

# Péndulo invertido,

## *benchmark* y precursor de *robots*

➤ M.C. Oscar Ramsés Ruiz Varela  
 Universidad Autónoma de Chihuahua / Facultad de Ingeniería  
 FINGUACH Año 6, Núm. 20, junio - agosto del 2019

**E**l modelado matemático es una opción formal que garantiza la comprensión de un sistema y que permite conocer su comportamiento ante cualquier evento o señal de entrada.

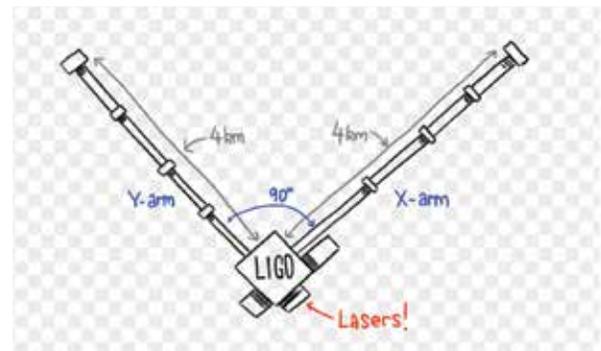
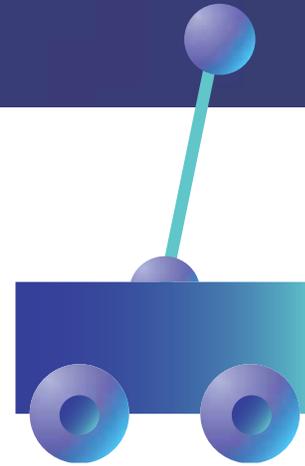
Si el sistema es muy complejo y cumple la propiedad de superposición, se puede descomponer en sistemas simples y analizarlo por partes, para luego unir el resultado de los análisis parciales y obtener un resultado para todo el sistema. Este comportamiento se observa en los sistemas lineales y se aplica a diversas disciplinas de la ingeniería (elementos finitos en el análisis de estructuras, superposición en análisis de circuitos eléctricos, derivada de funciones, series de Fourier, series de Taylor, entre otras).

Por otro lado, muchos de los sistemas no lineales se pueden aproximar con pequeños márgenes de error a sistemas lineales.

Un ejemplo de un sistema no lineal que se puede resolver como lineal al utilizar consideraciones sobrias y justificadas es el péndulo invertido.

Si el sistema no es lineal, una opción es linealizarlo (crear una aproximación lineal aceptable) otra es resolverlo como un sistema no lineal (lógica difusa, redes neuronales, modelo basado en control predictivo, entre otros).

El péndulo invertido (pin) es un sistema no lineal clásico (más de 100 años) ya resuelto que se utiliza para probar nuevas técnicas de control en sistemas lineales y no lineales. El péndulo invertido móvil es quizá la versión más popular de este tipo.



**Figura 1.** Interferómetro para detectar pulsos gravitatorios.

Una aplicación para el pin es la medición de ruido sísmico. Para medir las ondas gravitacionales –perturbaciones del espacio tiempo que viajan a la velocidad de la luz, predichas por Einstein en la teoría general de la relatividad- se utiliza una configuración de dos brazos perpendiculares de varios kilómetros de longitud cada uno. Se les aplica internamente un láser que viaja por cada brazo hasta el extremo y regresa por reflexión con un espejo. El tiempo que tarda en la trayectoria se mide y se calcula la longitud del brazo con base a la velocidad conocida del haz. Cualquier elongación de los brazos debido a pulsos gravitacionales es detectada. Para filtrar el efecto de otros fenómenos como sismos, oleaje de mar, viento, se miden tales magnitudes con un pin.

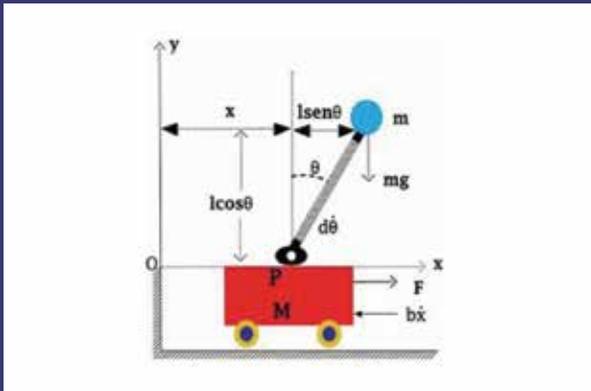


Figura 2. Modelo básico del pin móvil.

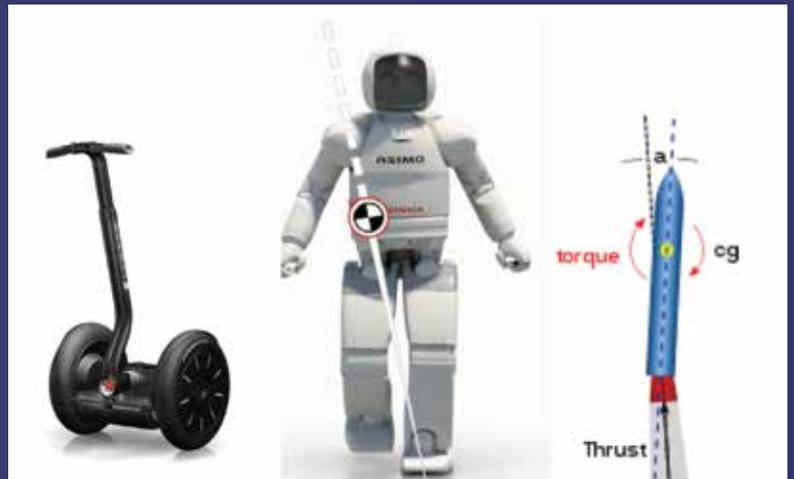


Figura 3. Aplicaciones del péndulo invertido: segway, asimo, control de despegue de un cohete.

Específicamente para el control de cohetes se utilizan dos estrategias de control de navegación, el pin o el balanceo de torque. En el diseño de grandes estructuras como edificios se realiza el modelado como un pin.

El péndulo invertido es un modelo básico que se repite en muchas estructuras de uso común y su estudio y conocimiento permiten mejorar los diseños para lograr un mejor control de posición, resistencia a vibraciones y perturbaciones. A pesar de ser una estructura de más de 100 años de edad, continúa siendo una referencia de evaluación.

## Referencias

- Olfa Boubaker (2012). The Inverted pendulum benchmark in Non Linear Control Theory, a survey. *International Journal of Advanced Robotics System*. p 1,3.
- Antonio Saul Avila Balula (2016). *Nonlinear\_Control\_of\_an\_Inverted\_Pendulum*. Tesis de maestría en Ingeniería Física. p. 1.
- Akiteru Takamori (2002). Low Frequency seismic isolation for gravitational wave detectors. Universidad de Tokio. p 9.
- Ilaria Taurasi. (2005). *Inverted pendulum studies for seismic attenuation*. Instituto de tecnología en California. p 3.
- Arnoldo castro (2012). *Modeling and dynamic analysis of a two wheeled inverted pendulum*. Georgia institute of technology. Tesis de Maestría. p 5.
- Laboration in automatic control (2012). *Control of an inverted pendulum*. Univ de linkoping. Suecia. p 2.
- Brett R. Tartler (2010). *Construction and performance of an inverted pendulum thrust balance*. Tesis de maestría en ciencias. MIT. p 26.
- George W. Housner (1963). Behavior of inverted pendulum structures during earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*. p 403-417