

DISEÑO DE SISTEMA DE CONTROL PARA EL MOVIMIENTO OMNIDIRECCIONAL DE UN ROBOT

Julio Alberto delgado Gerón

Daniel Sandria Flores &

Resumen

Este trabajo de tesis es sobre la creación de un diseño de sistema de control para el movimiento omnidireccional de un robot. Este robot será la base para realizar varios proyectos en el futuro, ya que se tiene la idea que para ese tiempo el robot interactúe con el hombre y su entorno y pueda funcionar como un robot de servicio en el hogar. Por el momento se busca que sea un prototipo didáctico, en el cual los alumnos de ingeniería mecatrónica, puedan aprender de manera práctica los conocimientos que se adquieren en las materias de teoría de control I, II y III, así como también las materias de programación, mecánica y electrónica.

Los alumnos podrán observar cómo funcionan los sistemas de control, en específico, el sistema PID (mecanismo de control por retroalimentación, consiste de tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo) que será con el cual el robot mantendrá el equilibrio. Observarán como funciona cada parámetro de este sistema, así como, registrará la lectura de los sensores, los cuales serán los giroscopios estos mandarían la posición del robot y el sistema la corregirá.

Palabras clave

Robot, control, control PID, electrónica aplicada.

* Julio Alberto Delgado Gerón alumno de Ingeniería en Mecatrónica por Universidad de Xalapa. (julio_1125_226@hotmail.com).

* Daniel Sandria Flores es Maestro en Dispositivos Semiconductores, por la Universidad Autónoma de Puebla. y es Ingeniero en Instrumentación Electrónica por la Universidad de Veracruzana y participa como catedrático en licenciaturas y posgrados de la Universidad de Xalapa. (daniel.sandria@gmail.com).

I. INTRODUCCIÓN

El péndulo invertido es uno de los ejemplos más conocidos de sistemas para estabilizar, fue ampliamente estudiado por la industria aeroespacial, y hoy en día todavía es un problema importante de control, ya que cada vez hay más sistemas que pueden aproximarse con este modelo.

Si bien, el interés sobre el problema local del péndulo invertido reside en la estabilización de una posición inestable en lazo abierto, lo cual constituye un problema de control notable que puede ser resuelto por métodos lineales, ya que en sistemas lineales la estabilización de un punto inestable en lazo abierto no ofrece gran problema, éstos aparecen cuando el sistema es no lineal.

En este proyecto se busca aplicar un sistema de péndulo invertido en un robot, el cual mantendrá el equilibrio sobre una pelota. Este tendrá dos propósitos, uno de ellos es crear las bases para que en el futuro el robot pueda llevar en él herramientas o cualquier tipo de objetos, sin tirarlos; con un movimiento muy fluido en todas direcciones. Ya que su desplazamiento, puede ser en un terreno plano o un terreno inclinado, siempre manteniendo una posición apta para el transporte de objetos.

El segundo propósito, es que este proyecto puede ser utilizado de una manera didáctica, para que los jóvenes que se encuentran en semestres menores puedan cambiar su programación interna, ya sea para trazarle rutas o darle un nuevo algoritmo, que les ayude a mantener el equilibrio pero dando respuestas más lentas o más rápidas según sea necesario.

Antecedentes

En la actualidad, ya existe el prototipo de un robot que se mantiene sobre una pelota, en el cual se están realizando pruebas para mejorar la programación, y esperando obtener una mejor interacción robot-hombre.

El Dr. Masaaki Kumagai, director del Robot Development Engineering Laboratory de la Universidad de Tohoku Gakuin en Japón, creó un robot con la posibilidad de hacer equilibrio sobre una pelota.

El robot, llamado BallIP, tiene tres ruedas omnidireccionales y puede no solamente hacer equilibrio a la perfección también puede desplazarse.

Hasta ahora el Dr. Kumagai y el estudiante que le propuso el proyecto, llamado Takaya Ochiai, construyeron tres diferentes robots y el más fuerte de todos, pudo soportar un ladrillo de 10 kilos. Pero también hicieron que trabajen en conjunto para transportar un marco de madera.

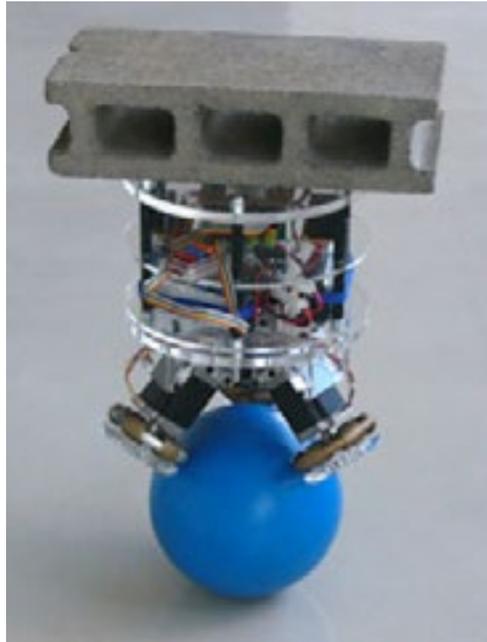


Figura 1. 1 Robot BallIP <http://hipertextual.com/2010/05/un-robot-que-hace-equilibrio-sobre-una-pelota>

Este robot tiene medio metro de altura, pesa 7.5 kilos y se mantiene sobre una bola de 20 centímetros de diámetro recubierta con goma. Las ruedas que tiene en la parte inferior son controladas por un microcontrolador de 16-bit, que a su vez recibe información de acelerómetros y giroscopios.

La idea del Dr. Kumagai es poder hacer el robot más amigable en un futuro y permitir que pueda transportar cosas. Tomado de (<http://hipertextual.com/2010/05/un-robot-que-hace-equilibrio-sobre-una-pelota>)

En la universidad de Xalapa en la carrera de ingeniería, así como en otras universidades de la región, no existe aún un robot con estas características, por eso se buscará crear uno con fines didácticos, para impulsar el desarrollo de los alumnos de mecatrónica de la universidad de Xalapa. Y que al igual que el Dr. Kumagai tratar que el robot en el futuro sea un autómata que ayude en labores del hogar.

Descripción de los materiales

Para la creación de este prototipo necesitaremos varios componentes electrónicos (sensores, motores, ruedas, micro controladores y algunos controladores) a continuación describiré algunos.

Comenzaremos por el microcontrolador, el cual funcionara como el cerebro del robot en el cual se guardara lo programación del sistema de control digital, y también será encargado de dar las ordenes por medio de pulsos eléctricos a los demás componente. El microcontrolador que elegí fue el ATM 2560 en la plataforma de Arduino, su nombre comercial es Arduino mega.

El Arduino Mega está basado en el microcontrolador ATmega2560. Tiene 54 pines de entradas/salidas digitales (14 de las cuales pueden ser utilizadas como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serial por hardware), cristal oscilador de 16 Mhz, conexión USB, jack de alimentación, conector ICSP y botón de reset. Incorpora todo lo necesario para que el microcontrolador trabaje; se implementa conectándolo a la PC por medio de un cable USB o con una fuente de alimentación externa. El Arduino Mega es compatible con la mayoría de los shields diseñados para Arduino Duemilanove, diecimila o UNO. (<http://arduino.cl>, 2015)

Este microcontrolador recibirá información de un sensor que ayudara a que el robot mantenga el equilibrio, este sensor será un giroscopio.

Los giroscopios son pequeños sensores, de bajo costo para medir la velocidad angular. Las unidades de velocidad angular se miden en grados por segundo ($^{\circ} / s$) o revoluciones por segundo (RPS). La velocidad angular es simplemente una medida de la velocidad de rotación.



Figura 1. 2 Giroscopio. (<http://5hertz.com/tutoriales/?p=431>,2015)

Giroscopios similares al de la figura 1.2, se pueden utilizar para determinar la orientación y se encuentran en la mayoría de los sistemas de navegación autónomos. Como deseamos equilibrar un robot, el giroscopio será usado para medir la rotación de la posición de equilibrio y enviar correcciones a un motor. (5 HERTZ, 2015)

Lo siguiente a mencionar son los motores que nos ayudaran a corregir la posición del robot mediante su giro, los motores que utilizare en este proyecto son los motores a pasos nema 17.

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8° , es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360° .



Figura 1.3 Motor a pasos nema 17. Fuente propia

Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas están energizada, el motor estará situado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de su bobina (todorobot.com.ar, 2015)

Estos motores harán girar unas ruedas omnidireccionales las cuáles serán las que mantendrán el robot en equilibrio. Este tipo de ruedas son in poco diferentes a las ruedas comunes y tiene características útiles para el proyecto.

La rueda omnidireccional se define como una rueda estándar a la cual se le ha dotado de una corona de rodillos, cuyos ejes de giro resultan perpendiculares a la dirección normal de avance. Y a veces es confundida con la una rueda Mecanum y según Ilion esta se basa en "el principio de una rueda central, con cierto número de rodillos colocados en un ángulo alrededor de la periferia de la rueda". (<http://www.ptolomeo.unam.mx/>, 2016)

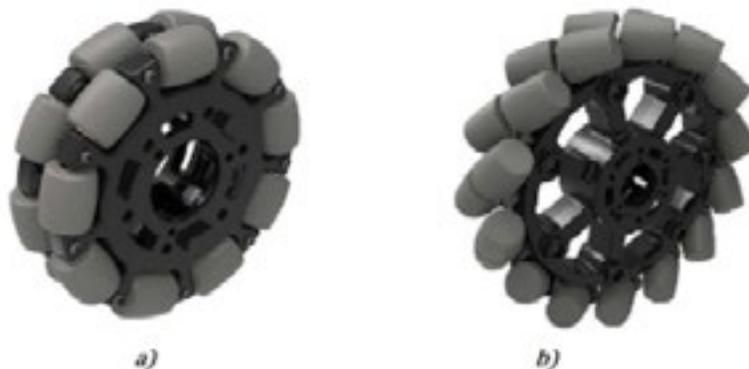


Figura 1. 4 Imagen de ruedas suecas; a) Omnidireccional, b) Mecanum. (<http://www.ptolomeo.unam.mx/>, 2016)

Para que el motor pueda entender las órdenes que manda el microcontrolador, se necesita un circuito que transforme las órdenes de unos y ceros del micro en voltajes que es lo que entiende el motor. El controlador que utilizare será el puente H L298.

El módulo puente H L298N es una tarjeta para el control de motores de corriente directa, motores a pasos, solenoides y en general cualquier otra carga inductiva. La tarjeta está

construida en torno al circuito integrado L298N, el cual dispone en su interior de 2 puentes H independientes con capacidad de conducir 2 amperios constantes o 4 amperios en picos no repetitivos. La tarjeta expone las conexiones hacia el motor a través de bloques de terminales (clemas), mientras que las entradas de control y habilitación del puente H se exponen a través de headers macho estándar para facilitar todas las conexiones.

Esta tarjeta es ideal para controlar motores en pequeños robots como seguidores de líneas, zumbos, robots de laberinto, etc. El L298N también es una excelente opción para manejar motores a pasos bipolares. (<http://www.geekfactory.mx>, 2016)

Figura 1. 4 Puente H L298. (<http://www.geekfactory.mx>, 2016)



Estos son los componentes electrónicos que se ocuparan en la realización de este proyecto. Pero también se necesitaran otro tipo de materiales como ruedas de acrílico de 20 cm de diámetro, hasta el momento se han planteado que se usaran 6 postes de aluminio o pueden ser remplazados por tubos de PVC, tornillos y pegamento.

A continuación se mostrara el diseño estructural del robot el cual fue realizado en el programa de Solidworks

Figura 1. 4 Prototipo del robot (fuente propia)



Con el diseño de la estructura se tendrá que calcular cual será el mejor punto donde poner nuestro sensor el cual será el que nos dará los grados de inclinación del robot. El punto más conveniente para ponerlo es en el centro de gravedad

El centro de gravedad es el punto de aplicación de la resultante de todas las fuerzas de gravedad que actúan sobre las distintas porciones materiales de un cuerpo, de tal forma

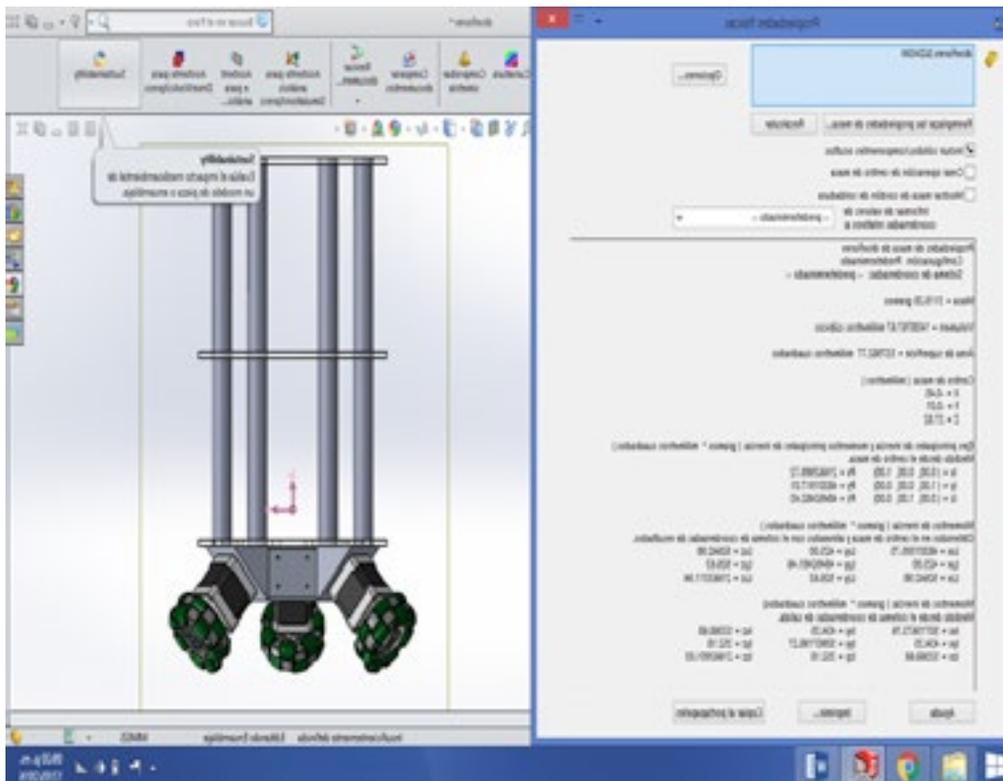
que el momento respecto a cualquier punto de esta resultante aplicada en el centro de gravedad es el mismo que el producido por los pesos de todas las masas materiales que constituyen dicho cuerpo.

En otras palabras, el centro de gravedad de un cuerpo es el punto respecto al cual las fuerzas que la gravedad ejerce sobre los diferentes puntos materiales que constituyen el cuerpo producen un momento resultante nulo.

El centro de gravedad de un cuerpo no corresponde necesariamente a un punto material del cuerpo. Así, el c.g. de una esfera hueca está situado en el centro de la esfera que, obviamente, no pertenece al cuerpo. (Salazar, 2015)

Nosotros utilizamos el programa solidworks para calcularlo el centro de masa ya que ahí fue donde diseñamos la estructura y este centro coincide con el de gravedad a continuación se muestra una figura con esos cálculos y los datos que arrojo.

Figura 1. 4 Captura de pantalla de solidworks con los cálculos del centro de masa realizados (fuente propia)



Propiedades de masa del prototipo

Masa = 3119.28 gramos

Volumen = 1438767.67 milímetros cúbicos

Área de superficie = 537982.77 milímetros cuadrados

Centro de masa: (milímetros)

$$X = -0.45$$

$$Y = -0.01$$

$$Z = 27.82$$

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

Medido desde el centro de masa.

$$I_x = (0.00, 0.00, 1.00) \quad P_x = 21662989.72$$

$$I_y = (1.00, 0.00, 0.00) \quad P_y = 48301917.01$$

$$I_z = (0.00, 1.00, 0.00) \quad P_z = 48492482.43$$

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$$L_{xx} = 48301595.75 \quad L_{xy} = 425.00 \quad L_{xz} = 92642.98$$

$$L_{yx} = 425.00 \quad L_{yy} = 48492481.46 \quad L_{yz} = 926.63$$

$$L_{zx} = 92642.98 \quad L_{zy} = 926.63 \quad L_{zz} = 21663311.94$$

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$$I_{xx} = 50715673.76 \quad I_{xy} = 434.35 \quad I_{xz} = 53368.68$$

$$I_{yx} = 434.35 \quad I_{yy} = 50907198.27 \quad I_{yz} = 352.18$$

$$I_{zx} = 53368.68 \quad I_{zy} = 352.18 \quad I_{zz} = 21663951.03$$

II.FACTIBILIDAD Y VIABILIDAD DE LA PROPUESTA.

Viabilidad Técnica

Para el análisis de viabilidad técnica del prototipo que se desarrollará, se deben conocer todos los elementos que formarán parte del prototipo. La selección de los componentes del prototipo se hizo en base a su poca complejidad y su fácil instalación, para evitar problemas durante su construcción.

El prototipo estará compuesto de lo siguiente:

Microcontrolador reprogramable en plataforma de Arduino, hará el registro de los sensores (giroscopios), funcionará como un sistema de control PID y controlará el giro de las ruedas omnidireccionales.

- 3 Motores a pasos NEMA 17 los cuales harán girar unas ruedas omnidireccionales.
- 3 Ruedas omnidireccionales. Las cuáles serán las encargadas de mantener al robot siempre en forma vertical manteniendo el equilibrio.
- 3 puentes h l298 los cuales son los controladores para cada uno de los motores a pasos, sirven de vínculo entre los motores y el microcontrolador.
- 3 baterías de 12 volts y 3 Amperes. Cada batería alimentara a un motor y su controlador. Pero una de ellas también alimentará el microcontrolador.
- 10 cilindros de aluminio para dar separación a las bases.
- 3 bases circulares de acrílico de 5 mm de espesor, las cuales serán separadas por los cilindros de aluminio. La primera tendrá las baterías, la segunda los

controladores de los motores y el micro controlador y la ultima servirá para poner cualquier objeto que se dese.

- 2 Giroscopios. Los cuales nos dirán la posición en x, y, z del robot, estos datos se cargaran al microcontrolador.
- 3 bases en forma de rampa de acrílico con un des nivel de 45 grados. En las cuales se empotraran los motores y estas a su vez, se ensamblarán a la basa donde se colocarán las baterías.
- Cables para protoboard de diferentes colores. Para la conexión de los motores a los controladores y de estos al microcontrolador.
- Balón de basquetbol infantil, sobre este se parara nuestro robot.

El ensamblaje de la estructura no será difícil, ya que, todas las bases tendrán orificios hechos a la medida ideal de los tornillos que ayudaran a unir las otras piezas, de tal manera que si el tornillo no embona de una forma justa en un orificio, la pieza no será la correcta. Las bases también tendrán orificios para ensamblar las baterías, los giroscopios, los controladores y el microcontrolador haciendo el ensamblaje fácil. La conexión del microcontrolador y los controladores de los motores será un poco más difícil, ya que se tendrá que ver un diagrama en el cual se detallaran que salidas del micro deben de ir a cada uno de los tres controladores (lh298). De estos también saldrán unas conexiones a los motores y para poder hacerlas también se debe de realizar la consulta de un diagrama el cual estará muy detallado para que sea fácil de entender, y de esta manera facilitar la conexión.

Con respecto a la programación esta estará realizada en la plataforma de Arduino, por lo cual será muy fácil de cargar al microcontrolador, que será de esta marca. La programación estará de tallada de forma que con estas se pueda explicar a los alumnos.

En conclusión la construcción del prototipo es fácil de hacer siguiendo los diagramas realizados.

Viabilidad económica

A continuación se mostrará una tabla, donde se expresan los costos de los materiales que serán utilizados para la construcción del prototipo

Tabla de costos del prototipo

CANTIDAD	ARTÍCULO	PRECIO UNITARIO	PRECIO
1	Arduino Mega 2560	\$ 1,008.00	\$1,008.00
3	Puente "H" L298	\$ 125.00	\$ 375.00
1	giroscopio	\$ 130.00	\$ 130.00
1	balón de basquetbol	\$ 260.00	\$ 260.00
2	paquete de ruedas omnidireccionales	\$ 486.00	\$ 972.00
2	acrilico	\$ 170.00	\$ 340.00
12	tubos de aluminio	\$ 50.00	\$ 600.00
3	motores a pasos nema 17	\$ 480.00	\$ 1,440.00
1	corte del acrilico	\$ 400.00	\$ 400.00
3	baterías	\$ 600.00	\$ 1,800.00
	total		\$ 7,325.00

El costo aproximado del prototipo será de \$ 7,325.00 tomando en cuenta los precios actuales de cada artículo. A este precio se le sumará la mano de obra que se estima en \$ 2,500.00, dando un costo total aproximado de \$ 9,825.00.

En dado caso de que se necesite producir más de una pieza, el costo cambiará dependiendo de la cantidad deseada este cambio oscilaría entre el 10% y 20% menos.

Se puede decir, que el costo del prototipo es factible, tomando en cuenta los beneficios que se obtendrán al utilizarlo para impartir clases.

Viabilidad operativa

Este prototipo es una nueva herramienta para la enseñanza de los sistemas de control (PID) en la problemática del péndulo invertido. Se tomó la idea de un prototipo japonés, el cual tiene como meta llegar a ser un robot de servicio el cual interactúe fácilmente con las personas.

Aun que se tomó la idea del robot BallP. Este prototipo tiene como objetivo, el ser un robot en el que el alumno pueda interactuar fácilmente con su programación y observar cómo está construido el sistema de control PID, y también puedan modificarlo y observar cómo afecta la estabilidad del robo.

Ventajas del prototipo.

- Por estar basado en el péndulo invertido, el cual es utilizado mucho en sistemas de aeronáutica y control de automóviles hoy en día. Ayudará al alumno a adquirir conocimiento práctico sobre los sistemas de control, los cuales le servirán para su carrera profesional.
- No se desperdiciarán energías y tiempo en la construcción del prototipo, y los alumnos se podrán enfocar totalmente en funcionamiento del PID.
- Los principios de este prototipo servirán como base para prototipos futuros.

- Al prototipo, se le puede crear secuencias nuevas, para que realice alguna actividad en específico, por ejemplo, el que transporte un depósito con un líquido sin que derrame una sola gota, etc.
- Se le podrán adaptar sensores para que realice otras actividades, por ejemplo que responda a una llamada por voz, etc.

CONCLUSIÓN

En conclusión este proyecto es totalmente mecatrónico, ya que se ocuparon los conocimientos de las cuatro ramas que conforman la mecatrónica. Las cuales son mecánica, la cual se utilizó para la realización del diseño de la estructura y la localización del centro de gravedad y masa. La electrónica la cual nos ayudo con la selección y creación de los circuitos necesarios para la comunicación, entre motores y microcontrolador, así como en la selección del sensor. La informática, la cual nos ayudó para la realización de la programación que llevara el microcontrolador. Por ultimo está el control el cual es la parte más utilizada en el proyecto ya que es en lo que se basa el prototipo, y es lo que nos permite la realización de los cálculos matemáticos para crear la programación.

Se espera que este prototipo sea de ayuda para los aprendizajes de los alumnos de mecatrónica de la universidad de Xalapa y puedan realizar prácticas con él. También se espera que esto despierte el interés en los alumnos para que realicen proyectos con las bases de este prototipo.

Lo más importante es que creo que es un proyecto que puede seguir creciendo y que está abierto para que se le puedan aplicar más conocimientos en el futuro, por ejemplo un poco de inteligencia artificial. Buscando como meta que el robot pueda interactuar con el hombre de una manera muy fácil y pueda sr utilizado para que pueda realizar distintas funciones.

BIBLIOGRAFÍA.

- BOLTON, W. (2001). Mecatrónica. Sistemas de Control electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Segunda Edición. México: Alfaomega.
- GRIDLING, G, y Weiss, B. (2007). Introduction to Microcontrollers: Courses 182.064 & 182.074. Austria: Vienna University of Technology.
- OGATA, K. (1996). Sistemas de Control en tiempo discreto. Segunda Edición. México: Prentice-Hall Hispanoamérica S.a.
- PALLÁS Areny, R. (2005). Sensores de acondicionares de señales. Cuarta Edición. España: Marcombo, S.A.
- VALDÉS Pérez, F. E. y Pallás Areny, R. (2007). Microcontroladores: fundamentos y aplicaciones con PIC. España: Marcombo, S.A.
- <http://5hertz.com/tutoriales/?p=431> (13 de julio del 2015)
- <http://www.geekfactory.mx/tienda/motores-y-controladores/modulo-puente-h-l298n/> (16 de marzo del 2016)
- <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/8392/>

Tesis_Perfect.pdf?sequence=1,%202016 (16 de marzo del 2016)

<http://www.todorobot.com.ar/tutorial-sobre-motores-paso-a-paso-stepper-motors/> (16 de marzo del 2016)

<http://arduino.cl/arduino-mega-2560/> (16 de marzo del 2016)