

Diseño y Construcción de un Ciclomotor de Dos Ruedas a Escala Real Aplicado al Problema de Movilidad en Bucaramanga

Investigación en curso
Universidad Autónoma de Bucaramanga

Luisa Fernanda Pinto Vásquez
Ingeniería Mecatrónica
Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas
lpinto12@unab.edu.co

Veronica Andrea Galeano Blanco
Ingeniería Mecatrónica
Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas
vgaleano@unab.edu.co

RESUMEN

En éste documento se registran los avances y conclusiones logrados hasta la fecha en el diseño y control de un ciclomotor de dos ruedas. La finalidad de este proyecto es evaluar la factibilidad de este sistema como un medio de transporte alternativo. Las principales actividades desarrolladas fueron el análisis dinámico, el diseño del sistema de control y su validación experimental.

ABSTRACT

This document presents a review of progress and findings made to date in the design and control of a balancing scooter. The purpose of this project is to evaluate the feasibility of this system as an alternative means of transport. The main activities were the dynamic analysis and control system design.

Área de Conocimiento

Diseño mecatrónico, teoría de control, y sistemas dinámicos,.

Palabras Clave

Péndulo invertido, diseño mecatrónico. Sistema de Control, sistemas de transporte.

INTRODUCCIÓN

Es un vehículo de transporte ligero giroscópico; dispone de un sistema que permite medir, mantener o cambiar la orientación en el espacio del aparato o vehículo, eléctrico de dos ruedas, con autobalance controlado por ordenador; es una maquina electrónica que recibe y procesa datos para convertirlos en información útil, tiene como principio del péndulo invertido.

El Segway es el primer dispositivo de transporte con autobalance. El ordenador y los motores situados en la base mantienen la base del Segway horizontal todo el tiempo. El usuario se debe inclinar hacia la dirección que quiera tomar (delante, atrás, derecha o izquierda), como se muestra en la Figura 1. [1]



Figura 1. Segway. Fuente: <http://oldmooresalmanac.com/news-topics/things-to-do-see/quirky-events/segway-polo.html>

OBJETIVOS

Objetivo general:

Diseñar y construir un ciclomotor de dos ruedas a escala real.

Objetivos específicos:

Identificar las variables involucradas en el funcionamiento y construcción del primer modelo virtual de un ciclomotor de dos ruedas.

Establecer un prototipo físico en una herramienta de software de diseño a partir de los cálculos dinámicos y de resistencia realizados.

Desarrollar un sistema de control capaz de controlar la posición angular del péndulo.

REFERENTE TEORICO

Como principio físico de un Segway es el péndulo invertido.

Para esto hay que saber que es el péndulo, por lo tanto es un sistema físico que puede oscilar bajo la acción gravitatoria y otra fuerza (elasticidad, por ejemplo) y que está conformado por una masa suspendida de un punto o un eje horizontal fijo mediante una varilla o hilo, como se muestra en la siguiente Figura 2

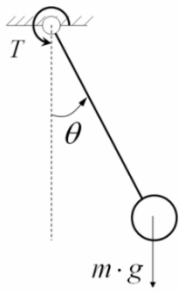


Figura 2. Péndulo simple. Fuente: <http://civilgeeks.com/2011/08/19/idealizacion-desde-el-punto-de-vista-dinamico-vibratorio-del-movimiento-o-desplazamiento-de-una-edificacion-debido-a-una-excitacion-dinamica-i/>

Para este caso el sistema de péndulo es invertido, es decir, la masa que se encuentra suspendida estará sujeta verticalmente a una estructura que permitirá realizar el mismo efecto del péndulo teniendo el eje de giro en la parte inferior del sistema. Esta constituido de forma simplificada por una plataforma montada sobre dos ruedas que son accionadas por dos motores independientemente que son los actuadores del sistema y sobre esta la estructura del péndulo, como se muestra en la Figura 3. [2]

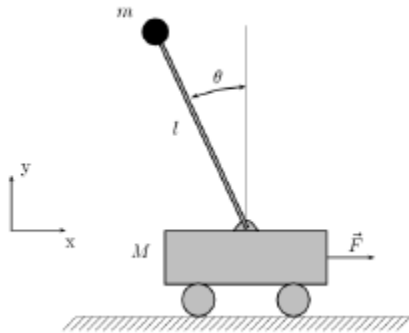


Figura 3. Sistema físico del péndulo invertido. Fuente: <http://iimyo.forja.rediris.es/invpend/invpend.html>

Es un sistema mecánico, de fase no mínima inestable en lazo abierto, que emula la dinámica de un artefacto volador, como puede ser un cohete o un misil. Este tipo de sistema dinámico no lineal es ampliamente utilizado para probar nuevas técnicas de control, tanto en simulación como en la planta real. Los elementos mecánicos de este sistema introducen fenómenos de fricción no modelable, zonas muertas y juego de (backlash), que son difíciles de incluir en el modelado básico del sistema. [3]

RESULTADOS PARCIALES

Análisis matemático

La nomenclatura de las variables involucradas en el modelo matemático son las siguientes:

- ϕ : Ángulo de rotación de las ruedas,
- θ : Ángulo de inclinación del cuerpo del péndulo,
- (x_i, y_i) : Posición de la rueda izquierda,
- (x_d, y_d) : Posición de la rueda derecha,
- (x_M, y_M) : Posición del péndulo invertido,
- g : Aceleración de la gravedad,

- m : Masa de la rueda,
- R : Radio de las ruedas,
- J_m : Momento de inercia de las ruedas,
- M : Masa del cuerpo del péndulo,
- H : altura del cuerpo del péndulo,
- L : Distancia del centro de masa al eje de las ruedas,
- J_{\square} : Momento de inercia del péndulo,
- j_m : Momento de inercia del motor DC.
- K_e : constante de voltaje
- K_m : constante de par
- R : resistencia de armadura del motor
- V_e : voltaje del motor

En la Figura 3, se muestra la vista lateral y el sistema de coordenadas sobre el cual se elabora el modelo matemático para el péndulo invertido sobre dos ruedas. [4]

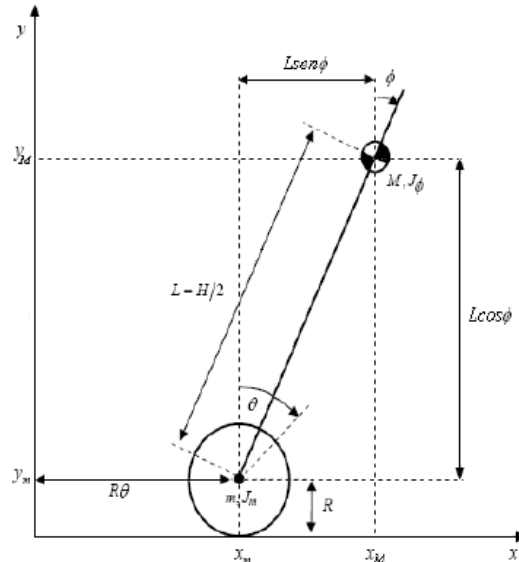


Figura 3. Vista lateral del péndulo invertido sobre dos ruedas. Fuente: www.cibelec.org.ve/2010/docs/Control.pdf.

El sistema de coordenadas bidimensional sobre el cual se elabora el modelo se describe a continuación:

Para la rueda izquierda: $(x_i, y_i) = (x_m, y_m) = (R\phi, R)$.

Para la rueda derecha: $(x_d, y_d) = (x_m, y_m) = (R\phi, R)$.

La posición del péndulo invertido dada por (x_m, y_m) está vinculada con la posición de sus ruedas, por lo tanto $x_i=x_d=x_m$ e $y_i=y_d=y_m$.

$$(x_m, y_m) = (x_m + L \sin \theta, y_m + L \cos \theta) = (R\phi + L \sin \theta, R + L \cos \theta)$$

La energía cinética traslacional es:

$$T_1 = \frac{1}{2} m \dot{x}_i^2 + \frac{1}{2} m \dot{x}_d^2 + \frac{1}{2} M y_M^2 + \frac{1}{2} M y_M^2$$

$$T_1 = \frac{1}{2} R\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} R\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} M(R\dot{\theta} + L\dot{\phi}\cos\phi)^2 + \frac{1}{2} M(L(-\sin\phi)\dot{\phi})^2$$

La energía cinética rotacional es:

$$T_2 = \frac{1}{2} J_m\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} J_m\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} J_\phi\dot{\phi}^2 + \frac{1}{2} My_M^2$$

La energía potencial es:

$$U = mgy_m + mgy_m + Mgy_M,$$

$$U = 2mgR + Mg(R + L\cos\phi)$$

Por lo tanto el lagrangiano es:

$$Lag = T_1 + T_2 - U$$

Dónde:

$$Lag = R\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} M(R\dot{\theta} + L\dot{\phi}\cos\phi)^2 + \frac{1}{2} M(L(-\sin\phi)\dot{\phi})^2 + J_m\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} J_\phi\dot{\phi}^2 + \frac{1}{2} My_M^2 - 2mgR - Mg(R + L\cos\phi).$$

Las ecuaciones de Lagrange son:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial Lag}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial Lag}{\partial \theta} = F_\theta$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial Lag}{\partial \dot{\phi}} \right) - \frac{\partial Lag}{\partial \phi} = F_\phi$$

Resolviendo las ecuaciones del movimiento de Lagrange para el péndulo invertido sobre dos ruedas, se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$[(2m + M)R^2 + 2J_m]\ddot{\theta} + (MRL\cos\phi)\ddot{\phi} - MRL\dot{\phi}^2\sin\phi = F_\theta$$

$$(MRL\cos\phi)\ddot{\theta} + (ML^2 + J_\phi)\ddot{\phi} - MLg\sin\phi = F_\phi$$

Según el modelado del péndulo invertido realizado por Ogata [5], se tomó como fuerza externa el voltaje aplicado a las ruedas por la cual es la señal de control u . Por lo tanto se modifica las ecuaciones de movimiento de Lagrange para el péndulo invertido sobre dos ruedas, son:

$$[(2m + M)R^2 + 2J_m]\ddot{\theta} + (MRL\cos\phi)\ddot{\phi} - MRL\dot{\phi}^2\sin\phi = u$$

$$(MRL\cos\phi)\ddot{\theta} + (ML^2 + J_\phi)\ddot{\phi} - MLg\sin\phi = 0$$

Sistema de control

Al observar las ecuaciones del modelo obtenidas por el análisis matemático, se llega a la conclusión de que el sistema es no lineal por lo cual se procede a linealizar las ecuaciones, como teniendo en cuenta el punto de linealización θ muy cercanos a cero, de esta manera se utiliza la transformada de Laplace, dando como resultado las siguientes ecuaciones:

$$(J_\phi + ML^2)s^2u - \frac{2k_mk_e}{Rr}sX + \frac{2k_m}{r}Ve - MGLu - MLs^2X = 0$$

$$\left(2m + M + \frac{2J_\theta}{R^2} \right) s^2X + \frac{2k_mk_e}{rR^2}sX - MLs^2u - \frac{2k_m}{Rr}Ve = 0$$

Estas son las ecuaciones que caracteriza el comportamiento del sistema para cambios de ángulo muy pequeños al eje vertical, con respecto a un voltaje en los terminales del motor DC. De esta manera se procederá a diseñar un controlador que por medio de una acción de control medida en voltaje controle la posición angular del péndulo invertido.

METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN

Realizar la búsqueda del estado del arte referente a los principios mecánicos involucrados en la temática.

Realizar el bosquejo en SolidWorks o cualquier otra herramienta de diseño mecánico del prototipo a realizar.

Realizar el diseño del controlador al prototipo.

Realizar la construcción del bosquejo realizado en SolidWorks al prototipo.

IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Nombre del Semillero	Modelado y Simulación
Tutor del Proyecto	Sebastian Roa Prada
Grupo de Investigación	Control y Mecatrónica
Línea de Investigación	Modelado y Simulación
Fecha de Presentación	Septiembre 8 de 2014

REFERENCIAS

- [1] Orlando Abreu. Segway dominicana. <http://www.segway.do/pdf/Seguridad.pdf>
- [2] Alberto Prieto. Antidio Viguria. Benito José Vela. Mirko Fiacchini. Ramón Cano. PPCarro: Vehículo móvil basado en péndulo invertido. Escuela superior de ingenieros de Sevilla. <http://www.esi2.us.es/~rubio/DocumentoTecnico.pdf>.
- [3] F. Castaños. R. Carrera. Levantamiento y control de un péndulo invertido con un esquema de control reconfigurable. <http://facultad.bayamon.inter.edu/arincon/penduloinvertido1.pdf>.
- [4] Ing. Héctor Sánchez, Ph D. Iñaki Aguirre, Ph D. Anna Patete. 2010. Construcción y control de un péndulo invertido utilizando la plataforma lego MINDSTORMS NXT. www.cibelec.org.ve/2010/docs/Control.pdf.
- [5] K. Ogata. "Dinámica de Sistemas". Ed Prentice Hall Hispanoamericana, pp. 551-555, 1987.
- [6] Katsuhiko Ogata. 2010. "Modern control engineering", pearson. ISBN 13: 978-0-13-615673-4
- [7] Ferdinand P. Beer; E.Russell Johnston, JR y Phillip J. Cornwell. 2010. "Mecánica vectorial para ingenieros dinámica. Mc Graw Hill. ISBN-13:978-607-15-