOS

Circuito de Control .....	28
Ventajas .....	29
Algoritmo de Control.....	30
Circuito de Potencia: Chopper de Cuatro Cuadrantes o Puente H .....	31
Circuito en Modo de Generación.....	36
Experimento.....	38
Materiales: .....	38
Procedimiento:.....	39
Datos Obtenidos .....	39
Guías de Laboratorio .....	41
Resultados.....	42
Resultados en el Circuito de Potencia en Avance .....	44
Resultados en el Circuito de Potencia en Retroceso.....	46
Resultados del Circuito en Modo de Generación .....	48
Discusión .....	50
Conclusión .....	52
Recomendaciones .....	53
Bibliografía.....	54
Anexos .....	57
Anexo A Programación de Control .....	57

## CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDÁCTICO DE FRENOS REGENERATIVOS

Anexo B Esquema de Conexión de Baquelita.....	59
Anexo C Diseño de Conexión de Baquelita .....	60
Anexo D.....	61
Guía de Laboratorio 1: Circuito de Potencia en Avance .....	61
Anexo E .....	65
Guía de Laboratorio 2: Circuito de Potencia en Retroceso .....	65
Anexo F .....	69
Guía de Laboratorio 3: Circuito en Freno Regenerativo .....	69
Anexo G.....	72
Guía de Laboratorio 3: Circuito en Freno Regenerativo .....	72

### Índice de Figuras

Figura 1. Coche eléctrico y Thomas Edison, tomado de: (Molero & Pozo, 2013) .....	12
Figura 2. Esquema de vehículo eléctrico de batería, tomado de: (Molero & Pozo, 2013)...	14
Figura 3. Análisis de la eficacia del vehículo de gasolina con respecto al eléctrico, tomado de: (Molero & Pozo, 2013).....	15
Figura 4. Esquema de híbrido enchufable, tomado de: (Molero & Pozo, 2013).....	17
Figura 5. Esquema vehículo híbrido, tomado de: (Molero & Pozo, 2013) .....	18
Figura 6. Esquema híbrido en paralelo, tomado de: (Ávila, 2014) .....	19
Figura 7. Esquema híbrido en serie, tomado de: (Ávila, 2014).....	19
Figura 8. Configuración del sistema híbrido Toyota, tomado de (Chan, 2007) .....	23
Figura 9. Circuito chopper de cuatro cuadrantes, tomado de: (Mora, 2008).....	25
Figura 10. Batería híbrida de alto voltaje de Toyota Prius, tomado de: (Tena, 2015) .....	26
Figura 11. Diagrama general del banco didáctico .....	28
Figura 12. Arduino Uno.....	29
Figura 13. Diagrama de flujo de la programación de Control del Circuito.....	31
Figura 14. Esquema de funcionamiento de transistores .....	32
Figura 15 Simulación del circuito de potencia de 4 cuadrantes o Puente H .....	33
Figura 16. Conexión puente H con relé.....	34
Figura 17. Circuito en modo generador.....	37
Figura 18. Expectativa de generación de energía eléctrica por motor 1.....	41
Figura 19. Simulación completa del circuito.....	43
Figura 20. Circuito final .....	43
Figura 21. Estado inicial de la fuente de alimentación.....	44
Figura 22. Medición de circuito de potencia en avance .....	44

## CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDÁCTICO DE FRENOS REGENERATIVOS

Figura 23. Resultado de consumo del motor 1 en sentido anti-horario.....	45
Figura 24. Medición del circuito de potencia en retroceso.....	46
Figura 25. Resultado experimento motor 1 en sentido horario .....	47
Figura 26. Resultados del experimento en motor 2 .....	47
Figura 27. Resultados de Mediciones de Circuito en Modo de Generación .....	48
Figura 28. Circuito de Puente H o Chopper de 4 Cuadrantes.....	61
Figura 29. Puente H en modo de Avance .....	62
Figura 30. Circuito de Puente H o Chopper de 4 Cuadrantes.....	65

### Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 Ley de Ohm .....	34
Ecuación 2 Cálculo de las Resistencias .....	35
Ecuación 3. Cálculo de Corriente de Transistores.....	35
Ecuación 4. Análisis de Caídas de Voltaje .....	35
Ecuación 5. Cálculo de Potencia .....	36

### Índice de Tablas

Tabla 1.....	31
Tabla 2.....	39
Tabla 3.....	40
Tabla 4.....	40
Tabla 5.....	41
Tabla 6.....	42
Tabla 7.....	45
Tabla 8.....	46

## CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDÁCTICO DE FRENOS REGENERATIVOS

Tabla 9.....	49
Tabla 10.....	49
Tabla 11.....	49
Tabla 12.....	49

### **Resumen**

En el presente trabajo de titulación se presenta la construcción de un banco didáctico sobre el funcionamiento de frenos regenerativos para el beneficio de los estudiantes y catedráticos de la Universidad Internacional SEK, en el campo automotriz, contribuyendo información específica sobre dicha investigación y presentando un prototipo de frenos regenerativos.

En la actualidad la tecnología vehicular ha evolucionado de una manera vertiginosa, con una tendencia de incremento de vehículos eléctricos, este proyecto de investigación se enfoca en como reutilizar la energía cinética de un vehículo eléctrico convirtiéndola en energía eléctrica mediante la desaceleración del mismo para recargar las baterías o para el uso de dispositivos eléctricos contenidos en el automóvil.

Los temas e investigativos competentes a este estudio son, vehículos eléctricos e híbridos, freno regenerativo y su uso en la actualidad, baterías y la construcción de un banco didáctico sobre la regeneración de energía que tienen los automóviles eléctricos; permitiendo mayor conocimiento de esta funcionalidad que presentan este tipo de vehículos.



### **Abstract**

This work of academic qualification presents a didactic Bank on the operation of regenerative brakes for the benefit of the students and professors of the Universidad Internacional SEK, in the automotive field, contributing specific information about the investigation and presenting a prototype of regenerative brakes.

As currently the vehicular technology has evolved in a vertiginous way, with a trend of increase in electric vehicles, this research project focuses on how reuse of an electric vehicle kinetic energy into electrical energy through the deceleration to recharge the batteries or for the use of electrical devices contents in the car.

The relevant themes e investigative to this study are, electric and hybrid vehicles, regenerative brake and its use currently, batteries and the construction of a learning Bank on the regeneration of energy that have electric cars; allowing greater understanding of this feature presenting such vehicles.

## **Introducción**

### **Objetivos:**

#### **Objetivo general.**

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo desarrollar un modelo de freno regenerativo creando y ampliando información detallada mediante la construcción de un banco didáctico describiendo sus características con el fin de un entendimiento práctico para futuras generaciones en ingeniería automotriz.

El propósito de la construcción del freno regenerativo es que los estudiantes de la materia de Autotrónica conozcan acerca de este tema innovador que tienen los vehículos eléctrico e híbridos y como la tecnología automotriz avanza, en la búsqueda de la reutilización y aprovechamiento de energías teniendo como resultado conseguir reducir la contaminación en el ambiente producida por el vehículo.

#### **Objetivos Específicos.**

1. Detallar información concisa sobre los frenos regenerativos para un mejor entendimiento en los estudiantes.
2. Simular la generación de energía eléctrica que tienen los automóviles eléctricos mediante su motor eléctrico.
3. Construir un Banco didáctico sobre el tema con el fin de demostrar físicamente el funcionamiento del sistema.
4. Diseñar un sistema de frenos regenerativos a través de una lógica de trabajo que permita la simulación de un freno regenerativo.

**Justificación**

En la actualidad los diversos medios electrónicos han permitido varias ventajas sobre la tecnología anterior, es decir que se ha reemplazado o se trata de reemplazar algunas métodos tradicionales como son una demostración los vehículos híbridos que han permitido combinar la electrónica mediante un motor y generador eléctrico con un motor de combustión interna obteniendo un automóvil más amigable para el medio ambiente.

Esta combinación ha permitido que se realicen varios estudios sobre el mejoramiento del vehículo híbrido como es el tema de frenos regenerativos para obtener mejor eficiencia y duración de las baterías con un objetivo claro de no ocasionar ninguna contaminación.

El propósito de la Universidad Internacional Sek en la Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz es permitir a sus estudiantes poder desarrollar criterios ingenieriles acerca de la evolución y cambios tecnológicos que sufren continuamente los vehículos. Por esa razón, la Universidad Internacional SEK ha propuesto desarrollar esta investigación innovadora para mejorar el conocimiento teórico y práctico en la materia de Autotrónica a sus estudiantes sobre el funcionamiento de un freno regenerativo.

Mediante la demostración física del proyecto se podrá obtener una visualización del funcionamiento del sistema eléctrico de frenos regenerativos para una mayor comprensión de la teoría – práctica

## CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDÁCTICO DE FRENOS REGENERATIVOS

La importancia de los frenos regenerativos en vehículos híbridos es optimizar y aprovechar el consumo de energía en el momento de frenado, generando energía eléctrica y así no desaprovechar la energía de inercia.

### **Antecedentes:**

Entre los años 1832 y 1839 se realizó un hecho importante realizado por Robert Anderson que inventó el primer automóvil eléctrico rudimentario mediante pila de energía no recargable. En 1880 se desarrollaron las baterías recargables, permitiendo el avance en construcción de los vehículos eléctricos (figura 1). Mediante mejoramientos en acumuladores el número de vehículos eléctricos incremento en países como Francia y Gran Bretaña, importando esta tecnología a Estados Unidos (Molero & Pozo, 2013)



**Figura 1.** Coche eléctrico y Thomas Edison, tomado de: (Molero & Pozo, 2013)

Con la invención del automóvil a gasolina el vehículo eléctrico tuvo mucha competitividad, terminando está en la Primera Guerra Mundial donde se necesitaba, velocidad, durabilidad y potencia. Otro contribuyente para la desaparición del vehículo eléctrico fue la distribución de petróleo a grandes masas. (Molero & Pozo, 2013).

## CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDÁCTICO DE FRENOS REGENERATIVOS

En el año 1967 American Motors Corporation (AMC) y Gulton Industries presentan un prototipo de vehículo eléctrico conocido como “Amitron”. Este tipo de automóvil funcionaba mediante baterías por lo cual se incorporó por primera vez la tecnología de frenos regenerativos. (MACÍAS, 2014)

El Kinetic Energy Recovery System (KERS) o frenos regenerativo se presenta en el año 2009 en la competición de automóviles de carreras conocida como la Formula 1 por la marca automotriz BMW. A continuación utilizó esta tecnología la marca Ferrari en su modelo F60, seguido por la escudería Renault. (MACÍAS, 2014)

### **Estado del Arte**

#### **Vehículos Eléctricos**

La alternativa del futuro para la automoción en transporte urbano es el automóvil eléctrico ya que tiene como consecuencia fundamental la disminución de contaminación medio ambiental. La definición del vehículo se puede constatar como un automóvil, que, mediante la electricidad proporcionada de las baterías, consigue la totalidad de su energía de propulsión. (Molero & Pozo, 2013)

El vehículo eléctrico consta principalmente de un motor eléctrico recibiendo un aporte de electricidad de las baterías, a su vez existen vehículos eléctricos que obtienen energía eléctrica mediante el uso de placas fotovoltaicas que se alimentan de la energía solar, siendo un método no contaminante de producción eléctrica. (Molero & Pozo, 2013)

Para obtener una vida larga de trabajo de las baterías, los vehículos eléctricos necesitan ser conectados a un suministro de energía eléctrica, pero la conexión masiva a la red eléctrica podría generar una demanda significativa sobre el sistema. (Molero & Pozo, 2013)

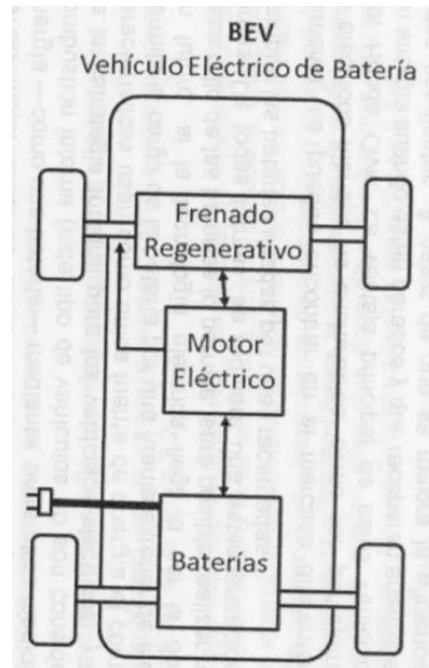
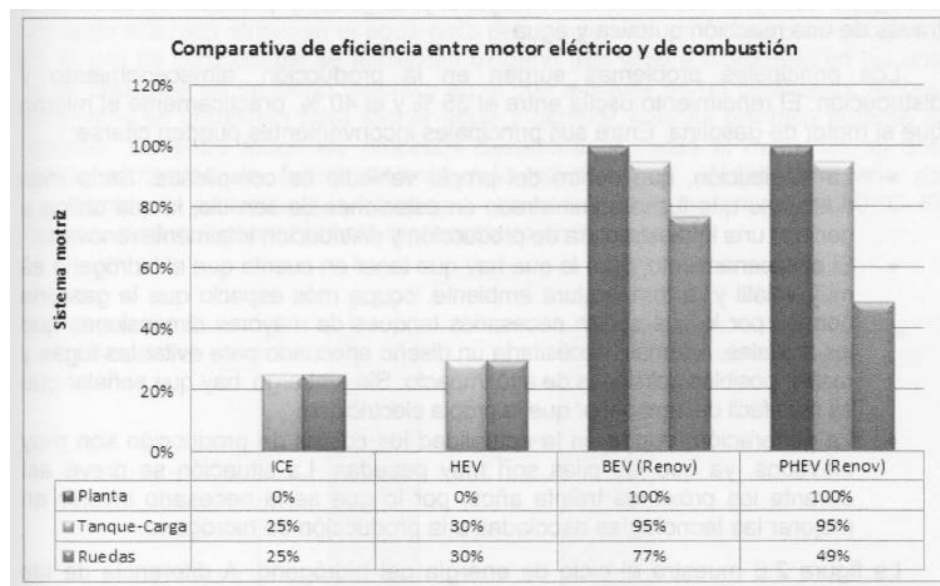


Figura 2. Esquema de vehículo eléctrico de batería, tomado de: (Molero & Pozo, 2013)

Como parámetros a analizar en los vehículos eléctricos es importante recalcar la capacidad de las baterías y el consumo por kilómetro recorrido. La determinación de la eficiencia de un vehículo eléctrico influye considerablemente ya que obtienen datos superiores al 50% e incluso si tienen fuentes renovables alcanzan el 100%, comparándolo con el vehículo convencional a gasolina que su eficiencia global es del 25% desaprovechándose el 75% de la energía por varios factores.

En la figura 3 se observa una comparación de eficiencia entre un motor eléctrico y de combustión



**Figura 3. Análisis de la eficacia del vehículo de gasolina con respecto al eléctrico, tomado de: (Molero & Pozo, 2013)**

### **Vehículos Híbridos.**

En la actualidad la demanda social de disminuir la emisión de gases que producen una contaminación ambiental ha provocado que se realicen estudios e innovaciones en los vehículos.

“La electrónica se ha convertido en una aplicación estándar de control en todos los vehículos con un propósito de mejorar varios sistemas e incluso la optimización de contaminación de un automóvil.” (Ribbens, 2008)

Los vehículos que obtienen una combinación entre un motor de combustión interna y un motor eléctrico se los conocen como vehículos híbridos y pueden ser operados ya sea solo con propulsión exclusivamente eléctrica o una combinación entre el motor a gasolina para impulsar a un generador y suministrar la energía eléctrica al vehículo. (Ribbens, 2008)

“Una de las grandes novedades que ha aportado el vehículo híbrido es sobre la capacidad de recuperar parte de la energía cinética que posee el vehículo, mediante un motor eléctrico que actúa como un generador.” (Dominguez & Ferrer)

### **Clasificación de los Vehículos Híbridos.**

Los vehículos híbridos como se ha mencionado son aquellos que constan de un motor eléctrico y un motor de combustión interna, por lo que en la actualidad se pueden encontrar dos clasificaciones de vehículos híbridos los cuales definiremos a continuación:

**Vehículo híbrido enchufable:** Coexisten dos fuentes exteriores de energías: la gasolina para el motor de combustión interna y la electricidad para impulsar al motor eléctrico mediante la red permitiendo la recarga de las baterías. (Molero & Pozo, 2013)

Este tipo de vehículo consta con un dispositivo que permite la conexión a la red eléctrica para cargar a la batería, funcionando toda su tracción con el motor eléctrico y manteniendo al pequeño motor de combustión interna como un generador de electricidad. (Molero & Pozo, 2013)

La desventaja que presentan estos vehículos se debe que en la actualidad la autonomía de las baterías todavía no permiten recorrer largas distancias sin la recarga de las mismas. (Molero & Pozo, 2013)

En la figura 4 se muestra el esquema de un vehículo híbrido enchufable:



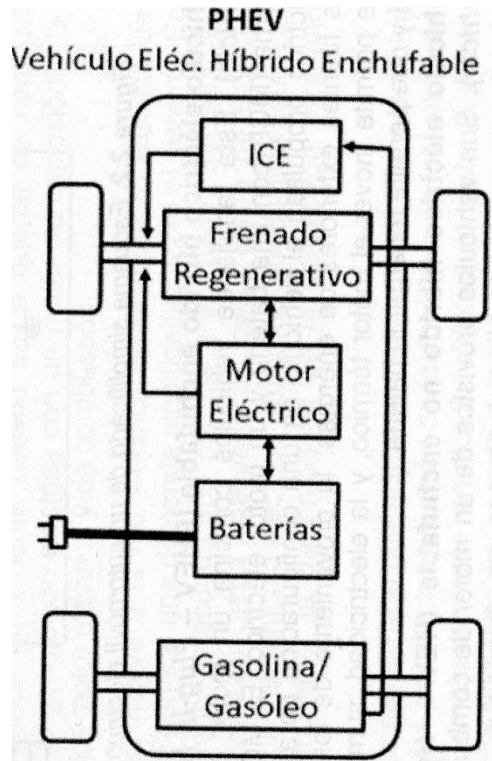


Figura 4. Esquema de híbrido enchufable, tomado de: (Molero & Pozo, 2013)

**Vehículos Híbridos no enchufable:** Los vehículos híbridos no son considerados totalmente vehículos eléctricos, ya que por sus características usan como única fuente de energía el combustible y no permite la carga de la batería por una fuente exterior de electricidad, es decir una red eléctrica que se conecte al vehículo. (Molero & Pozo, 2013).

Su ventaja principal de este tipo de vehículo es que no consumen energía cuando están parados y también recuperan energía mediante las frenadas o en fuertes pendientes (Molero & Pozo, 2013)

En la figura 5 se observa el esquema de un híbrido no enchufable

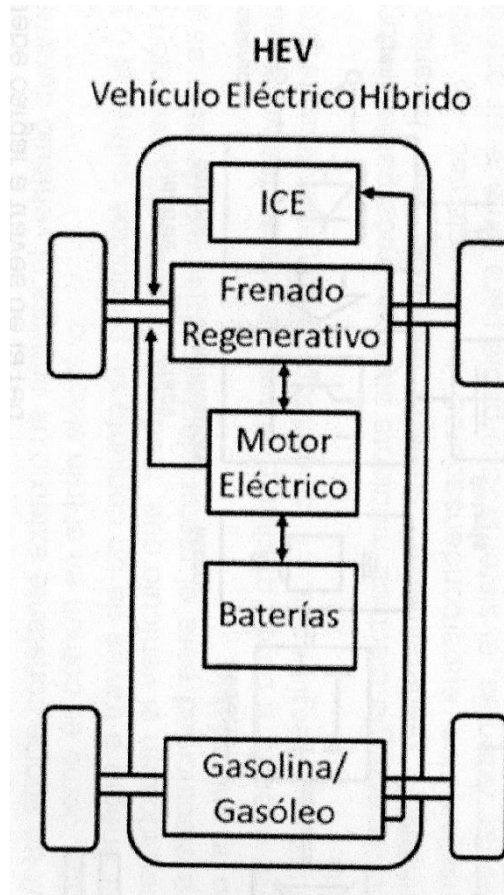


Figura 5. Esquema vehículo híbrido, tomado de: (Molero & Pozo, 2013)

### Tipos de Vehículos Híbridos

**Híbridos Paralelo:** Este tipo de híbridos fueron los primeros en aparecer en el mercado. Utilizan la tracción eléctrica con el propósito de mejorar la eficiencia energética del motor a gasolina, mediante el control del régimen de giro. La tracción eléctrica se usa para el inicio del movimiento y el almacenamiento de energía al momento de frenar, esto se lo consigue mediante los variadores electrónicos permitiendo el funcionamiento del motor eléctrico en cualquier régimen. (Molero & Pozo, 2013)

En la figura 6 se encuentra el esquema de un híbrido en paralelo

## CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDÁCTICO DE FRENOS REGENERATIVOS

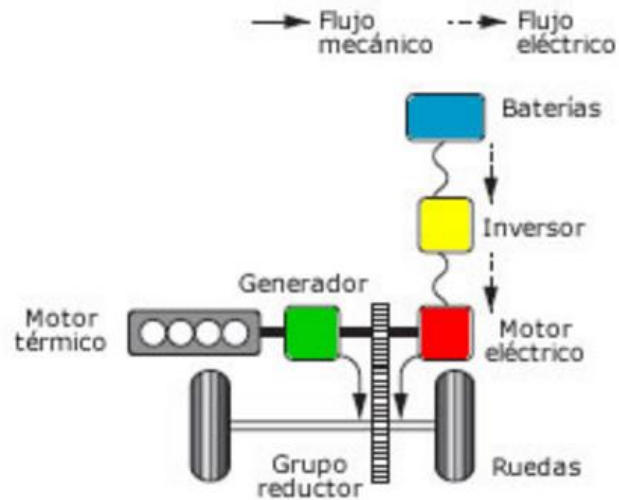


Figura 6. Esquema híbrido en paralelo, tomado de: (Ávila, 2014)

**Híbridos en Serie:** Se caracterizan por tener al motor de combustión interna para cargar las baterías. El responsable de realizar toda la propulsión del vehículo es el motor eléctrico. Un inconveniente que tiene este sistema es que su batería no tiene suficiente capacidad. (Molero & Pozo, 2013)

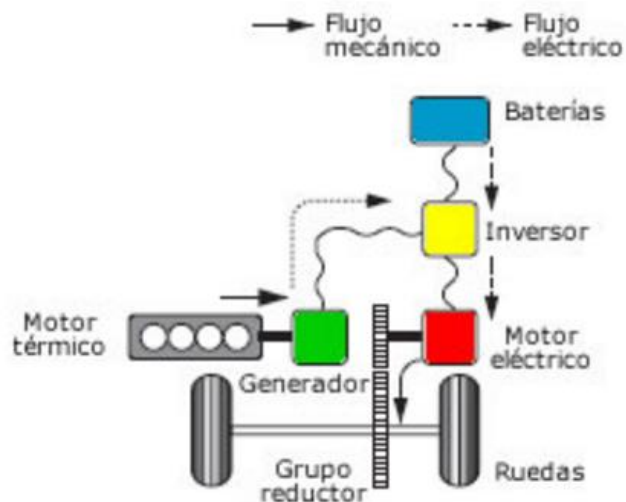


Figura 7. Esquema híbrido en serie, tomado de: (Ávila, 2014)

**Freno Regenerativo**

Este innovador sistema proviene del principio básico de conservación de la energía que dice: “La energía no se crea ni se destruye solo se transforma”; ya que el principio de este sistema es la disminución de la energía cinética y por tanto de la velocidad. (MACÍAS, 2014)

El término freno regenerativo se refiere a poder reducir la velocidad del vehículo, convirtiendo la energía mecánica que se obtiene del movimiento en energía eléctrica almacenándola en una batería. (Abad, 2014)

Este sistema incorporado en los vehículos eléctricos, actualmente en los híbridos funciona mediante el motor eléctrico de tracción el cual es arrastrado funcionando como generador mientras se desacelera o frena el vehículo acumulando energía en la batería. Para detener el vehículo se usa la resistencia de giro que tiene el motor durante la generación de electricidad. (Abad, 2014)

Para que se genere la acción de freno regenerativo es necesario un factor importante que se produce cuando la velocidad del motor eléctrico es mayor a la síncrona, en ese momento es donde funciona como generador produciendo una acción de frenado hasta tener una velocidad normal del motor. Cabe mencionar que no presentas ningún desgaste de potencia. (Galarza & Quisaguano, 2009)

En el freno regenerativo no se sustituyen los frenos convencionales como son los frenos de disco o de tambor, en la realidad se aplican conjuntamente por las siguientes razones:

1. El frenado regenerativo reduce de manera efectiva la velocidad.

2. La cantidad de regeneración de energía se encuentra limitada por la capacidad de almacenamiento del sistema y de las baterías. (MACÍAS, 2014).

### **Ventajas.**

- ✓ Este sistema colabora con la disminución de consumo de combustible o de electricidad representando un ahorro de recursos.
- ✓ Contribuye a incrementar el rendimiento del sistema mediante el almacenamiento de energía eléctrica en la batería sin pérdidas de potencia. (Avila & Cuásquer, 2016).

### **Consideraciones para Uso del Freno Regenerativo.**

- ✓ Con un control de tracción se debe limitar la regeneración si las ruedas traseras comienzan a deslizar ya que puede ocasionar alguna inestabilidad el torque de frenado.
- ✓ Limitar la regeneración de energía en el momento en que las baterías se encuentren completamente cargadas. Con el propósito de evitar sobrecargas.
- ✓ En momentos de realizar frenos de emergencia el sistema de regeneración no podrá absorber toda esa energía por lo que se recomienda incluir un freno dinámico. (Dávalos & Romero, 2013)

Debido a la escasez de recursos no renovables, junto con preocupaciones sobre temas ambientales, tecnologías híbridas y combustibles alternativos están siendo cada vez más investigados y utilizados, los automóviles están obligados a ser menos contaminantes y más eficientes. Por esta razón la importancia de tener un aprovechamiento de energía al momento de frenar ha provocado que se desarrollen a cabo varias investigaciones de

## CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDÁCTICO DE FRENOS REGENERATIVOS

mejorar la eficacia de regeneración, donde se analizan el diseño del sistema, el control del freno, y la evaluación de la eficacia de energía. (Qiu & Wang, 2016)

Si la regeneración y el frenado convencional por fricción son bien coordinados, se tiene como resultado una alta regeneración, eficiencia y buena sensación de frenado son alcanzadas. Haciendo un equilibrio entre rendimiento y coste, el sistema de frenos regenerativos se podría convertir en estándar para todo tipo de vehículos eléctricos. (Qiu & Wang, 2016).

La eficiencia de frenos regenerativos se considera debido a la coordinación entre los frenos de fricción y la conversión del motor a generador en el momento de intentar tener una desaceleración y la transferencia de energía que se obtiene en situaciones de frenado. La velocidad es un factor considerable en la regeneración de energía. En una velocidad mínima es casi nula la regeneración de energía. (Qiu & Wang, 2016)

Un ejemplo de la coordinación entre el motor eléctrico y los componentes de tracción de un vehículo eléctrico híbrido es el de la empresa automotriz Toyota que sacó a la venta su modelo de vehículo eléctrico híbrido (HEV) Toyota Prius en Japón en 1997 y alrededor del mundo en 2001. En los años comprendidos entre 2000 y 2003 el modelo Prius fue certificado como un vehículo de súper ultra baja emisiones (SULEV), por el California Air Resources Board (CARB). En el año 2004 con su modelo hatchback se ganó el certificado como una tecnología avanzada de cero emisiones parciales (AT-PZEV). Otros vehículos híbridos diseñados y fabricados por la marca Toyota son el Camry, Corolla y Highlander. (Chan, 2007)

## CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDÁCTICO DE FRENOS REGENERATIVOS

El modelo Toyota Prius, utiliza un engranaje planetario que le sirve como una división de poder. Comprende de dos motores eléctricos de imanes permanentes utilizando uno de ellos como motor y al segundo como generador. La batería que utiliza es de níquel - hidruro metálico de 21kW. (Chan, 2007)

La carga de la batería viene principalmente del generador durante la marcha por inercia del vehículo y también por el motor eléctrico de propulsión en el frenado regenerativo. Toyota adopto el mismo concepto para los demás modelos híbridos con la diferencia que para el modelo Highlander incorporó un tercer motor eléctrico conectado a la rueda trasera. (Chan, 2007)

En la figura 8 se expone la configuración del Toyota Prius

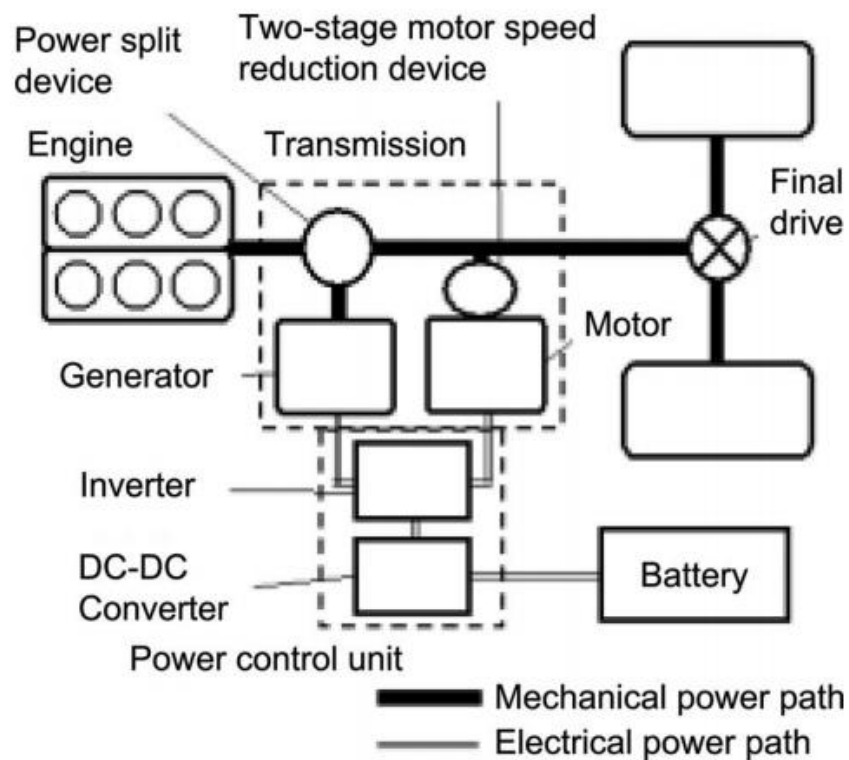


Figura 8. Configuración del sistema híbrido Toyota, tomado de (Chan, 2007)

## CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDÁCTICO DE FRENOS REGENERATIVOS

El motor a combustión interna, el motor eléctrico y el generador están conectados a través del dispositivo de división de poder para conducir el vehículo y no tener una mayor descarga en la batería y pérdida de potencia, debido al aumento de velocidad. Estos componentes interactúan entre sí, mediante los engranajes planetarios que activan, al motor de combustión interna, al generador para cargar la batería y al motor eléctrico. (Chan, 2007)

Para conocer el momento indicado para activar o desactivar cada componente del vehículo con el divisor de potencia (engranajes planetarios) el Toyota Prius mantiene un control electrónico que permite los diferentes estados, sea el de activación del motor de combustión interna o la de funcionamiento solo del motor eléctrico con freno regenerativo. (Emadi, 2008)

Los motores eléctricos que pueden ser usados para vehículos eléctricos e híbridos son: motor de imanes permanente síncrono o motor brushless, motor de inducción y motores de reluctancia. Los requisitos que debe cumplir la tecnología de un motor eléctrico para este tipo de vehículos es tener un alto esfuerzo de torsión, un par constante, operaciones de alimentación, en un amplio rango de velocidad mantener una alta eficacia. (Chan, 2007)

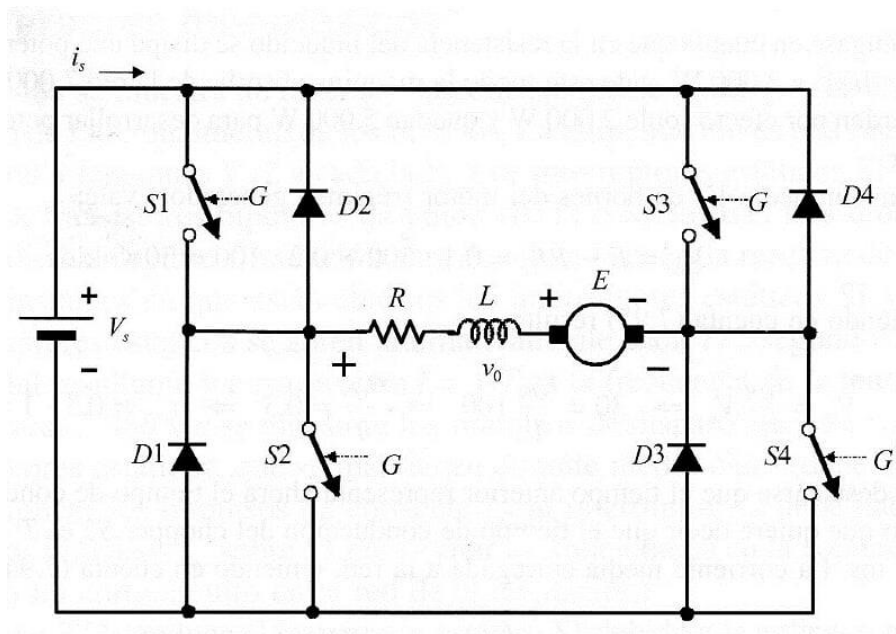
El avance del estudio de la electrónica de potencia ha permitido desarrollar este sistema, mediante convertidores y controladores para motores eléctricos los cuáles detallaremos a continuación para conocer su funcionamiento y como permiten tener el freno regenerativo.



## CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDÁCTICO DE FRENOS REGENERATIVOS

Para mantener un control sobre el cuadrante de funcionamiento del motor de corriente continua y obtener un frenado regenerativo se utiliza un Chopper de cuatro cuadrantes, ya que se necesita producir tensiones en ambos sentidos. Por ejemplo se puede decir que para una aceleración se necesita una corriente positiva y para el frenado una corriente negativa. (Mora, 2008)

En la siguiente figura 9 se muestra un esquema del circuito de un Chopper de cuatro cuadrantes:



**Figura 9.** Circuito chopper de cuatro cuadrantes, tomado de: (Mora, 2008)

Su funcionamiento se basa en el modo de control y direccionamiento de sentido al eje del motor de corriente continua en el sentido deseado, para eso la explicación de la figura 9 se entiende que la combinación de S1, D1, S4 y D4 su funcionamiento es de tener una dirección horaria (cuadrante 1), mientras que la combinación de S3, D3, S2 y D2

## CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDÁCTICO DE FRENOS REGENERATIVOS

proporciona una giro anti-horario en el eje del motor (cuadrante 3). Los cuadrantes 2 y 4 son para hacer referencia al frenado regenerativo. (Mora, 2008)

### Acumuladores o Baterías:

Las baterías o acumuladores son fuentes de energía que bien pueden funcionar suministrando energía eléctrica o acumulando energía eléctrica. Cuando se alimenta de corriente continua (proceso de carga) transforma en energía eléctrica en energía química. En el proceso de descarga se toma la corriente eléctrica del acumulador, es decir se transforma la energía química acumulada en energía eléctrica. (H. Gerschler, 1985)

El uso de las baterías en vehículos de transporte por combustión se encuentra limitado a suministrar corriente eléctrica al motor de arranque y al sistema de encendido, al poner en puesta en marcha al motor de combustión interna. También suministra corriente a consumidores eléctricos que mantiene el vehículo como son, el radio, luces. (Molero & Pozo, 2013)

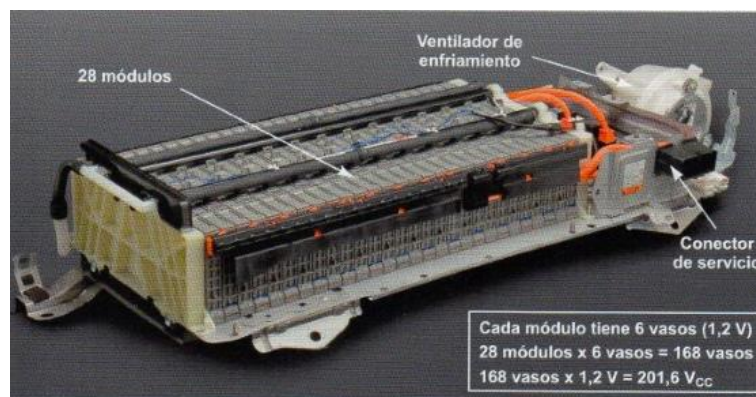


Figura 10. Batería híbrida de alto voltaje de Toyota Prius, tomado de: (Tena, 2015)

### **Tipos de Baterías para Vehículos Eléctricos e híbridos**

**Baterías Alcalinas:** Estas baterías pueden estar compuestas de hierro-níquel, cadmio-níquel, siendo más ligeras empleadas en aviones, vehículos eléctricos e híbridos. Su duración es sumamente grande entre 10 años. En este tipo de baterías no existe auto descarga ni la evaporación del agua. No necesitan mantenimiento. Sus desventajas son: mayor coste de fabricación, poseen menor tensión por vaso (1,2v) obligando a colocar más componentes, despiertan ciertas reservas de toxicidad y capacidad de reciclaje. (Tena, 2015)

**Baterías Litio Ion:** Las baterías de litio son la evolución más reciente presentando un mayor número de ventajas. Las tensiones de la pila varían entre 2 y 3,6v. Sus ventajas son: su funcionamiento amplio en varios tipos de temperaturas, gran duración de almacenamiento. Son más resistentes al impacto mecánico, su vida útil es mayor que las baterías convencionales. (Molero & Pozo, 2013)

### Método

Para la construcción del banco didáctico se propone diseñar un circuito de control donde el estudiante lo pueda operar de manera sencilla, El prototipo en base de simulación se diseñó por medio del programa “Proteus” para conseguir el circuito eléctrico del control del motor y la generación de energía eléctrica. A continuación se detalla el diseño y la fabricación del prototipo de frenos regenerativos.

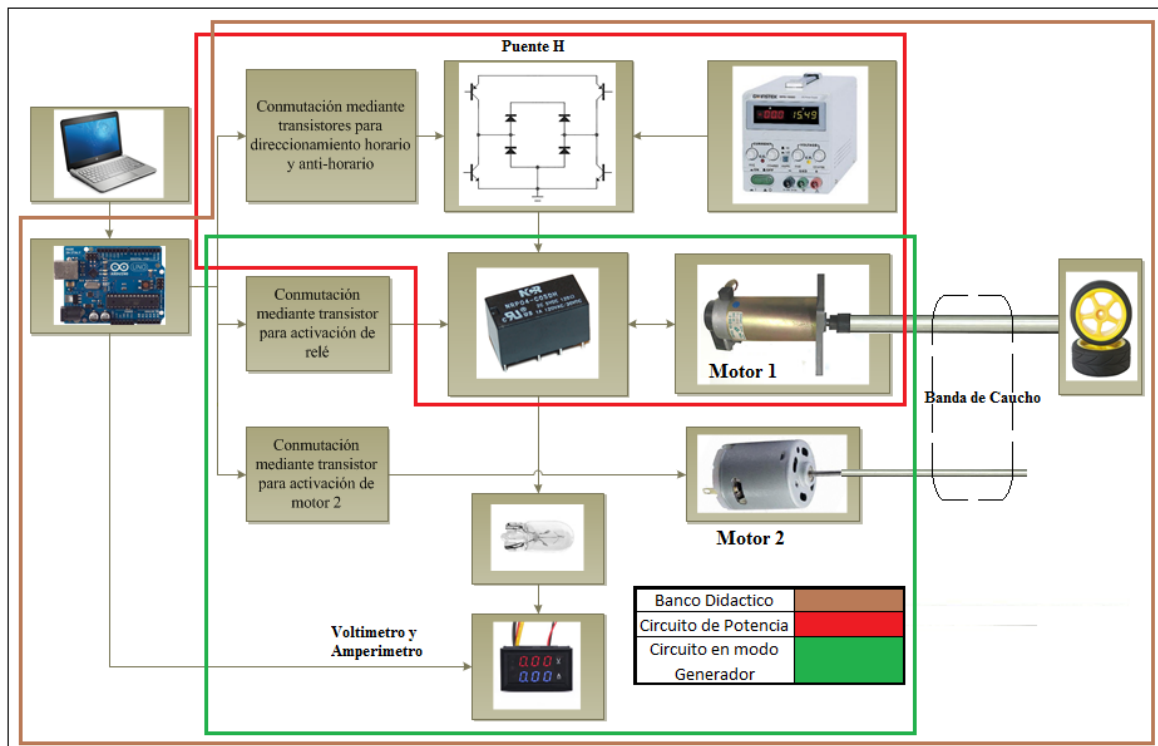


Figura 11. Diagrama general del banco didáctico

### Circuito de Control

El circuito eléctrico de control se lo realizó mediante un microcontrolador Arduino Uno, el cuál fue programado para la obtención de control del banco didáctico mediante una computadora que opere con el software para el control del mismo. Esto dependerá únicamente del usuario por lo que se realizó lo más práctico posible.

## CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDÁCTICO DE FRENOS REGENERATIVOS

Se utilizó el Arduino Uno que es una placa con un microcontrolador Atmega 328P-Pu de la marca Atmel, tiene una memoria programable incluyendo reguladores de tensión, un puerto USB para comunicación serial con la computadora y poder programar al microcontrolador de una manera sencilla, dispone de 14 pines que según la configuración del programa pueden ser salidas o entradas, pueden ser señales de 0 y 5V. Los pines que tiene el arduino pueden suministrar una corriente máxima de 20 mA a 5V.

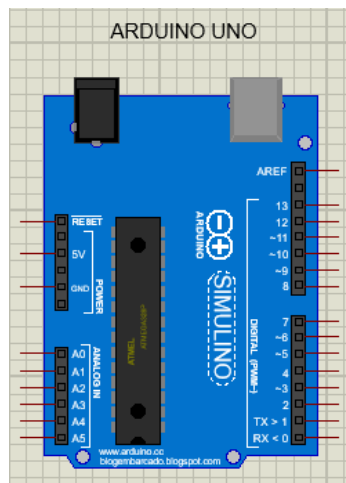


Figura 12. Arduino Uno

### Ventajas

- Su uso no es complicado, su programación es sencilla ya que ha sido creada para aficionados, diseñadores o cualquier persona interesada en realizar objetos interactivos.
- El arduino simplifica realizar el control mediante varios microcontroladores, su software está disponible para sistemas operativos como Windows, Macintosh OSX y Linux. Su licencia es de libre acceso.

- Su costo no es elevado por lo que resulta convenientes para estudiantes adquirirlo y elaborar proyectos en los que se necesite controlar un circuito eléctrico o algún motor o sensor mediante programación.

### **Algoritmo de Control**

La programación se realizó en el software Arduino IDE versión 1.6.5. Se elaboró un diagrama de flujo que explica cómo opera el Arduino con el circuito eléctrico, para tener ambos sentidos sea el sentido anti-horario (avance) o el sentido horario (retroceso) en el motor 1. También la programación consiste en que active el transistor conectado al relé y este pueda cambiar su posición de conexión, en el mismo instante enviar una señal al transistor conectado al motor 2 y activarlo.

Dependiendo el estado en el que el usuario decida mover el motor 1, horario o anti horario, deberá dar ingresar el dato al arduino; para el cumplimiento de generación de energía eléctrica el usuario deberá mandar la señal de frenado. También se realizó una pausa para que el circuito de potencia no opere y pueda apagarse el sistema, para evitar los cambios bruscos de dirección que tendría el motor 1. Las señales o estados como se mencionó depende de la interfaz entre el usuario y la computadora conectada al arduino, para avance se recurrirá a la tecla “d”, para retroceso la tecla “i”, para frenado la tecla “f” y para pausar el sistema la tecla “p” de la computadora. En la figura 13 se puede observar dicho diagrama y en el Anexo A se encuentra detallado el programa.

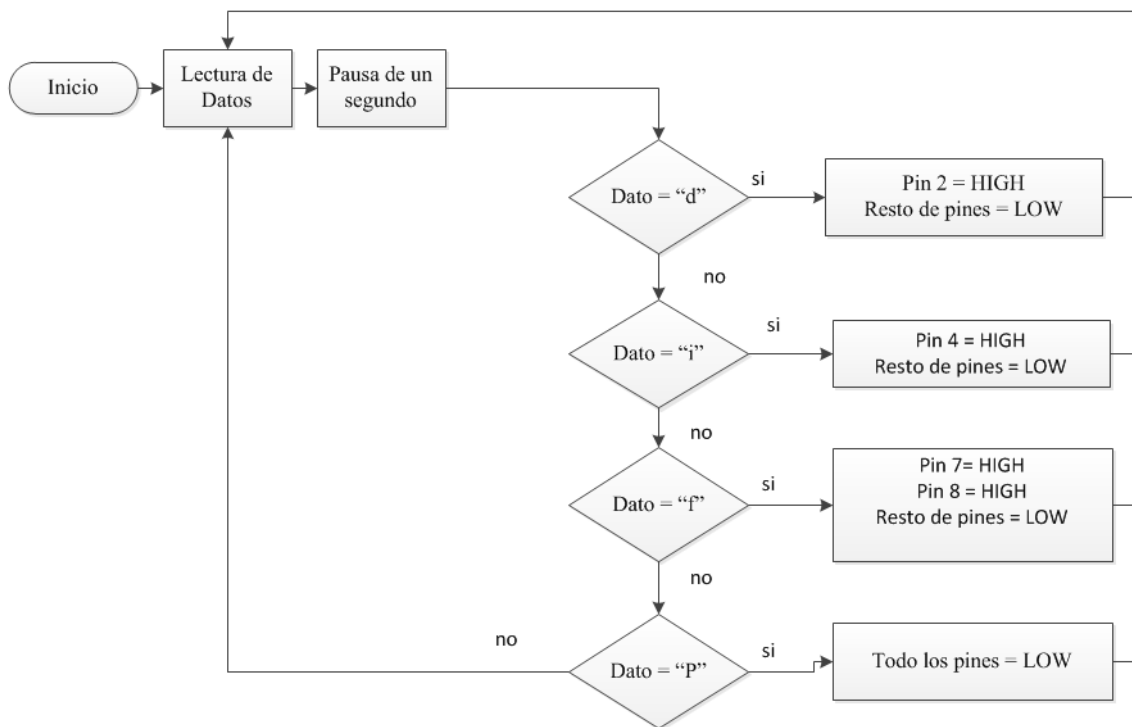


Figura 13. Diagrama de flujo de la programación de Control del Circuito

Tabla 1.

Tabla de configuración de pines para el funcionamiento del banco de pruebas

Pines	Descripción de Funcionamiento
<b>Pin 2= HIGH</b>	Activa el transistor Q5 para giro anti -horario del motor.
<b>Pin4= HIGH</b>	Activa el transistor Q6 para giro horario del motor.
<b>PIN8= HIGH y Pin 7= HIGH</b>	Activa los transistores Q7 y Q8 para funcionamiento del circuito en modo generador.
<b>Dato = "P"</b>	Pausa o detiene el proyecto.

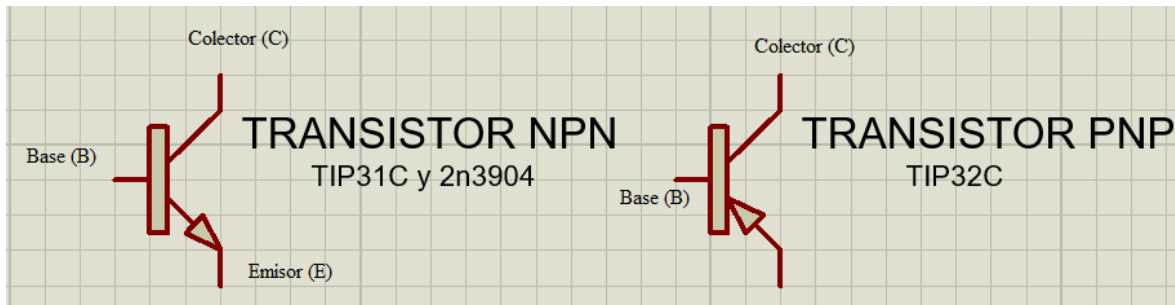
### Circuito de Potencia: Chopper de Cuatro Cuadrantes o Puente H

Las direcciones del motor de corriente continua se obtuvieron mediante el circuito de cuatro cuadrantes también conocido como “puente H”, el cual permitió tener ambas direcciones en el motor, sea en avance o retroceso simulando los movimientos que tiene

## CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDÁCTICO DE FRENOS REGENERATIVOS

cualquier vehículo eléctrico. Este control de avance o retroceso se lo simula por medio del arduino y el computador.

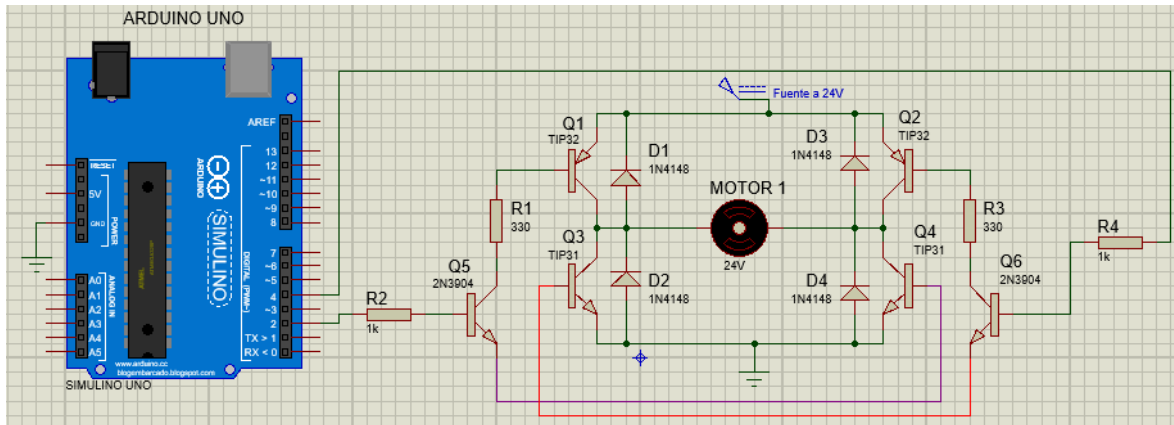
Para la obtención del circuito de alta potencia debido a que en el motor se espera un consumo máximo de 2A, se escogieron para el circuito de puente H los transistores Darlington tip 32C, tip 31C con capacidad de corriente de hasta 5A y se lo configura en modo corte-saturación para conmutación. La activación del circuito de potencia se seleccionó los transistores 2n3904 por su facilidad de adquisición del mercado y su única funcionalidad de conmutación de baja potencia, para las vías del puente H.



**Figura 14. Esquema de funcionamiento de transistores**

Los diodos 1N4148 descritos como D1, D2, D3, D4, se colocaron con el fin de tener protección en los bornes del motor 1 debido a los cambios de polaridad de la bobina del motor. En la figura 15 se observa la simulación del circuito puente H de potencia para el control de giro del motor 1, con los componentes que se utilizó.





**Figura 15 Simulación del circuito de potencia de 4 cuadrantes o Puente H**

El funcionamiento de este circuito empieza con el control mediante los transistores Q5 y Q6 ya que estos son con los que activan a los demás transistores para tener la dirección deseada. Si el estudiante elige la opción de tener la dirección de avance, se envía la letra “d” que activa el transistor Q5 y este a su vez permite que se activen los transistores Q1 y Q4 haciendo que el motor 1 gire en sentido anti-horario. Para la dirección de retroceso o sentido horario se deberá activar el transistor Q6 por medio del ingreso de la letra “i” y este a su vez activar a los transistores Q2 y Q3 lo que permite que el motor 1 gire en dicha dirección.

Las salidas del puente H están conectadas a los contactos fijos del relé de dos polos, dando lugar que se pueda separar el circuito de potencia al circuito en modo generador conectándolo a los contactos móviles. Los dos polos del relé se encuentran conectados con las terminales del motor 1. En la figura 16 se puede apreciar la conexión.

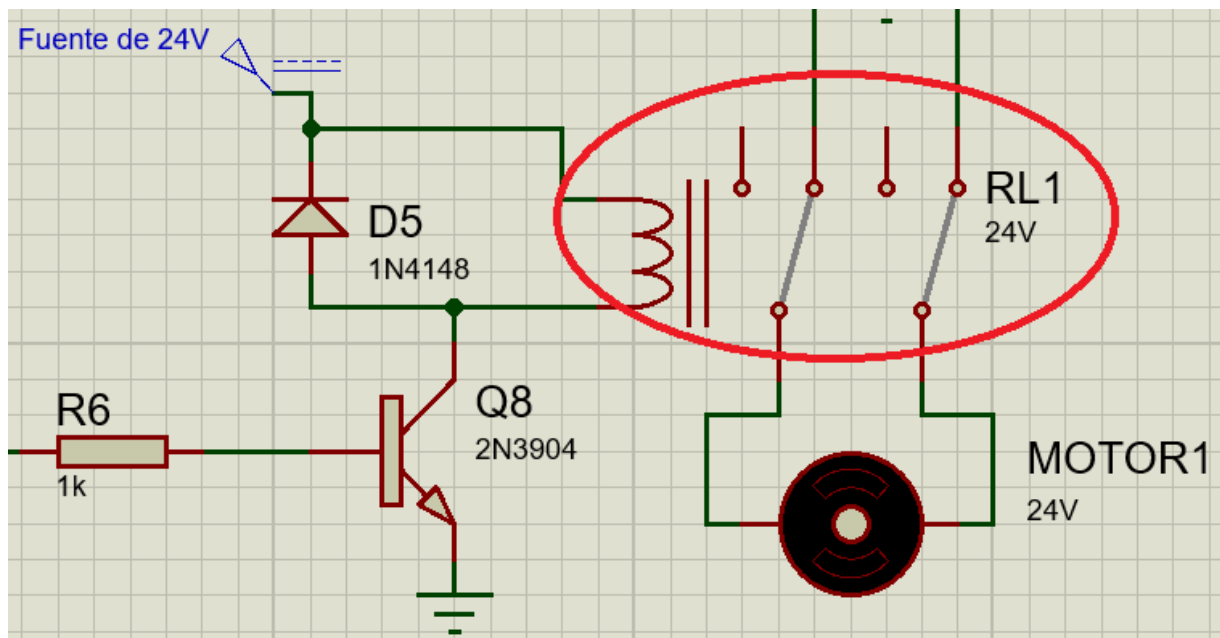


Figura 16. Conexión puente H con relé

Las resistencias que tienen los transistores Q5, Q6 en sus respectivas bases es debido a mantener protección en la base de cada transistor, con el objetivo de que no llegue nunca una corriente alta que ocasione que se dañe este componente importante del circuito. Mediante la Ecuación 1 (S.Miguel, 2005) se determina qué valor de resistencia es requerida.

$$I = V/R. \quad (1)$$

Como la máxima corriente que puede entregar el Arduino es de 20mA, se tomó una corriente (I) de 5mA y un voltaje (V) de 5v, esto para protección del Arduino, obteniendo así:

$$R = V/I \quad (2)$$

$$R = \frac{5V}{0,005A} = 1000 \text{ Ohmios}$$

Para las resistencias de las bases de los transistores Q1 y Q2 se debe asegurar una corriente donde el transistor funcione en el área de conmutación, para ello se calculó el valor de la resistencia a colocar.

Se procedió a tomar la corriente que transcurría en el transistor Q1 y Q2 dando como resultado un amperaje de 1,05A la ganancia de corriente del transistor ( $h_{fe}$ ) es de 25, la ecuación 3 (Malvino & Bates, 2007) determina la corriente de la base del transistor.

$$I_b = \frac{I}{h_{fe}} \quad (3)$$

$$I_b = \frac{1,05A}{25} = 0,042A$$

El cálculo del voltaje de la base del transistor ( $V_r$ ) se realizó mediante la ecuación 4 donde se tomaron datos de la hoja técnica del transistor tip 32C voltaje emisor-base y del transistor 2n3904 el dato de voltaje colector-emisor con el propósito de tener solo una variable. Se toma un voltaje inicial de 24V debido a la alimentación de la fuente.

$$24V - V_{eb}(tip32C) - V_{ce}(2n3904) - V_r = 0 \quad (4)$$

$$V_r = 24V - 0,84V - 0,14V = 23,02V$$

## CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDÁCTICO DE FRENOS REGENERATIVOS

Mediante la ecuación 2 se calculó la resistencia adecuada para la conmutación de los transistores tip 32C, para este caso el voltaje viene de (4) y la corriente de (3).

$$R = \frac{23,02V}{0,042A} = 548,09 \text{ Ohmios}$$

La potencia de la resistencia se calculó con la ecuación 5 (Dorf, 2011)

$$P = V * I \quad (5)$$

$$Pr = 23,02V * 0,042A = 0,96 \text{ watts}$$

El valor máximo para las resistencias R1 y R3 son de 548 Ohmios con una potencia de aproximadamente 1 watt. Se colocaron resistencia de 330 ohmios de 1watt debido a que en el mercado no disponían de mayor ohmiaje con la potencia requerida.

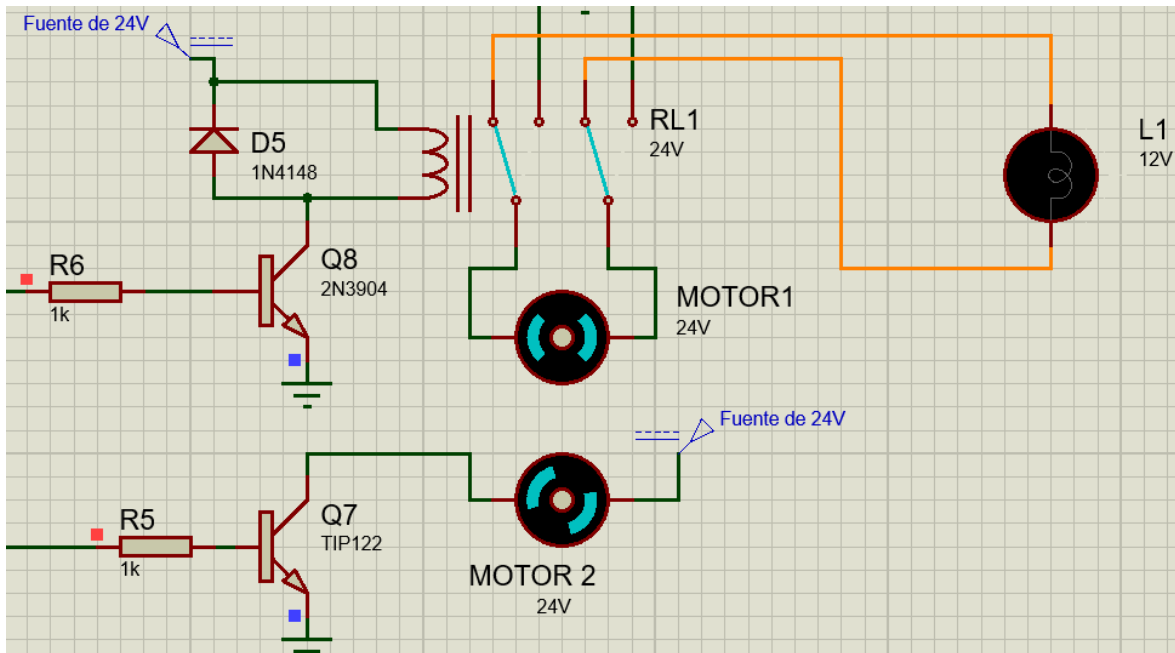
### **Circuito en Modo de Generación**

Para simular la generación de energía eléctrica mediante el motor eléctrico, la ventaja que nos proporciona la instalación del relé (RL1), es que cuando recibe un voltaje en su bobina este cambia de conexión, permitiendo que el motor 1 se conecte al foco y demostrar la generación de energía eléctrica. La instalación de este componente permite evitar algún daño al puente H.

Esta conexión se observa en la figura 17, teniendo en cuenta que el relé es controlado por el transistor Q8 anteriormente explicado y que este a su vez recibe la señal de activación del Arduino. Para simular la energía cinética que genera un vehículo al momento de frenar se instaló un motor secundario (M2) que reproduce la inercia del

## CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDÁCTICO DE FRENOS REGENERATIVOS

movimiento del vehículo y sus llantas, para lograr que el motor 1 siga girando generando así energía eléctrica.



**Figura 17. Circuito en modo generador**

En el circuito de la figura 17 se puede apreciar que el relé se activa por medio del transistor Q8, es decir al momento de frenar, el relé cambia de posición conectando el motor 1 a las terminales de un foco de 12 V de 5 Watts, cambiando su funcionamiento de modo motor a modo generador.

Al mismo tiempo se activa el transistor Q7 dando paso a que se active el motor 2, lo que ocasiona que gire el motor 1 ya que entre ambos motores van conectados mediante una polea.

La elaboración de este sistema está compuesto primordialmente por el motor de corriente continua al que se denominó motor 1, las características de este componente es ser

## CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDÁCTICO DE FRENOS REGENERATIVOS

de imanes permanentes y su voltaje de trabajo es de 24V. También se tiene un motor secundario (motor 2) de las mismas características.

Para la alimentación del circuito utilizó una fuente que sustente los 24V necesarios para el funcionamiento óptimo de los motores. La adquisición de este dispositivo proviene del laboratorio de electrónica de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Internacional SEK. La ventaja que presenta esta fuente de poder, es que señala el consumo de amperaje al instalar una carga en el circuito, en este caso sería la activación de los motores.

El diseño de la placa de baquelita se realizó en el mismo programa “Proteus”, en el Anexo B y Anexo C se puede apreciar el esquema de cómo se encuentra conectados los componentes en la placa.

### **Experimento**

Para conocer el consumo de corriente que tienen los motores eléctricos se ejecutó un experimento con mediciones de velocidad variando el voltaje y midiendo el consumo (corriente) que tiene cada motor. Para el motor 1 se realizaron mediciones en ambos sentidos, horario y anti-horario

#### **Materiales:**

- ✓ Tacómetro digital
- ✓ Banco didáctico
- ✓ Fuente de alimentación
- ✓ Multímetro

**Procedimiento:**

1. Conectar el multímetro en serie con el motor 1 en su conexión a positivo para medir amperaje.
2. Colocar los señalamientos de medición del tacómetro digital en el motor 1 y motor 2.
3. Activar mediante el computador en el banco didáctico el motor 1 en sentido horario, después en sentido anti-horario y al final el motor 2.
4. Mediante el tacómetro medir la velocidad (RPM) del motor 1 en ambos sentidos y al finalizar la velocidad del motor 2, variando el voltaje en la fuente.
5. Observar el consumo de corriente en el multímetro que tiene en cada variación de voltaje e ir comparando con la velocidad para cada medición.
6. Al tomar las mediciones de velocidad en el motor 2 se observó mediante el voltímetro y amperímetro cuanto voltaje y amperaje genera en el motor 1.

**Datos Obtenidos**

**Tabla 2.**  
**Datos obtenidos del experimento en el motor 1 sentido anti - horario**

<b>motor 1 sentido anti-horario</b>		
<b>Velocidad (RPM)</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Corriente (A)</b>
<b>235,6</b>	4	0,68
<b>703,1</b>	6	0,72
<b>1099</b>	8	0,78
<b>1495</b>	10	0,82
<b>1892</b>	12	0,86
<b>2291</b>	14	0,91
<b>2672</b>	16	0,94
<b>3057</b>	18	0,98
<b>3435</b>	20	1,01
<b>3830</b>	22	1,04
<b>4220</b>	24	1,07

**Tabla 3.**  
**Datos obtenidos del experimento en el motor 1 sentido horario**

<b>motor 1 sentido horario</b>		
<b>Velocidad (RPM)</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Corriente (A)</b>
<b>305,2</b>	4	0,57
<b>869,2</b>	6	0,62
<b>1204</b>	8	0,68
<b>1594</b>	10	0,72
<b>1978</b>	12	0,76
<b>2334</b>	14	0,8
<b>2731</b>	16	0,84
<b>3109</b>	18	0,88
<b>3527</b>	20	0,93
<b>3924</b>	22	0,97
<b>4265</b>	24	1,01

**Tabla 4.**  
**Datos obtenidos del experimento en el motor 2**

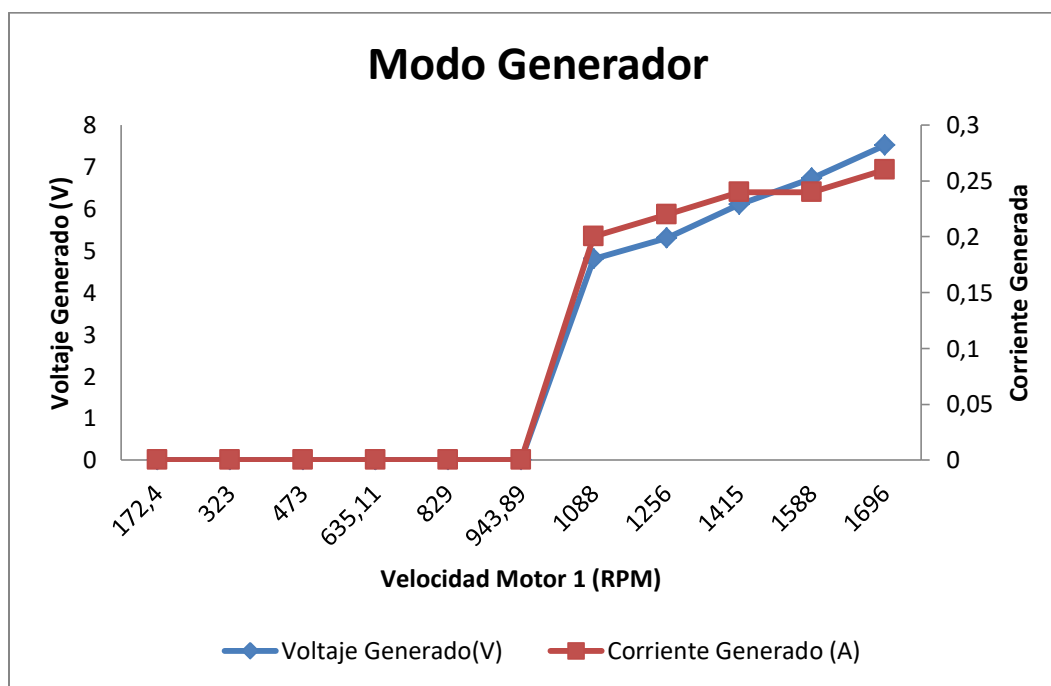
<b>Motor 2</b>		
<b>Velocidad (RPM)</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Corriente (A)</b>
<b>451,7</b>	4	0,57
<b>845,6</b>	6	0,62
<b>1241</b>	8	0,68
<b>1666</b>	10	0,72
<b>2174</b>	12	0,76
<b>2473</b>	14	0,8
<b>2866</b>	16	0,84
<b>3290</b>	18	0,87
<b>3707</b>	20	0,91
<b>4165</b>	22	0,96
<b>4448</b>	24	1,01

Los datos del voltaje que se puede generar por el motor 1, con la relación de transmisión de 1: 2,6 que se tiene con el motor 2 se expresan en la siguiente tabla



**Tabla 5.**  
Expectativas de voltajes y corrientes generadas

Prueba en modo Generador		
Velocidad Motor 1(RPM)	Voltaje Generado(V)	Corriente Generado (A)
172,4	0	0
323	0	0
473	0	0
635,11	0	0
829	0	0
943,89	0	0
1088	4,8	0,2
1256	5,3	0,22
1415	6,1	0,24
1588	6,72	0,24
1696	7,51	0,26



**Figura 18.** Expectativa de generación de energía eléctrica por motor 1

### Guías de Laboratorio

Las guías de laboratorio se presentan en los anexos D, E, F y G con sus respectivos títulos y procedimientos para su desarrollo académico.

### Resultados

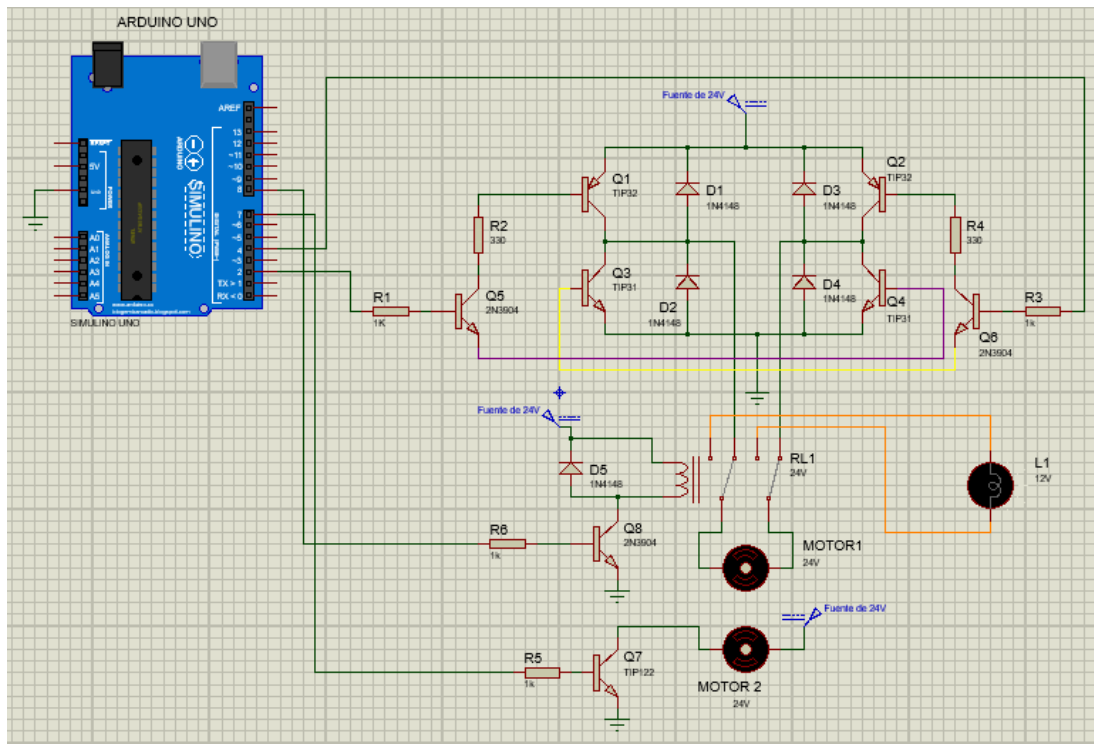
Los resultados del banco didáctico de frenos regenerativos se basan en el modo de funcionamiento del motor eléctrico, en los estados de funcionamiento de potencia o en el momento de convertirse en un generador. Se presentan los resultados del experimento realizado para conocer datos irrelevantes sobre el banco didáctico.

El circuito completo en el programa de simulación se presenta en la figura 19, donde se observa cómo se encuentra conectado y la cantidad de componentes utilizados se exhibe en la tabla 6. Mediante este esquema del circuito se realizó las conexiones apropiadas y mantener una guía de elaboración del mismo.

**Tabla 6**  
**Cantidad de Componentes Utilizados**

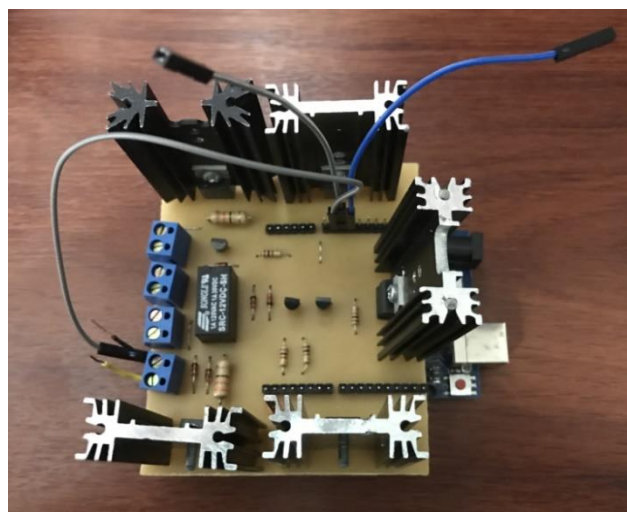
<b>Componente Electrónico</b>	<b>Cantidad</b>
Transistor Tip31C NPN	2
Transistor Tip32C PNP	2
Transistor 2n3904 NPN	4
Transistor tip 122 NPN	1
Diodo 1N4148	5
Foco de Cuña 12v 5wtts	1
Relé de 8pines de doble interruptor	1
Motor de 24v	2
Resistencias 1K	4
Resistencias de 330	2

## CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDÁCTICO DE FRENOS REGENERATIVOS



**Figura 19. Simulación completa del circuito**

En la figura 20, se observa el circuito final ya armado para su funcionamiento y con los respectivos componentes. Los transistores están armados con difusores de calor para mantener la temperatura ideal de funcionamiento de los mismos.



**Figura 20. Circuito final**

## CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDÁCTICO DE FRENOS REGENERATIVOS

La obtención de resultados se realizó mediante la fuente de alimentación, esta señala el consumo o amperaje que tiene el circuito al activar una carga, para eso se procedió a tomar varias mediciones en cada estado del circuito. En la figura 21 se consigue observar el estado inicial de la fuente de alimentación. El cálculo de la potencia que tiene el motor 1 se lo realiza mediante la Ecuación 5.



**Figura 21. Estado inicial de la fuente de alimentación**

### **Resultados en el Circuito de Potencia en Avance**

Al iniciar el estado de avance mediante la señal del arduino, la fuente donde se puede regular el voltaje de trabajo, que para este caso se utilizó un voltaje de 24V y se muestra que se encuentra con un consumo del motor 1 de 0,87A con el propósito de dar movimiento a las partes mecánicas instaladas en el eje del motor. En la tabla 7 se puede apreciar los resultados obtenidos y en la figura 22 se consigue observar los datos mediante la fuente de alimentación.

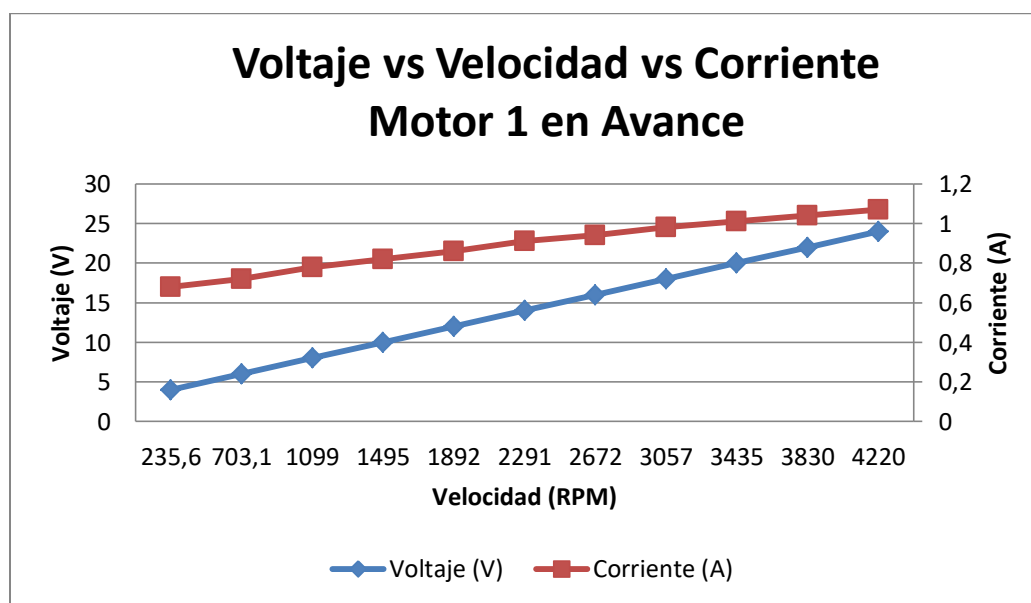


**Figura 22. Medición de circuito de potencia en avance**

**Tabla 7.**  
**Resultados del Circuito de Potencia en Avance**

<b>Circuito de Potencia en Avance</b>			
#	Voltaje de Funcionamiento (V)	Consumo o Amperaje (A)	Potencia (W)
<b>Mediciones</b>			
<b>1</b>	24	1,05	25,20
<b>2</b>	24	1,07	25,68
<b>3</b>	24	1,07	25,68
<b>Promedio</b>	24	1,06	25,52

En la figura 23 se observa las variaciones de voltaje y consumo o corriente que tiene el motor 1 en sentido anti-horario según las velocidades. Los datos son con respecto a la tabla 2.



**Figura 23. Resultado de consumo del motor 1 en sentido anti-horario**

### Resultados en el Circuito de Potencia en Retroceso

Para el circuito de potencia en retroceso se tiene las mismas características de trabajo proporcionada por la fuente de poder, las mediciones se realizó en un intervalo de dos minutos para esperar que se enfríen los transistores y tengan valores reales del funcionamiento. A continuación se muestra resultados en este estado en la tabla 8 y en la figura 24 se obtiene los datos de la fuente de alimentación.

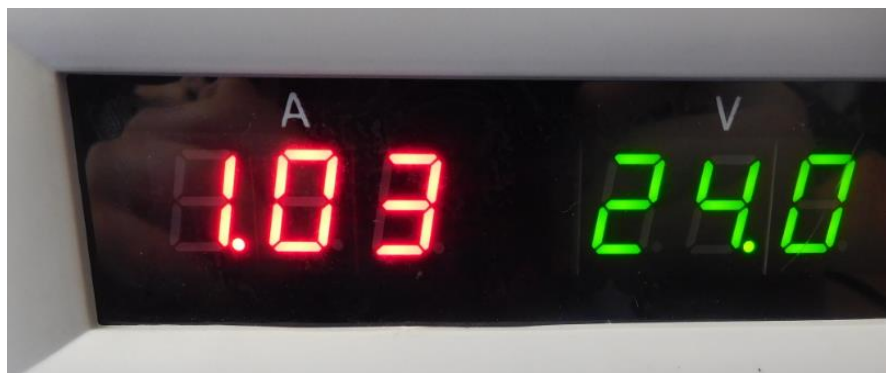


Figura 24. Medición del circuito de potencia en retroceso

Tabla 8.  
Resultados del Circuito de Potencia en Retroceso

Circuito de Potencia en Retroceso			
#	Voltaje de Funcionamiento (V)	Consumo o Amperaje (A)	Potencia (W)
<b>Mediciones</b>			
1	24	1	24,00
2	24	1,01	24,24
3	24	1,03	24,72
<b>Promedio</b>	24,4	1,01	24,32

# CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDÁCTICO DE FRENOS REGENERATIVOS

En la figura 25 se detalla los resultados de la tabla 3 con respecto al giro en sentido horario del motor 1

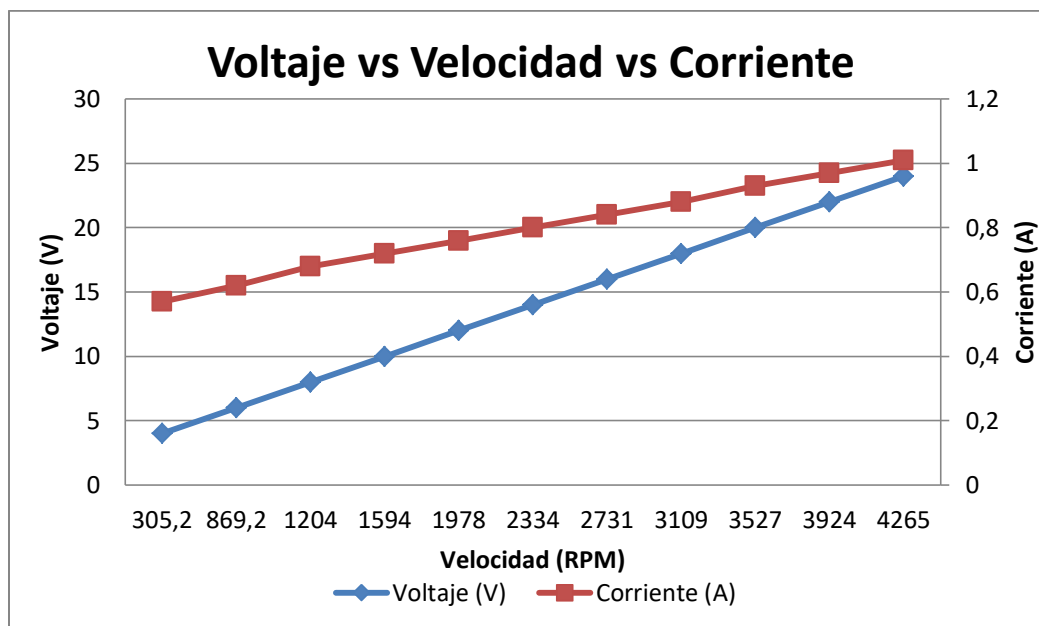


Figura 25. Resultado experimento motor 1 en sentido horario

En la figura 26 se muestra el funcionamiento del motor 2 según la tabla 4.

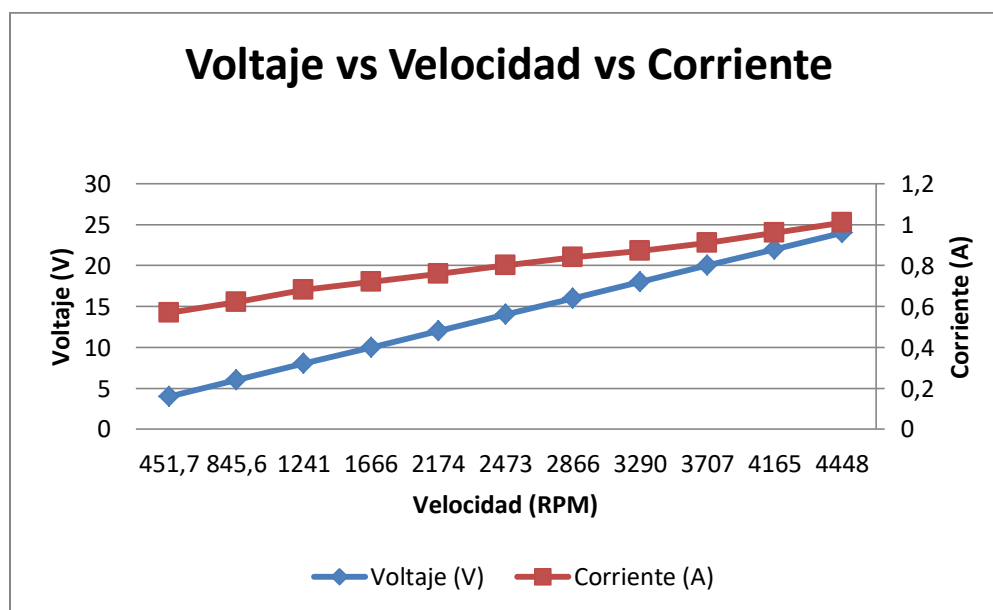
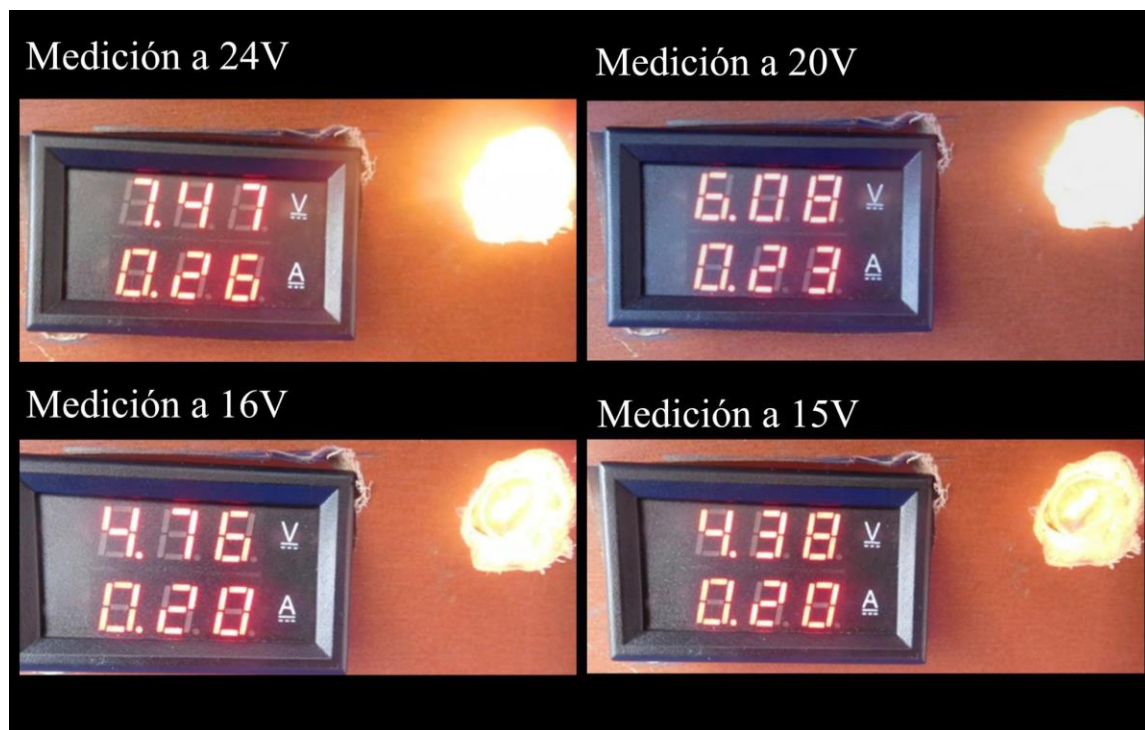


Figura 26. Resultados del experimento en motor 2

### Resultados del Circuito en Modo de Generación

Como resultado de este proyecto se obtuvo un prototipo donde se observa la generación de energía al momento de frenar. Se realizó varias mediciones en la salida del relé en modo generador y como consecuencia se consiguió un promedio de voltaje de 7,1V por el motor eléctrico 1 en modo generación, por lo que el foco de capacidad de 12V no se ilumina a su totalidad. En la figura 27 se puede apreciar los resultados en forma física.



**Figura 27. Resultados de Mediciones de Circuito en Modo de Generación**

Los resultados presentados en las tablas 9, 10, 11 y 12 se tomaron variando el voltaje que brinda la fuente al motor 2, para simular las diferentes velocidades que tiene un automóvil eléctrico y hasta qué momento puede generar electricidad el motor 1.



## CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDÁCTICO DE FRENOS REGENERATIVOS

**Tabla 9.**  
**Resultado de Circuito en modo de Generación a 24V**

<b>Circuito en Modo Generador a Máxima Velocidad (24V)</b>				
<b># Mediciones</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Generado (V)</b>	<b>Amperaje Generado (A)</b>	<b>Potencia (W)</b>
<b>1</b>		3,24	0,16	0,52
<b>2</b>		6,91	0,25	1,73
<b>3</b>		7,47	0,26	1,94
<b>Promedio</b>		5,9	0,22	1,40

**Tabla 10.**  
**Resultado de Circuito en modo de Generación a 20V**

<b>Circuito en Modo Generador a Velocidad Intermedia (20V)</b>				
<b># Mediciones</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Generado (V)</b>	<b>Amperaje Generado (A)</b>	<b>Potencia (W)</b>
<b>1</b>		2,75	0,17	0,47
<b>2</b>		4,34	0,19	0,82
<b>3</b>		6,08	0,23	1,40
<b>Promedio</b>		4,39	0,20	0,90

**Tabla 11.**  
**Resultado de Circuito en modo de Generación a 16V**

<b>Circuito en Modo Generador a Mínima Velocidad (16V)</b>				
<b># Mediciones</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Generado (V)</b>	<b>Amperaje Generado (A)</b>	<b>Potencia (W)</b>
<b>1</b>		2,33	0,16	0,37
<b>2</b>		4,58	0,2	0,92
<b>3</b>		4,76	0,2	0,95
<b>Promedio</b>		3,89	0,19	0,75

**Tabla 12.**  
**Resultado de Circuito en modo de Generación a 15V**

<b>Circuito en Modo Generador a Mínima Velocidad (15V)</b>				
<b># Mediciones</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Generado (V)</b>	<b>Amperaje Generado (A)</b>	<b>Potencia (W)</b>
<b>1</b>		1,44	0,08	0,12
<b>2</b>		3,70	0,17	0,63
<b>3</b>		4,39	0,2	0,88
<b>Promedio</b>		3,18	0,15	0,54

### **Discusión**

Los materiales utilizado en el proyecto han sido escogidos con la finalidad de que pueden soportar el amperaje y tener la eficiencia necesaria para operar el circuito de potencia. Los diferentes componentes permiten obtener el control y la generación de energía eléctrica sin causar daños en el circuito o a su vez a los motores.

Se puede deducir mediante los resultados obtenidos que los transistores cumplen con la función de dar la dirección de giro del motor 1 seleccionado por el estudiante, en el momento de aplicar las señales correspondientes mediante el arduino. Es decir que las conexiones del puente “H” se encuentran en correcto estado, permitiendo cumplir la simulación del movimiento de un automóvil eléctrico teniendo avance y retroceso.

Se puede confirmar de acuerdo al experimento realizado que el relé cumple con la función deseada de separar el circuito de potencia con el circuito en modo de generación, logrando simular la generación de energía eléctrica del motor 1 mediante un foco, y esto a su vez debido al arrastre que proporciona el motor 2 conectado mediante una banda al motor 1, este sistema mecánico construido simula la inercia que tendría el carro al momento de frenado.

Conforme a los resultados, se analizan los valores preponderantes de los resultados que son la potencia que se necesita en cada dirección, para dar avance la tabla 7 indica que se necesita de promedio una potencia de 25,52 watts para mover la llanta en el banco de pruebas y la banda conectada con el motor 2. Mientras que para la dirección de retroceso los resultados varían con respecto a los resultados en avance, ya que se necesita una potencia promedio de menos valor que es de 24,32 watts. Se puede considerar que esta

## CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDÁCTICO DE FRENOS REGENERATIVOS

diferencia es debida al desgaste que tiene el motor 1 en su bobinado generando que para el retroceso necesite una mayor potencia.

Durante el periodo en que el motor 1 funciona en modo generador se tiene varios resultados de voltaje creado; esto se debe que la velocidad que se tiene mediante el arrastre del motor 2 al motor 1 es directamente proporcional al voltaje a generar.

En la elaboración de este proyecto de titulación, se planteó construir un banco didáctico que simule el funcionamiento de un freno regenerativo. Para el entendimiento de los estudiantes que la tecnología puede colaborar también en el reciclaje de energías.

Los frenos regenerativos es un sistema innovador donde se demuestra que los avances tecnológicos en la industria automotriz, buscan aprovechar la energía cinética al momento de frenar convirtiéndola en energía eléctrica, utilizándola para cargar la batería o para algún accesorio eléctrico.

Los componentes electrónicos permiten que el estudiante pueda controlar el proyecto, observando los cambios de funcionamiento que tiene el banco didáctico y así obtener un mayor entendimiento sobre este mecanismo de aprovechamiento de energías.

## **Conclusión**

La cantidad de energía eléctrica a generar se encuentra limitada por las variaciones de velocidad que tienen los vehículos eléctricos ya que no se puede tener velocidades constantes. La potencia generada como consecuencia no se mantendrá estable ya que debido a la disminución de la velocidad por la desaceleración del automóvil va a decaer el valor de potencia generado. Las tablas 9, 10, 11 y 12 demuestran este acontecimiento de generación de energía eléctrica.

El banco didáctico de freno regenerativo se encuentra constituido por varias fases tales como son: control electrónico mediante programación, funcionamiento del proyecto en modo motor y en modo generador, con esto constituir la elaboración del freno regenerativo.

Se logró simular la generación de voltaje de un freno regenerativo, donde el motor 2 simule el arrastre que tiene un vehículo, con eso aprovechar y hacer que el motor 1 trabaje en modo generador para así representar el freno regenerativo.

Mediante las figuras 23 y 25 podemos ver que la velocidad en ambos sentidos de giro, anti-horario y horario, la velocidad son directamente proporcional a la velocidad y a la corriente, es decir que si se aumenta el voltaje se aumenta la velocidad. La corriente depende de la carga que tenga el motor.

**Recomendaciones**

Para la generación de energía es necesario considerar que el motor eléctrico puede funcionar como generador siempre que se le aplique una energía mecánica que provoque la rotación de su eje. Como recomendación para el mejoramiento de este proyecto en el funcionamiento de generación se puede cambiar el motor 2 por un motor más veloz que ocasione que el eje del motor 1 gire más rápido y así obtener un mayor voltaje generado por el motor eléctrico.

En la elaboración del circuito de control se utilizan componentes como los transistores y estos funcionan a determinadas temperaturas por lo que se recomienda tener alguna inspección si se calientan los transistores o sus difusores de calor, ya que si sucede eso puede ocasionar que el sistema eléctrico no funcione a su máxima capacidad y genere algún corto circuito.

Para que el banco didáctico cargue una batería se deberá implementar un diseño que mejore la generación de energía en el motor 1 y 2 de arrastre con un circuito que controle y direcciona la generación de energía para cargar la batería (el circuito podría implementarse con un puente de diodos)

### **Bibliografía**

- Abad, A. (2014). *Análisis del Funcionamiento del Sistema de Frenos Regenerativos para la Carga de Supercondensadores en Vehículos Automotrices*. Cuenca: Universidad Del Azuay .
- Ávila, M. (2014). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CARGADOR AUTOMATIZADO DE BATERÍAS DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS*. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Avila, S., & Cuásquer, V. (2016). *Diseño y Construcción de un Controlador Electrónico de Velocidad con Freno Regenerativo para un Plataforma Autónoma Móvil Terrestre con Tracción Diferencial*. Quito: Universidad Politécnica Nacional.
- Chan, C. C. (2007). The State of the Art of Electric,Hybrid, and Fuel Cell Vehicles. *IEEE*, 704-718.
- Contreras, E., & Sánchez, R. (2010). *Diseño y Construcccion de un banco de prácticas en Motores Eléctricos, como apoyo a la asigantura Diseño de Maquinas II*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Cruz, P. P., & López, J. S. (2008). *Máquinas Eléctricas y tecnicas modernas de control*. Alfaomega.
- Dávalos, D., & Romero, M. (2013). *Diseño e Implementacion del Freno Regenerativo para un Vehículo Eléctrico*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Dominguez, E., & Ferrer, J. (s.f.). *Sistemas de Transmisión y Frenado*. Editex.

## CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDÁCTICO DE FRENOS REGENERATIVOS

- Dorf, R. (2011). *Circuitos Eléctricos*. México D.F.: Alfaomega.
- Emadi, A. (2008). Power Electronics and Motor Drives in Electric,Hybrid Electric, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles. *IEEE*, 2237-2245.
- Galarza, M., & Quisaguano, J. (2009). *Diseño y Contrucción del Sistema de Frenado Dinámico para un Vehículo Eléctrico*. Quito: Universidad Politécnica Nacional.
- H. Gerschler, S. (1985). *Tecnología del Automóvil*. Barcelona: Reverté.
- Kosow, I. (1993). *Máquinas Eléctricas y Transformadores*. Naucalpan de Juárez: Prentice Hall Hispanoamericana.
- M., I. G., & M., M. S. (2011). Diseño e implementación de un módulo didáctico de un módulo didáctico de un Drive Troceador para el control de una máquina de DC en cuatro cuadrantes destinado al Laboratorio de Control Eléctrico y PLC's. *Maskay*, 55-65.
- MACÍAS, R. G. (2014). "*FRENO REGENERATIVO EN AUTOMÓVILES PARA USO HÍBRIDO*". México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de Mexico.
- Malvino, A., & Bates, D. (2007). *Principios de Electrónica*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Molero, E., & Pozo, A. (2013). *El vehículo eléctrico y su infraestructura de carga*. Marcombo.
- Mora, J. F. (2008). *Máquinas Eléctricas*. Madrid: McGraw-Hill.
- Muhammad, R. (2004). *Electrónica de Potencia*. Pearson Educación.

Qiu, C., & Wang, G. (2016). New evaluation methodology of regenerative braking contribution to energy efficiency improvement of electric vehicles. *Energy Conversion and Management*, 389-398.

Ribbens, W. (2008). *Electrónica Automotriz*. Limusa.

S.Miguel, P. A. (2005). *Electrotecnia*. Madrid: Thomson.

Tena, J. (2015). *Sistemas de Carga y Arranque*. Madrid: Paraninfo.

Villacrés, D. (2016). *Construcción de un Banco Didáctico de Frenos Regenerativos*. Quito: Universidad Internacional SEK.



## Anexos

### Anexo A Programación de Control

```
int der = 2;
int izq = 4;
int estado = 0;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(der, OUTPUT);
  pinMode(izq, OUTPUT);
  pinMode(7, OUTPUT);
  pinMode(8, OUTPUT);
  digitalWrite(der, LOW);
  digitalWrite(izq, LOW);
  digitalWrite(7, LOW);
  digitalWrite(8, LOW);
  delay(1000);
}

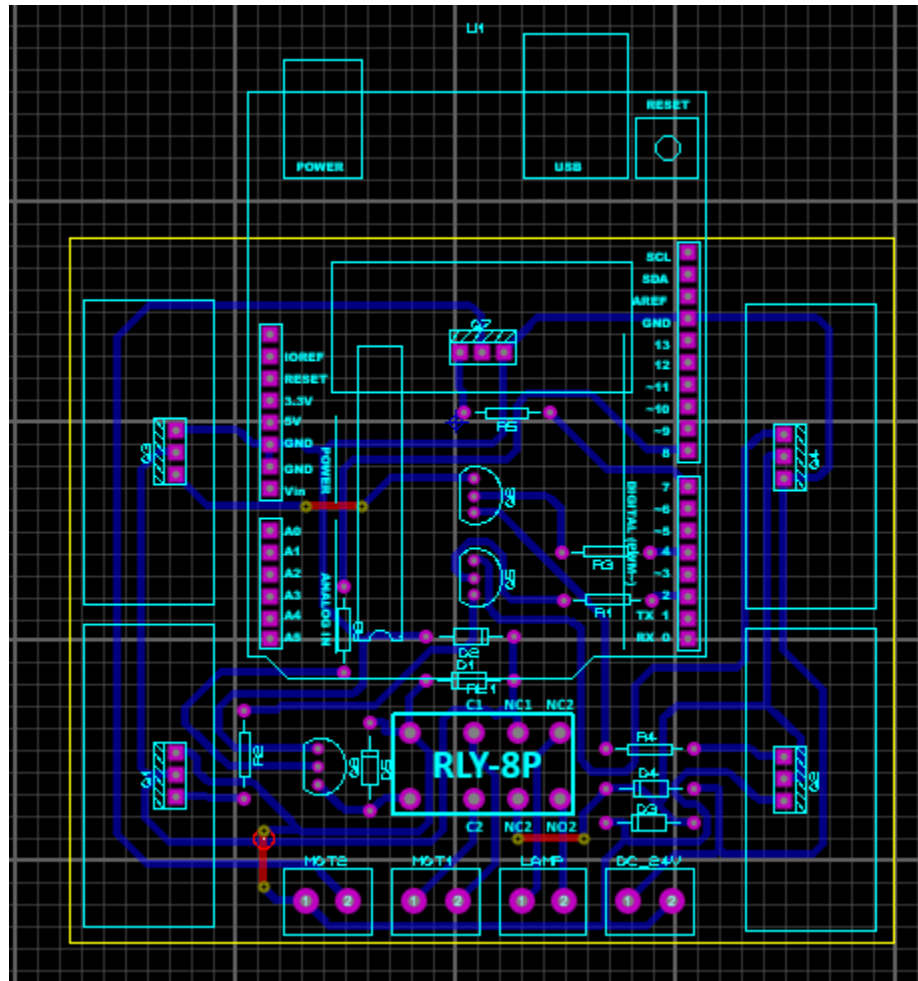
void loop() {
  estado=0;
  do{
    if(Serial.available()>0){
      estado = Serial.read();
      break;
    }
  }while(estado==0);

  digitalWrite(der, LOW);
  digitalWrite(izq, LOW);
  digitalWrite(7, LOW);
  digitalWrite(8, LOW);
  delay(1000);

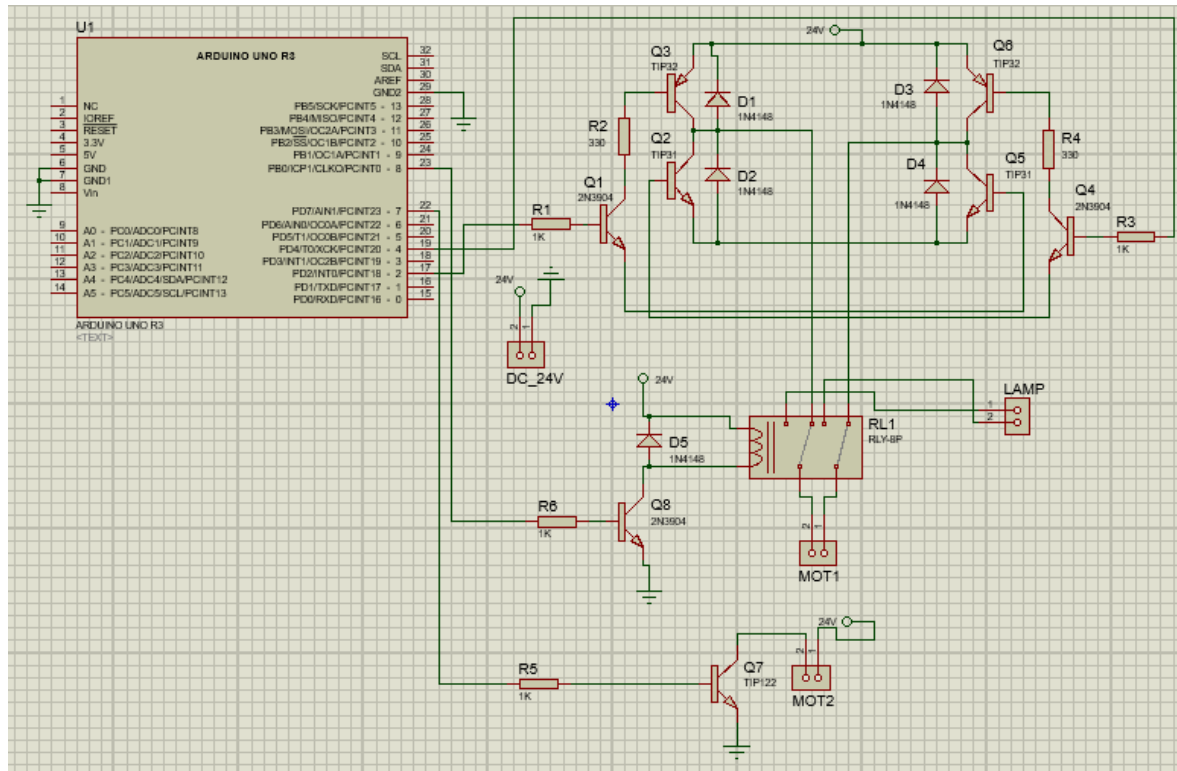
  if(estado == 'd'){
    digitalWrite(izq, LOW);
    digitalWrite(der, HIGH);
    digitalWrite(7, LOW);
    digitalWrite(8, LOW);
    Serial.println("derecha");
  }
  if(estado == 'i'){
    digitalWrite(der, LOW);
    digitalWrite(izq, HIGH);
    digitalWrite(7, LOW);
  }
```

```
    digitalWrite(8,LOW);  
    Serial.println("izquierda");  
}  
if(estado == 'f'){  
    digitalWrite(der, LOW);  
    digitalWrite(izq,LOW);  
    digitalWrite(7,HIGH);  
    digitalWrite(8,HIGH);  
    Serial.println("Freno Regenerativo");  
}  
if(estado == 'p'){  
    digitalWrite(der,LOW);  
    digitalWrite(izq,LOW);  
    digitalWrite(7,LOW);  
    digitalWrite(8,LOW);  
    Serial.println("Pausa");  
    delay(1000);  
}  
}
```

## Anexo B Esquema de Conexión de Baquelita



## Anexo C Diseño de Conexión de Baquelita



## Anexo D

Asignatura: Autotrónica

### Guía de Laboratorio 1: Circuito de Potencia en Avance

#### Objetivo

Argumentar la potencia en el motor 1 desde sus correspondientes terminales con el circuito en su dirección de avance, para posteriormente comparar y verificar los valores con la fuente de alimentación, conociendo las precauciones a seguir para prevenir daños e inconvenientes en el circuito.

#### Revisión Teórica

La aplicación del circuito Puente H o Chopper de 4 cuadrantes es el control del motor en sus dos sentidos teniendo un freno regenerativo, donde la corriente y el voltaje puede ser positiva y negativa cambiando las polaridades e invirtiendo el giro del eje del motor. Su aplicación se encuentra ampliamente en la robótica y en convertidores de potencia, se encuentran en circuitos integrados o se los puede fabricar a partir de componentes básicos (Villacrés, 2016). (Ver figura 28)

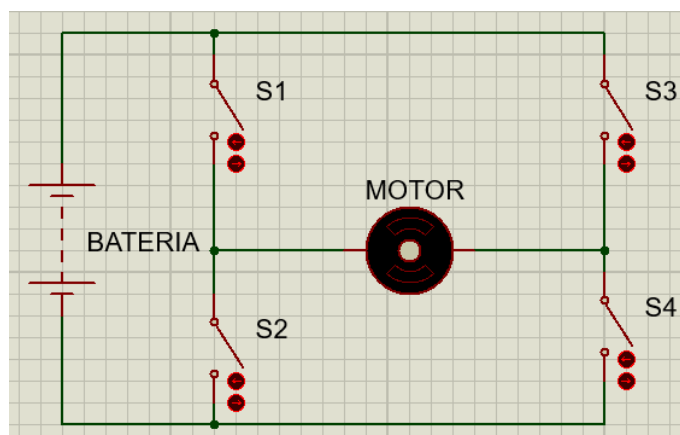


Figura 28. Circuito de Puente H o Chopper de 4 Cuadrantes

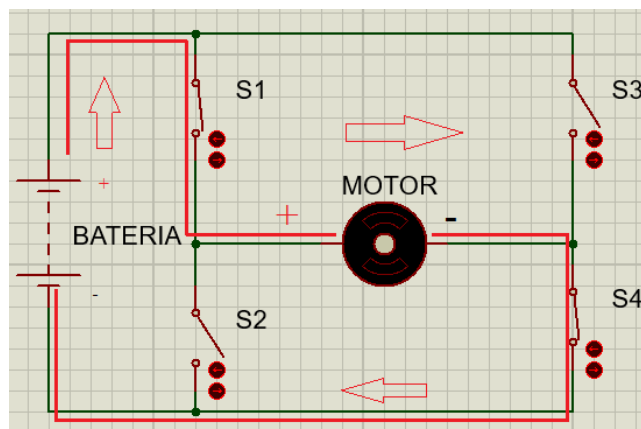
## CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDÁCTICO DE FRENOS REGENERATIVOS

Los transistores son componentes muy utilizados en este tipo de circuitos ya que permiten ser conmutados mediante una señal base que indique el momento de cerrarse y permitir el flujo de corriente que el usuario requiera. Debido a los cambios de polaridad de las bobinas del motor se pueden colocar diodos para proteger el circuito. (M. & M., 2011)

La selección entre un puente h integrado o la realización mediante transistores depende del amperaje, voltaje y potencia que se requiere para el control del motor, debido a que los transistores funcionan a determinadas temperaturas. (Villacrés, 2016)

### Modo de Avance

Para el modo de avance se requiere que los componentes S1 y S4 se cierren y con eso fluir la corriente en un sentido permitiendo que el giro del motor se realice hacia la derecha como se puede apreciar en la figura 29. (Villacrés, 2016)



**Figura 29. Puente H en modo de Avance**

### Materiales

1. Multímetro Digital
2. Desarmador Plano
3. Fuente de alimentación, con amperímetro incluido

#### 4. Guía de laboratorio

##### Procedimiento

##### **Medición de Amperaje**

1. Desconecte el cable de positivo del motor 1, señalizado en el circuito de potencia.
2. Conecte la terminal positiva del multímetro en el positivo del circuito de potencia.  
en el casillero de motor 1 y la terminal negativa conecte al cable del motor 1.
3. Seleccionar la opción de medir amperaje en el multímetro digital y conectarlo en.
4. Accionar el circuito de potencia en modo Avance, mediante el comando “d” en el programa arduino.
5. Tomar mediciones de amperaje y comparar con la fuente de alimentación.

##### **Mediciones de Voltaje**

1. Conectar las terminales del motor 1 al circuito de potencia.
2. Conectar la terminal positiva del multímetro en la parte superior de la bornera en la sección positiva del circuito de potencia y la terminal negativa del multímetro conectar a tierra.
3. Medir el voltaje que transcurre en el circuito de potencia en modo de avance.

## CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDÁCTICO DE FRENOS REGENERATIVOS

### Cuestionario de auto evaluación para el alumno

1. ¿Si se cambiaran los transistores por unos de mayor potencia se tendrán los mismos resultados? ¿Por qué?

---

---

---

2. ¿Qué sucedería si se conectara al revés las terminales del motor 1 al circuito?

---

---

---

3. ¿Si el motor no tuviera ninguna carga alguna, la medición de amperaje variaría?

---

---

---

Conclusiones. (Colocar al menos 3 del trabajo realizado)

Recomendaciones. (Colocar al menos 3 del trabajo realizado)

### Bibliografía

Villacrés, D. (2016). *Construcción de un Banco Didácto de Frenos Regenerativos*. Quito: Universidad Internacional SEK.

M., I. G., & M., M. S. (2011). Diseño e implementación de un módulo didáctico de un módulo didáctico de un Drive Troceador para el control de una máquina de DC en cuatro cuadrantes destinado al Laboratorio de Control Eléctrico y PLC's. *Maskay*, 55-65.



## Anexo E

Asignatura: Autotrónica

### Guía de Laboratorio 2: Circuito de Potencia en Retroceso

#### Objetivo

Argumentar la potencia en el motor 1 desde sus correspondientes terminales con el circuito en su dirección de retroceso, para posteriormente comparar y verificar los valores con la fuente de alimentación, conociendo las precauciones a seguir para prevenir daños e inconvenientes en el circuito.

#### Revisión Teórica

La aplicación de este circuito es el control del motor en sus dos sentidos teniendo un freno regenerativo, donde la corriente y el voltaje puede ser positiva y negativa cambiando las polaridades e invirtiendo el giro del eje del motor. Su aplicación se encuentra ampliamente en la robótica y en convertidores de potencia, se encuentran en circuitos integrados o se los puede fabricar a partir de componentes básicos (Villacrés, 2016). (Ver figura 30)

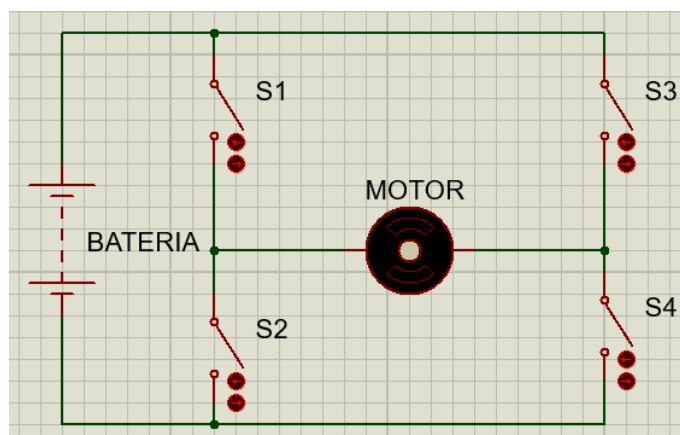


Figura 30. Circuito de Puente H o Chopper de 4 Cuadrantes

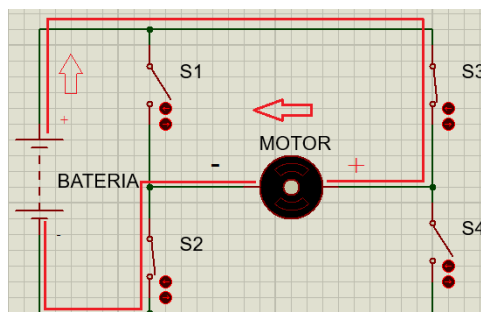
## CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDÁCTICO DE FRENOS REGENERATIVOS

Los transistores son componentes muy utilizados en este tipo de circuitos ya que permiten ser conmutados mediante una señal base que indique el momento de cerrarse y permitir el flujo de corriente que el usuario requiera. Debido a los cambios de polaridad de las bobinas del motor se pueden colocar diodos para proteger el circuito. (M. & M., 2011)

La selección entre un puente h integrado o la realización mediante transistores depende del amperaje, voltaje y potencia que se requiere para el control del motor, debido a que los transistores funcionan a determinadas temperaturas. (Villacrés, 2016)

### Modo de Retroceso

Para el modo de retroceso se requiere que los componentes S3 y S2 se cierren, con eso fluir la corriente en un sentido permitiendo que el giro del motor se realice hacia la izquierda como se puede apreciar en la figura 31. (Villacrés, 2016)



**Figura 31. Puente H en modo de Retroceso**

### Materiales

1. Banco didáctico de Frenos Regenerativos
2. Multímetro Digital
3. Desarmador Plano
4. Fuente de alimentación

## 5. Guía de laboratorio

### Procedimiento

#### **Medición de Amperaje**

6. Desconecte el cable de positivo del motor 1, señalado en el circuito de potencia con el símbolo “+”.
7. Conecte la terminal positiva del multímetro en el positivo del circuito de potencia, en el casillero de motor 1 y la terminal negativa conecte al cable del motor 1.
8. Seleccionar la opción de medir amperaje en el multímetro digital.
9. Accionar el circuito de potencia con el computador en modo retroceso, mediante el comando “i” en el programa arduino.
10. Tomar mediciones de amperaje y comparar con la fuente de alimentación.

#### **Mediciones de Voltaje**

4. Conectar las terminales del motor 1 al circuito de potencia.
5. Conectar la terminal positiva del multímetro en la parte superior de la bornera en la sección positiva del circuito de potencia y la terminal negativa del multímetro conectar a tierra.
6. Medir el voltaje que transcurre en el circuito de potencia en modo de retroceso.

# CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDÁCTICO DE FRENOS REGENERATIVOS

## Cuestionario de auto evaluación para el alumno

1. ¿Si se cambiaran los transistores por unos de mayor potencia se tendrán los mismos resultados? ¿Por qué?

---

---

---

2. ¿Qué sucedería si se conectara al revés las terminales del motor 1 al circuito?

---

---

---

3. ¿Si el motor no tuviera ninguna carga alguna, la medición de amperaje variaría?

---

---

---

Conclusiones. (Colocar al menos 3 del trabajo realizado)

Recomendaciones. (Colocar al menos 3 del trabajo realizado)

## Bibliografía

Villacrés, D. (2016). *Construcción de un Banco Didácto de Frenos Regenerativos*. Quito: Universidad Internacional SEK.

M., I. G., & M., M. S. (2011). Diseño e implementación de un módulo didáctico de un módulo didáctico de un Drive Troceador para el control de una máquina de DC en cuatro cuadrantes destinado al Laboratorio de Control Eléctrico y PLC's. *Maskay*, 55-65.

**Anexo F**

Asignatura: Autotrónica

**Guía de Laboratorio 3: Circuito en Freno Regenerativo****Objetivo**

Comprobar que el motor 1 puede generar energía eléctrica al momento de frenar mediante el arrastre obtenido de un movimiento anteriormente realizado, consecutivamente conocer la capacidad de generación que tiene el motor 1.

**Revisión Teórica**

El motor de corriente continua se lo puede denominar como un convertidor electromecánico que transforma la energía eléctrica a energía mecánica para entregarla a la carga que se encuentre acoplada a su eje. Mediante sus devanados de campo (estator) y devanados de armadura (rotor) el motor consigue el movimiento de su eje cada vez que reciba energía eléctrica. (Villacrés, 2016)

La ventaja de un motor de corriente continua es que cuando recibe movimiento en su eje sin recibir energía eléctrica, este puede convertirse en generador eléctrico donde el voltaje generado dependerá de sus devanados y la velocidad a la cual gire su eje. Este principio de aprovechamiento de energía se lo aplica en vehículos eléctricos para la carga de sus baterías. (Villacrés, 2016)

La generación de energía eléctrica es debido al desplazamiento de un conductor o devanado (rotor) en un campo magnético establecido por los imanes (estator) que contiene el motor eléctrico teniendo consecuencia la generación de una tensión. (Contreras & Sánchez, 2010)

## CONSTRUCCION DE UN BANCO DIDÁCTICO DE FRENOS REGENERATIVOS

### Materiales

1. Multímetro
2. Guía de Laboratorio

### Procedimiento

1. Actuar al circuito en modo de generación
2. Conectar las terminales del multímetro en las terminales del motor 1
3. Conectar las terminales del multímetro con el foco y comprobar el voltaje con la pantalla de display.
4. Realizar la medición de voltaje en el motor 1 sin que el foco se encuentre conectado al circuito.

### Cuestionario de auto evaluación para el alumno

1. ¿Por qué hay mayor voltaje generado cuando se desconecta el foco?

---

---

---

2. ¿Los valores de energía eléctrica cambiarían si se cambiaran las conexiones en el circuito de los terminales del motor 1?

---

---

---

3. ¿Cómo aumentaría la capacidad de generar energía eléctrica mecánicamente?

---

---

---

Conclusiones. (Colocar al menos 3 del trabajo realizado)

Recomendaciones. (Colocar al menos 3 del trabajo realizado)

Bibliografía.

Villacrés, D. (2016). *Construcción de un Banco Didácto de Frenos Regenerativos*. Quito:  
Universidad Internacional SEK.

Contreras, E., & Sánchez, R. (2010). *Diseño y Construcción de un banco de prácticas en Motores Eléctricos, como apoyo a la asignatura Diseño de Maquinas II*.  
Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

**Anexo G**

Asignatura: Autotrónica

**Guía de Laboratorio 3: Circuito en Freno Regenerativo****Objetivo**

Conocer el consumo de corriente que tiene el motor eléctrico, relacionando con el voltaje y su velocidad, para determinar factores que influyen en el funcionamiento del motor.

**Revisión Teórica****Componentes de un Motor de Corriente Continua.**

Los componentes principales de este tipo de máquina eléctrica son: el estator (parte fija) y el rotor (parte móvil). También son indispensables los carbones o escobillas que conectan la parte fija y el móvil. Es importante recalcar que el devanado de campo es colocado en el estator y al devanado de armadura es el que se encuentra en el rotor.

(Villacrés, 2016)

En la figura 31 y 32 se detallan las partes de una máquina de corriente continua



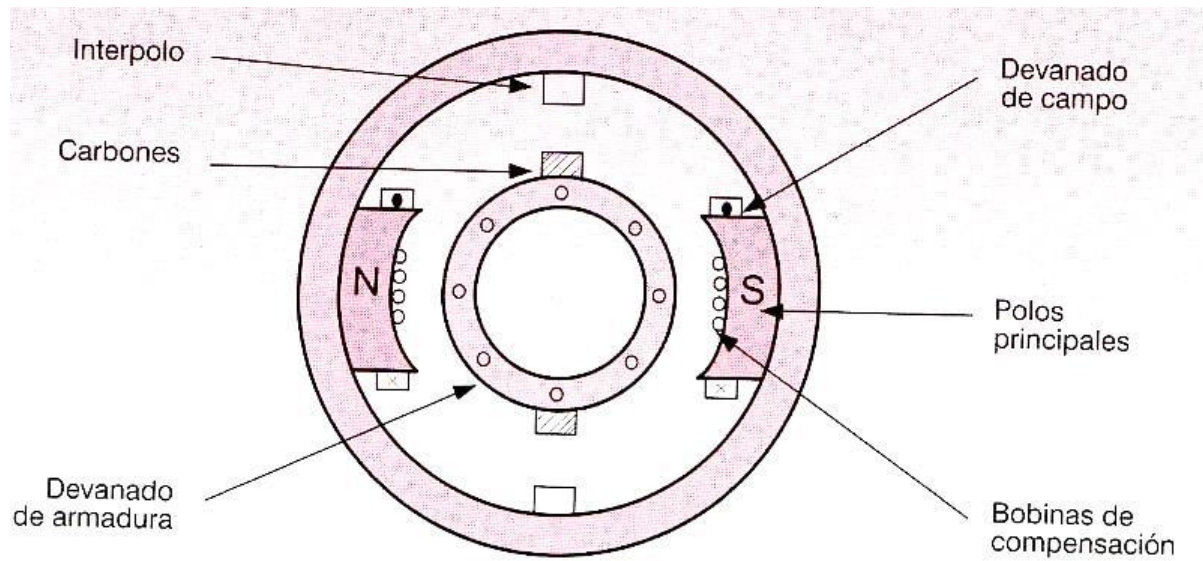


Figura 31. Componentes máquina corriente continua, tomado de: (Cruz & López, 2008)

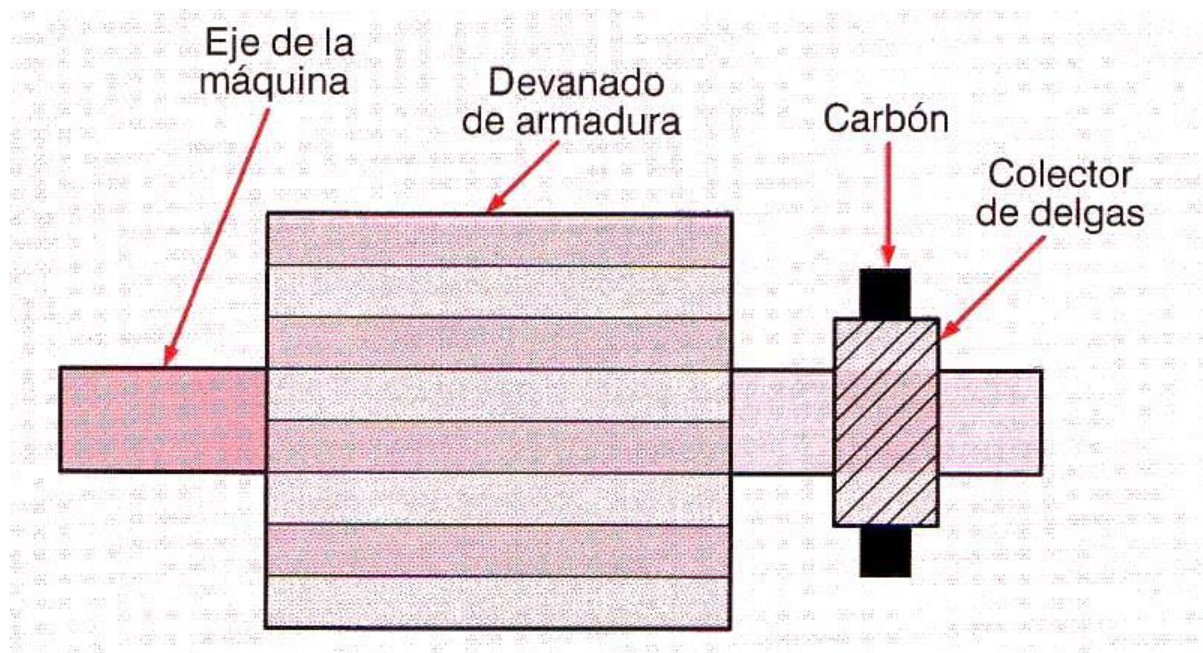


Figura 32. Rotor de una máquina de corriente continua, tomado de: (Cruz & López, 2008)

El estator es la carcasa de la máquina mientras que el rotor está libre para tener movimiento y por lo general es la parte interna de la máquina. Estos componentes están generalmente fabricados con materiales ferromagnéticos y la mayor parte de los estatores tienen ranuras externas e internas en las cuales se colocan conductores. (Villacrés, 2016)

La clasificación de estos motores depende por la corriente de excitación, esto es debido a que el devanado de campo es un electroimán una intensidad de corriente debe fluir a través del mismo. Se puede suministrar al devanado de campo en dos formas: mediante una fuente externa independiente de corriente continua en cuyo caso se clasifica al motor o generador como de excitación independiente, o puede provenir de la propia conexión de la armadura del motor o generador en ese caso se denomina autoexcitado. (Villacrés, 2016)

### **Funcionamiento de un Motor de Corriente Continua.**

El modo de funcionamiento más característico de las máquinas de corriente continua es generalmente como motores. Su ventaja sobre motores de corriente alterna es que proporciona mayor flexibilidad para el control de la velocidad y del par, por lo que se ha diversificado su aplicación en accionamientos industriales. (Villacrés, 2016)

Como se ha mencionado una máquina de corriente continua puede funcionar como motor o como generador. El motor convierte la potencia eléctrica en potencia mecánica, en tanto que el generador transforma la potencia mecánica en potencia eléctrica. (Villacrés, 2016)

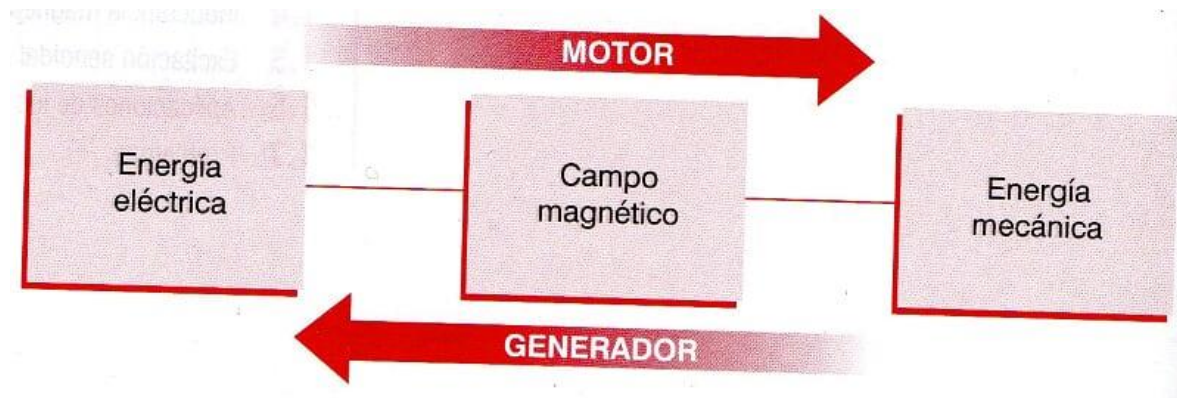


Figura 33. Funcionamiento máquina de corriente continua, tomado de: (Cruz & López, 2008)

El empleo de la máquina de corriente continua como generador o dinamo está prácticamente obsoleto debido a las mayores ventajas que presente un motor de corriente alterna. (Villacrés, 2016)

Para que la máquina de corriente continua actúe como generador se debe aplicar un esfuerzo mecánico al eje del rotor haciendo que gire, las bobinas de la armadura cortarán el flujo magnético induciéndose en ellas una tensión de corriente alterna convirtiéndola en corriente continua mediante el colector de delgas y las escobillas. (Villacrés, 2016)

#### Materiales

- ✓ Tacómetro digital
- ✓ Banco didáctico
- ✓ Fuente de alimentación
- ✓ Multímetro

### Procedimiento

1. Conectar el multímetro en serie con el motor 1 en su conexión a positivo para medir amperaje.
2. Colocar los señalamientos de medición del tacómetro digital en el motor 1 y motor 2.
3. Activar mediante el computador y el banco didáctico al motor 1 en sentido horario, después en sentido anti-horario y al final el motor 2
4. Mediante el tacómetro y su señalamiento digital medir la velocidad (RPM) del motor 1 en ambos sentidos y al finalizar la velocidad del motor 2, variando el voltaje en la fuente
5. Observar el consumo que tiene en cada variación de voltaje e ir comparando con la velocidad para cada medición.
6. Al tomar las mediciones de velocidad en el motor 2 se observó mediante el voltímetro y amperímetro cuanto voltaje y amperaje se generó de parte del motor 1

Cuestionario de auto evaluación para el alumno

4. ¿La carga que tiene en el eje el motor afecta a la velocidad?

---

---

---

5. ¿La corriente determina la velocidad del motor eléctrico?

---

---

---

6. ¿Si se aumentaría el voltaje de lo indicado la velocidad aumentaría?

---

---

---

Conclusiones. (Colocar al menos 3 del trabajo realizado)

Recomendaciones. (Colocar al menos 3 del trabajo realizado)

Bibliografía.

Villacrés, D. (2016). *Construcción de un Banco Didácto de Frenos Regenerativos*. Quito:

Universidad Internacional SEK.