

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT TODO TERRENO  
UTILIZANDO EL SISTEMA ROCKER-BOGIE Y TELEOPERADO  
INALÁMBRICAMENTE PARA EL LABORATORIO DE ROBÓTICA DE LA  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**

Autor: Diego Paúl Quezada Cepeda

Director: Ing. Fernando Olmedo, Codirector: Ing. Edgar Tipán.

Departamento, Ciencias de la Energía y Mecánica – Carrera de Ingeniería Mecatrónica.

Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE

Abril – 2014

## **I. RESUMEN**

El presente proyecto de grado correspondiente al diseño y construcción de un robot todo terreno con el sistema de suspensión Rocker-Bogie, tiene como objetivo principal desarrollar los conocimientos relativos al diseño y tecnología necesaria para la construcción de dicho robot, comprendiendo el funcionamiento de sus dos brazos basculantes conectados mediante un mecanismo diferencial y como todo este conjunto elementos mecánicos ayudan en la navegación y movilidad del robot

sobre terrenos irregulares. El diseño del robot está basado en tres sistemas principales: sistema mecánico, sistema electrónico y sistema de control, cada uno detallado con su respectivo análisis técnico o justificación. En el presente proyecto se detalla además los pasos para la construcción y montaje de las partes constitutivas del vehículo junto con un análisis de costos y gastos presentes en el durante dicho proceso.

La particularidad de este vehículo explorador a parte de su sistema de suspensión es la capacidad de

navegación de manera autónoma, detectando y esquivando objetos que se atraviesen en su camino, todo gracias a la programación de un microcontrolador presente en una placa Arduino, el mismo que representa el cerebro del robot.

Cabe mencionar que el robot se lo manipula inalámbricamente, para lo cual adicionalmente al desarrollo técnico de este proyecto, se elabora un manual de usuario para que el operador del robot pueda manipularlo fácilmente y pueda interpretar todos los datos desplegados en la interfaz gráfica programada en el software de LabView, además de las señales luminosas localizadas tanto en el robot como las del control remoto.

**Palabras clave:** Robot, todo terreno, teleoperación, telepresencia, Rocker, Bogie, arduino, cámara inalámbrica, LabView.

## II. INTRODUCCIÓN

Los esfuerzos de la humanidad por estudiar el espacio desde el punto de vista científico y económico se denominan exploración espacial. Estos esfuerzos involucran tanto a seres humanos viajando en naves espaciales como también a satélites y robots teleoperados enviados a otros planetas.

El planeta que más ha despertado el interés del hombre es Marte, el mismo que ha sido objeto de estudios a través de diferentes misiones con el objetivo de responder la pregunta de si hubo o hay vida en éste planeta.

En 1996, se llevó a cabo la primera misión que incluía un robot explorador llamado Sojourner, convirtiéndose en una misión exitosa que alentó a los científicos de la NASA para continuar la exploración con nuevos robots. En el 2004, la misión denominada Mars Exploration Rover que incluía el envío de dos robots idénticos fue catalogada como una de las misiones ilustres de la

NASA. Para agosto del 2012, la NASA nuevamente situó otro vehículo explorador llamado Curiosity, siendo éste más pesado y dos veces más grande que sus antecesores, y considerado como el laboratorio móvil de instrumentación avanzada más sofisticado del momento. Los resultados científicos de estos robots han sido exitosos, lo cual muestra que las agencias aeronáuticas seguirán con el uso de robots móviles para la exploración espacial en el futuro.



Figura N° 1: Robots de la NASA.

Fuente: (MrReid, 2011)

A nivel internacional, los avances más importantes de la robótica móvil se los ve reflejados en las investigaciones astronáuticas para preparar las condiciones necesarias para la

exploración y colonización humana. Estos robots móviles emplean diferentes sistemas de locomoción como patas, ruedas, orugas e incluso arrastrándose como los reptiles y son diseñados para adaptarse a entornos no estructurados, lo cual ha ampliado de manera significativa los desafíos de la investigación de la robótica en áreas de la tele operación y modelos de navegación.

Por otro lado, la falta de métodos cuantitativos para ayudar a la robótica en el diseños de locomoción específicos, hace difícil identificar los puntos esenciales a tomar en cuenta para el diseño y en muchos casos los rasgos en cuanto a la disposición óptima de los elementos alrededor del chasis no se los puede determinar hasta cuando el robot está totalmente desarrollado y probado, y es ahí donde radica la verdadera importancia de este proyecto, desarrollar el conocimiento y adquirir experiencia de la movilidad y navegación de este tipo de robots exploradores.

### III. ALCANCE DEL PROYECTO

- **Sistema mecánico:**

El sistema de suspensión Rocker-Bogie, tiene dos juntas basculantes denominadas Rocker en inglés y están unidas mediante un diferencial. En uno de los extremos de cada brazo basculante existe un elemento que pivota en un punto, el mismo que es conocido con el nombre de Bogie.

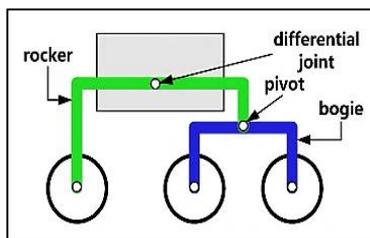


Figura N° 2: Sistema de suspensión.

Fuente: (Sciencedirect, 2013)

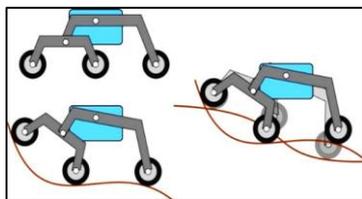


Figura N° 3: Funcionamiento del Sistema Rocker-Bogie.

Fuente: (Facepunch, 2014)

- **Sistema eléctrico/electrónico:**

Consta de 6 motores de corriente continua para el sistema de tracción y 4 servomotores para la dirección, permitiendo así que el robot puede girar en el mismo lugar sin desplazarse en ninguna dirección; la parte electrónica posee también controladores para los motores, un microcontrolador, sensores para detectar la presencia de obstáculos y la alimentación será a través de baterías. Otros dispositivos electrónicos que se emplearán son, una cámara inalámbrica que se encargará de transmitir el video y audio desde el robot hasta una estación de control remota y un módulo de comunicación inalámbrica Xbee que utiliza un protocolo de comunicación llamado Zigbee, basado en el estándar de comunicaciones para redes inalámbricas IEEE\_802.15.4. Estos dispositivos reciben señales para luego decodificarlas en señales digitales y transmitir las a un microcontrolador para que las procese y emita señales de

control. Gracias a estos dos dispositivos, un operador puede monitorear y tomar decisiones sobre el robot sin la necesidad de medios alámbricos en cualquier momento.

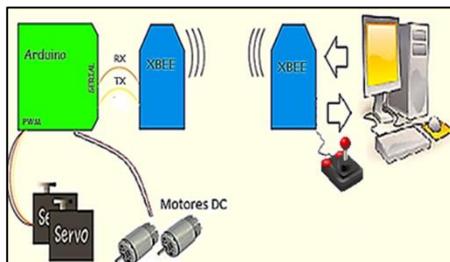


Figura N° 4: Comunicación inalámbrica - Xbee.

- **Sistema de control:**

El robot será comandado por un microcontrolador, el mismo que recibirá señales de los sensores y las procesará para luego ejecutar acciones correspondientes en los actuadores del robot respetando sus movimientos y las acciones para las cuales fue diseñado.

Los motores poseen suficiente torque y velocidad para ayudar en la movilidad del robot y estos estarán controlados por

señales de PWM y sincronizados desde el sistema de control.

Con la ayuda del software LabView, se programará una estación de monitoreo conocida también como Interfaz Humano Máquina (HMI por sus siglas en inglés), donde el operador podrá visualizar la imagen transmitida por la cámara inalámbrica en tiempo real, lo cual, le permitirá al operador manipular el robot a distancia gracias a un conjunto de tecnologías que hacen posible la tele presencia. La tele presencia hace que el operador se sienta como si estuviese presente en un lugar distinto al de su verdadera ubicación.

*“Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.” - Albert Einstein.*

## IV. DISEÑO DEL ROBOT

### 1. SISTEMA MECÁNICO

A parte del sistema de suspensión Rocker-Bogie, el vehículo cuenta con las siguientes características mecánicas:

- Movilidad del mecanismo: 2
- Todas las ruedas soportan el mismo peso; 2Kg.
- Sistema de dirección mecánica independiente con servomotores.
- El robot mantiene en equilibrio su chasis gracias a un diferencial mecánico.
- Dimensiones de las ruedas:  $\varnothing$  12.5 cm, ancho: 7.5 cm; fabricadas de Aluminio.
- Dimensiones del robot; largo: 60 cm, ancho: 45 cm y altura: 35 cm.
- El centro de gravedad se encuentra en la parte central del vehículo, a 0.20 m sobre el suelo. Este aspecto es muy importante para la estabilidad de la plataforma en el momento de sobrepasar diferentes obstáculos.

### 2. SISTEMA ELÉCTRICO / ELECTRÓNICO.

Las características principales de los motores de tracción son:

- Marca: Robotzone.
- Torque: 750 [onz-in].
- Corriente máxima: 1 Amp a 12V
- Voltaje: 6-12 VDC
- Relación de transmisión: 300:1
- Peso: 0.5 libras.
- Tamaño del motor: 1.355" Dia. x 1.70"L.
- Tamaño del eje: 6mm (0.236") Dia. x 0.715"L.



Figura N° 5: Motores de tracción.

Fuente: (ServoCity, 2014)

Los cuatro servomotores de dirección controlan la dirección de las ruedas delanteras y posteriores, y sus características principales se las muestra a continuación:

- Voltaje de operación: 4.8-6.0 Volts.
- Torque máximo (4.8V): 72oz/in. (5.2kg.cm).
- Torque máximo (6.0V): 89 oz/in. (6.4kg.cm).
- Dirección: CW pulsos 1500 a 1900usec.
- Peso: 1.59oz. (45g).
- Dimensiones: 1.57" x 0.78"x 1.49" (39.8 x 19.8 x 38mm).

Estos servomotores son parte de cajas de reducción que forman parte del sistema de dirección mecánica independiente, como se puede apreciar en la figura 6:

*“El triunfo del verdadero hombre surge de las cenizas del error.”* – Pablo Neruda



Figura. Nº 6: Caja de transmisión servo controlada.

Fuente: (ServoCity, 2014)

El controlador o driver utilizado para los motores, tiene las siguientes características:

- 12A continuos, 25A pico por canal.
- Soporta hasta 24V de entrada.
- Modos de entrada: Análogo, R/C, Serial.
- Tamaño: 2.3" x 3" x .7", 59 x 75 x 17 mm.

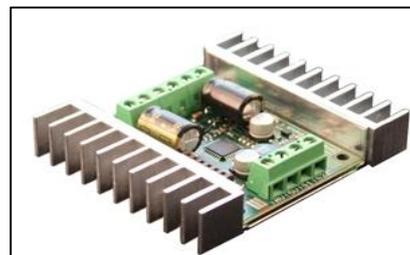


Figura. Nº 7: Controlador de motores Sabertooth.

Fuente: (Dimension Engineering, 2014)

### 3. SISTEMA DE CONTROL:

El control del robot, se lo realiza con un microcontrolador de las tarjetas de hardware libre Arduino; para el control remoto se empleó una tarjeta Arduino Uno R3 y para el control de los actuadores en el robot, se empleó la tarjeta Arduino Mega 2560 R3.

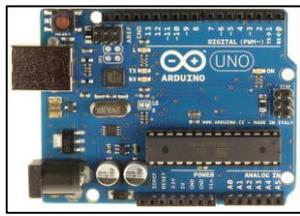


Figura. N° 8: Placa ARDUINO UNO.

Fuente: (Arduino, 2014)

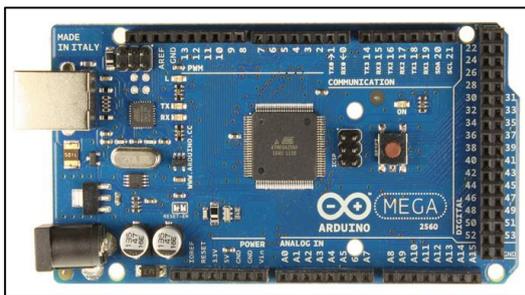


Figura. N° 9: Placa ARDUINO MEGA.

Fuente: (Arduino, 2014)

Además para el sistema de control se programara una interfaz humano

máquina HMI por sus siglas en inglés, para el monitoreo y control del robot. Ésta interfaz está programa en LabView y facilita al operador el control del vehículo explorador, ya que en la pantalla del computador, se proyecta la imagen captada por el receptor de audio y video de la estación base. La imagen proyectada en la pantalla de computador proviene de la cámara inalámbrica montada en el robot.

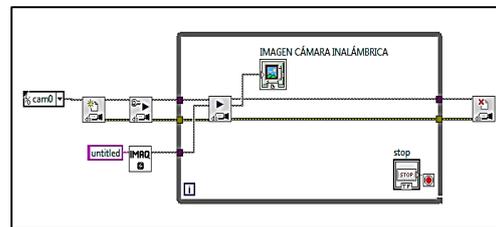


Figura. N° 10: Programación para la captura de imagen de la cámara – LabView.



Figura. N° 10: Interfaz de Usuario desarrollada en LabView.

La arquitectura del software se presenta a continuación en la siguiente figura, donde se indica el funcionamiento y la interacción entre las partes del software.

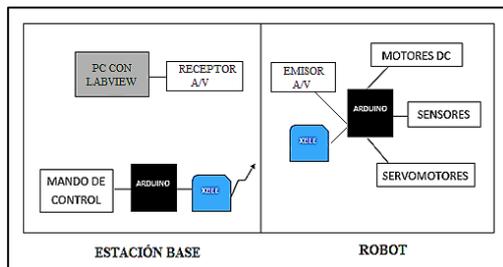


Figura. Nº 12: Arquitectura del programa en la estación base y del robot.

La topología de red de los módulos Xbee es mediante una conexión Punto a Punto, como se puede apreciar en la Figura 13:

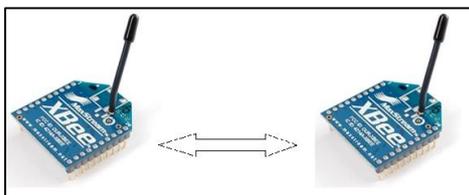


Figura. Nº 13: Conexión Punto a Punto de los módulos XBee.

## V. CONSTRUCCIÓN DEL ROBOT



Figura Nº 14: Resultado final de la fabricación de las ruedas.



Figura. Nº 15: Resultado final fabricación brazo basculante.



Figura. Nº 16: Resultado final de la fabricación del Bogie.

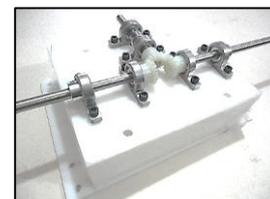


Figura. Nº 17: Resultado final fabricación diferencial mecánico.



Figura. N° 18: Resultado final fabricación Acople para ruedas.



Figura. N° 19: Resultado final fabricación carrocería del robot.

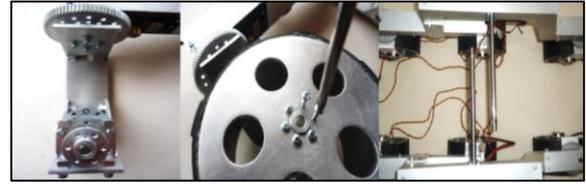


Figura. N° 22: Ensamblaje de ruedas y ejes del diferencial mecánico.



Figura. N° 23: Ensamblaje y montaje de la carrocería del robot.

## VI. MONTAJE DE COMPONENTES



Figura. N° 20: Ensamblaje del acople de las ruedas del robot junto con los motores.



Figura. N° 21: Ensamblaje del Sistema de suspensión Rocker-Bogie.

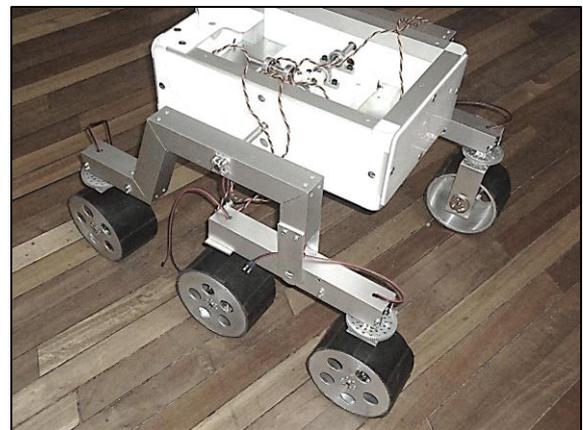


Figura. N° 24: Resultado final del ensamblaje mecánico del robot.

*“Elige un trabajo que te guste y no tendrás que trabajar ni un día de tu vida.” - Confucio*

## VII. PRUEBA DE MOVILIDAD EN TERRENO TIPO BOSQUE

La dinámica del robot a través de un terreno tipo bosque es aceptable, teniendo en cuenta aspectos como: la fluidez del movimiento, la estabilidad del vehículo y deslizamiento de sus ruedas.

Ya que las ruedas fueron recubiertas con caucho, esto brinda una mejor adherencia de las ruedas a la superficie del terreno y aumenta la capacidad de navegación del vehículo sobre superficies irregulares boscosas, donde la hierba puede provocar que las ruedas pierdan tracción.



Figura. Nº 25: Pruebas de movilidad del robot en terreno tipo bosque.

El sistema de dirección servo controlado de las ruedas funciona adecuadamente al momento de curvar o cambiar de dirección, colocando las ruedas a  $20^\circ$  y así mismo cuando el robot posiciona todas sus ruedas a  $45^\circ$  grados.



Figura. Nº 26: Robot todo terreno con sus cuatro ruedas curvadas.

Durante las pruebas realizadas, la altura máxima de las irregularidades por las cuales el robot atravesó exitosamente fue de 15 cm dado el buen torque de los motores utilizados para la tracción en cada rueda.



Figura. Nº 27: Robot todo terreno atravesando obstáculos.

El desempeño del robot sobre superficies inclinadas es aceptable. La máxima pendiente que éste puede subir o bajar sin que se vea afectada su estabilidad es de 30° grados.



Figura. Nº 28: Robot subiendo un terreno inclinado.

También, robot todo terreno fue probado en una superficie irregular de 30° grados de inclinación, por donde cruzó sin presentar mayor inconveniente pero por motivos de seguridad, es preferible no exceder dicha inclinación.



Figura. Nº 29B: Robot atravesando un terreno inclinado.

## VIII. CONCLUSIONES

- En este proyecto se alcanzaron satisfactoriamente los objetivos planteados, tanto en la movilidad del robot como la tele operación del vehículo; Sin embargo el robot, presenta ciertas restricciones en cuanto a su movilidad a través de terrenos irregulares especialmente superando obstáculos tipo grada ya que no es un robot diseñado con propósitos de escalar.
- El robot cuenta con diez motores para su movilidad, seis para el sistema de tracción en cada rueda y 4 para el sistema de dirección independiente localizados en las ruedas delanteras y posteriores, lo cual facilita el trabajo de programación y hace posible que la navegación del robot sea aún más eficiente pero incrementa notablemente el costo de fabricación del vehículo todo terreno.

- La carrocería del robot se mantiene fija y equilibrada gracias a su mecanismo diferencial, esto debido a que cada brazo basculante se encuentra conectado a través de un eje de acero que cuenta con un engrane en su extremo que se conecta al diferencial mecánico montado sobre la carrocería principal del robot y el engranaje central no puede moverse si ninguno de los brazos basculantes gira.
- Se comprobó que el peso del robot puede ayudarle a que las ruedas generen mayor tracción sobre el terreno, lo que no ocurriría si el robot fuese muy liviano ya que la fuerza de rozamiento disminuiría.
- El tubo que sostiene a la rueda de la mitad y a la rueda trasera, pivotea en su punto central, pero se debe considerar la singularidad del mecanismo para restringir este movimiento, ya que esto provocaría que la rueda que se mantiene sobre el suelo mientras el robot atraviesa obstáculos, llegue a soportar mucho peso, lo cual podría provocar daños en la estructura de la rueda principalmente en los soportes fabricados para los motores de tracción.
- La holgura entre los dientes de los engranajes que conforman el diferencial mecánico hace que la carrocería se mueva ligeramente, principalmente cuando el robot se moviliza a través del terreno irregular; esto debido a que el punto de contacto entre los engranajes no se produce en toda la cara de los mismos.
- Se quiso comunicar las tarjetas arduino de hardware libre con el software de LabView, para lo cual era necesario cargar ciertas librerías, en la programación de las tarjetas de arduino, lo cual generaba conflictos de comunicación, por lo que se optó

por realizar una programación en la interfaz de LabView sin emplear comandos de arduino.

- La comunicación serial entre la placa Arduino Uno del control remoto, la placa Arduino Mega localizada en el robot y el módulo de comunicación por radio frecuencia de la estación base, dificultaba el funcionamiento del robot; ya que al emplear módulos de comunicación Xbee de la serie 1 donde estos dispositivos solo permiten una comunicación tipo Half-Duplex, por lo que se optó por suspender el envío de datos desde el robot hacia la computadora de la estación base y así dar prioridad a los datos de información enviados desde el control remoto hacia el robot.
- Para controlar los seis motores de tracción con el manejador o driver de motores Sabertooth, se debe conectar la tierra de alimentación de 12 voltios de la batería que emplean estos

motores con la tierra del sistema de control y de la misma manera, asegurarse de conectar la tierra del Arduino con el negativo de la fuente de alimentación externa de los servomotores.

- Si se desea lograr una tele operación más satisfactoria y eficiente, en la selección de los equipos, se debe considerar no solamente la distancia y obstáculos, si no también condiciones ambientales como polvo, viento o incluso interferencias de otros equipos y ruido electromagnético del ambiente.
- Dotar a las ruedas con cauchos que poseen un labrado profundo o tacos de caucho grandes, hace que las ruedas no tengan un movimiento suave, si no que provocan pequeños saltos y vibraciones como traqueteo; pero estas ruedas ayudarían más al robot durante su navegación.

## IX. RECOMENDACIONES

- Es recomendable el uso de pegamentos o retenedores de ejes y rodamientos principalmente en los casquillos que van montados en el eje de los motores de transmisión y de esta manera evitar que los ejes tiendan a moverse de su posición idónea debido a impactos o vibraciones.
- De la misma manera se recomienda el uso de fijadores para tuerca y pernos en cada una de las uniones empernadas, ya que las tuercas pueden con el tiempo aflojarse y causar que la estructura se debilite debido a fuertes vibraciones por elementos flojos.
- Para la fabricación de la carrocería del robot, se recomienda utilizar materiales livianos pero resistentes ya que emplear materiales como la plancha de acero o tol galvanizado, hace que el peso del robot aumente significativamente.
- Se recomienda utilizar baterías independientes tanto para la parte de potencia como para la parte de control, ya que el consumo alto de corriente que pueden generar los motores, puede causar que las señales de control cambien o varíen si la corriente de alimentación cambia bruscamente en los componentes electrónicos.
- Es de mucha ayuda adquirir engranajes con chavetas y pernos prisioneros para que el diferencial mecánico brinde mayor estabilidad al robot e impedir cualquier movimiento de sus elementos.
- Para el cableado del sistema eléctrico, se recomienda utilizar tubo flexible de protección para cable ya que así se evitan cortes y roturas de los mismos y por ende se evitan corto circuitos que pueden dañar los componentes electrónicos.

- Se recomienda tener precaución con la distribución de cables del sistema eléctrico y electrónico, ya que si se tienen muy cerca cables por donde circula una corriente elevada, como por ejemplo los cables de alimentación para los motores, junto con un cable de control de un servo motor; puede causar que el ruido electromagnético generado en estos, provoque o cause que el servomotor funcione erróneamente o empiece a vibrar descontroladamente.
- Para mejorar el sistema mecánico del robot, es necesario emplear la menor cantidad de juntas empernadas y en las juntas soldadas es recomendable diseñar nervios de soporte en uniones perpendiculares para evitar deformaciones y pandeos excesivos.

*“Haz lo necesario para lograr tu más ardiente deseo, y acabarás lográndolo.” - Ludwig van Beethoven*

## X. REFERENCIAS

### BIBLIOGRÁFICAS

- Arduino. (2014). Arduino Uno. Obtenido de [www.arduino.cc/es/](http://www.arduino.cc/es/)
- Arduino. (2014). Productos. Obtenido de [arduino.cc/en/Main/Products](http://arduino.cc/en/Main/Products)
- Dimension Engineering. (2014). Sabertooth dual 12A motor driver. Obtenido de [www.dimensionengineering.com/products/sabertooth2x12](http://www.dimensionengineering.com/products/sabertooth2x12)
- Facepunch. (2014). Rocker bogie suspension. Obtenido de [facepunch.com/showthread.php?t=1160473&page=6](http://facepunch.com/showthread.php?t=1160473&page=6)
- MrReid. (2011). Curiosity's nuclear battery. *WordPress*. Obtenido de [wordpress.mrreid.org/2011/12/14/curiosity-rover-nuclear-batter/](http://wordpress.mrreid.org/2011/12/14/curiosity-rover-nuclear-batter/)
- Pierre Lamon. (2010). Wheel torque control for a rough terrain rover. *Swiss Federal Institute of Technology, 2*.
- Sandin, P. E. (2003). *Robots Mechanisms and Mechanical Devices illustrated*. United States: McGraw-Hill.
- Sciencedirect. (2013). Optimal design and kinetic analysis of a stair-climbing mobile robot with rocker-bogie mechanism. Obtenido de [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094114X1100231X](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094114X1100231X)
- ServoCity. (2014). 10 RPM Precision Gear Motor. Obtenido de [www.servocity.com/html/10\\_rpm\\_precision\\_gear\\_motor.html#.U1klbFd8qGQ](http://www.servocity.com/html/10_rpm_precision_gear_motor.html#.U1klbFd8qGQ)