

SIMULACIÓN DEL PÉNDULO DE FURUTA: ENSAMBLE VERSUS MODELO MATEMÁTICO

Eduardo Hernández Márquez 1
Ramón Silva Ortigoza 2
Panuncio Cruz Francisco 1
Xóchilt Siordia Vásquez 3
José Omar Millán Tejeda 1
Ulises Santos López 1

1 Tecnológico Nacional de México
ITSPR
Departamento de Ingeniería Mecatrónica
Veracruz, México

2 Instituto Politécnico Nacional
CIDETEC
Laboratorio de Mecatrónica y Energía Renovable
Unidad Profesional Adolfo López Mateos
Ciudad de México, México

3 Universidad Veracruzana
Facultad de Ingeniería en Electrónica y
Comunicaciones
Veracruz, México

como citar este artículo

Hernández, E., Silva, R., Cruz, P., Siordia, X., Milla, J. y Santos, U. (1 de noviembre de 2022). Simulación del péndulo de furuta: ensamble versus modelo matemático. *Boletín UPIITA*. (93). <https://www.lipsum.com/feed/html>

Resumen

En este trabajo se presenta la comparación del comportamiento dinámico de un péndulo Furuta construido en Solidworks versus su modelo matemático en Matlab-Simulink. A través del plug-in, Simscape Multibody, es posible exportar el ensamble del péndulo de Furuta al entorno de Matlab-Simulink y compararlo con su modelo. Los resultados de simulación muestran que los comportamientos dinámicos son muy similares en magnitud y forma. Siendo este trabajo un ejemplo de cómo a través de Solidworks-Matlab se pueden validar modelos matemáticos de ensambles.

Palabras Clave:

1. Introducción

procesamiento de los ordenadores permiten realizar simulaciones cada vez más rápidas y confiables. En ese sentido, aquí se presenta un ensamble del péndulo de Furuta construido en Solidworks, el cual se lleva al entorno de Matlab con ayuda de un plug-in. De esa forma, una vez programado el modelo matemático del péndulo en Matlab se puede hacer una comparación más justa con el ensamble.

El resto del trabajo se estructura de la siguiente manera: la Sección 2 da las generalidades del sistema. En la Sección 3 se muestra cómo se exporta el ensamble de Solidworks a Matlab. La Sección 4 presenta los resultados de simulación. Por último, las conclusiones son dadas en la Sección 5.

2. Péndulo de Furuta

El péndulo de Furuta es una modificación del péndulo invertido. Ya que este último tiene la limitante del final de carrera y para aplicaciones de control automático no resulta conveniente. La Fig. 1 muestra las partes que conforman al péndulo de Furuta [1].

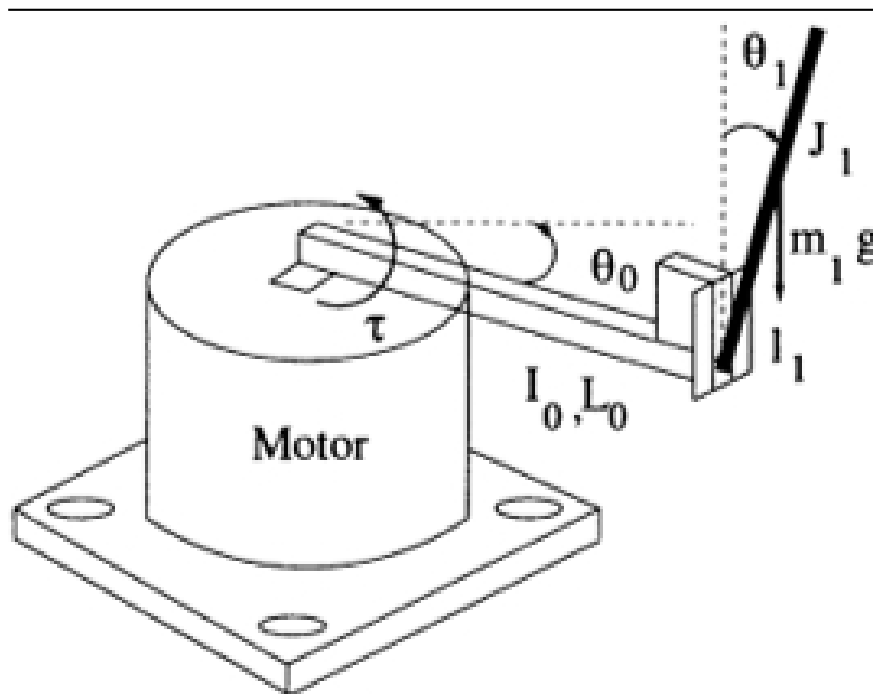


Figura 1. Péndulo de Furuta.

- I_0 : Momento de inercia del brazo
 - l_0 : Longitud del brazo
 - m_1 : Masa del péndulo
 - l_1 : Distancia del centro de gravedad del péndulo
 - J_1 : Momento de inercia alrededor de su centro de gravedad
 - θ_0 : Ángulo del brazo
 - θ_1 : Ángulo del péndulo
 - τ : Torque aplicado al brazo
- Cuyo modelo matemático es dado por [2],

$$\begin{aligned} \tau &= \alpha \ddot{\theta}_0 + \beta \dot{\theta}_0 \dot{\theta}_1 + \gamma \ddot{\theta}_1 - \sigma \dot{\theta}_1^2, \\ 0 &= \gamma \ddot{\theta}_0 + (m_1 l_1^2 + J_1) \ddot{\theta}_1 - 0.5 \beta \dot{\theta}_1^2 - m_1 g l_1 \sin(\theta_1), \end{aligned} \quad (1)$$

3. Péndulo de Furuta: Solidworks-Matlab

Lo primero que debe considerarse al realizar un ensamble en Solidworks que posteriormente se pasará a Matlab, es la de agrupar el ensamble en subensambles. Esto, con la intención de que, al pasarlo al entorno de Matlab los bloques generados sean fácilmente identificables e inmediato saber a qué partes corresponden del ensamble y que sea fácil introducir entradas y realizar mediciones, entre otras cosas. Para el péndulo de Furuta, se agrupó en tres partes: base, brazo y péndulo como se muestra en la figura 2.

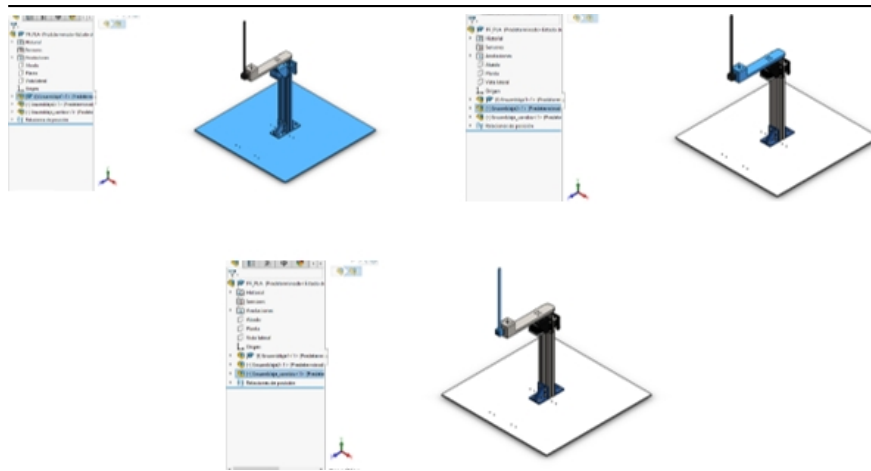


Figura 2. . Ensamble del péndulo de Furuta en Solidworks.

Para pasar el ensamble de Solidworks a Matlab es necesario instalar el plug-in Simscape Multibody. Instalado correctamente el plug-in, dirigirse a Herramientas → Simscape Multibody Link → Export → Simscape Multibody... como se aprecia en la Fig. 3.

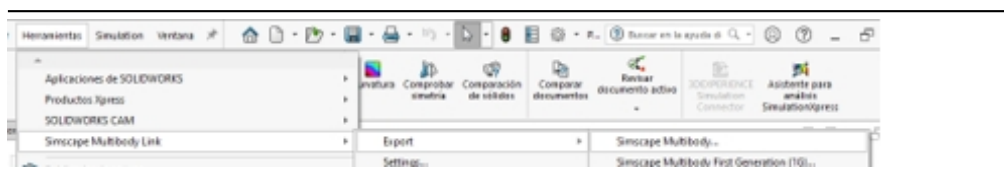


Figura 3. Exportando el ensamble del péndulo de Furuta de Solidworks a Matlab.

Una vez, dada la dirección y nombre de cómo se guardará el archivo se abrirá la siguiente ventana en Matlab, ver Fig. 4. El proceso puede tardar varios minutos según la velocidad de procesamiento de la computadora utilizada.

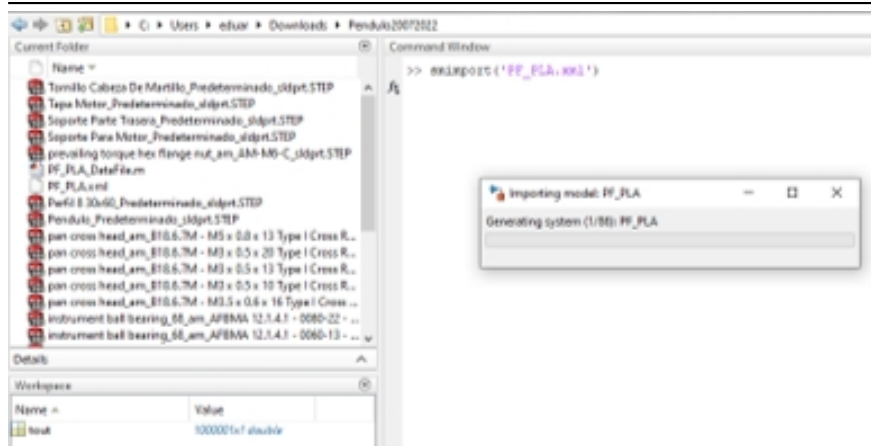


Figura 4. Dirección donde se guarda el archivo exportado del péndulo de Furuta.

Para abrir el archivo exportado se usa el siguiente comando:

```
smimport('Nombre del archivo.xml')
```

Y aparecerá lo que se muestra en la siguiente figura:

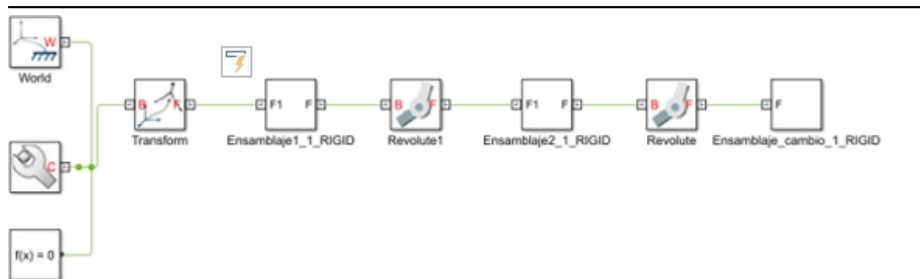


Figura 5. Diagrama de bloques del péndulo de Furuta en Matlab-Simulink.

Como se observa en la Fig. 5, es inmediato relacionar que el bloque revolute 1 es la unión entre la base y el brazo, el revolute es la unión del brazo y péndulo. En esos puntos se aplicará un torque como entrada y se realizará el sensado de la posición del brazo y péndulo. Al correr la simulación tal y como está en la Fig. 5, se abre la ventana de comandos de Matlab mostrando el ensamble y a la izquierda los archivos generados cuando se realizó la exportación, Figura 6.

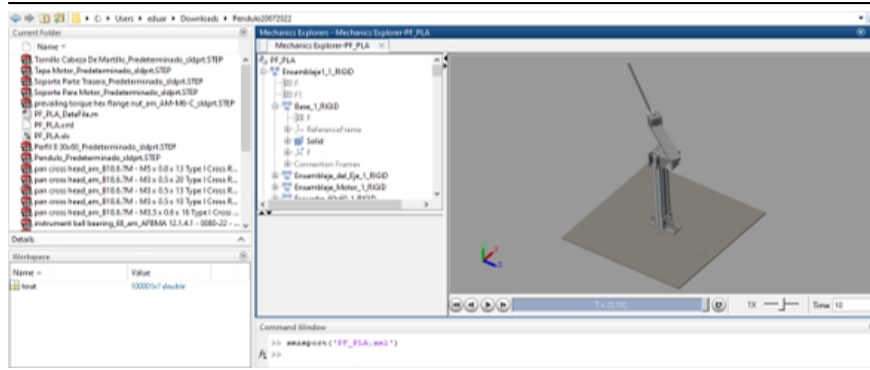


Figura 6. Péndulo de Furuta en Matlab.

4. Comparativa del ensamble del péndulo de Furuta versus modelo matemático

Para realizar la comparación de la respuesta dinámica ante un torque constante del ensamble versus su modelo matemático. Se hace la modificación del archivo generado en Matlab-Simulink, Fig. 6, como se muestra en la Fig. 7. En el bloque llamado Modelo Furuta se programa el modelo matemático dado por (1). Los datos de los parámetros se obtienen a partir de las propiedades físicas del Péndulo y algunos cálculos.

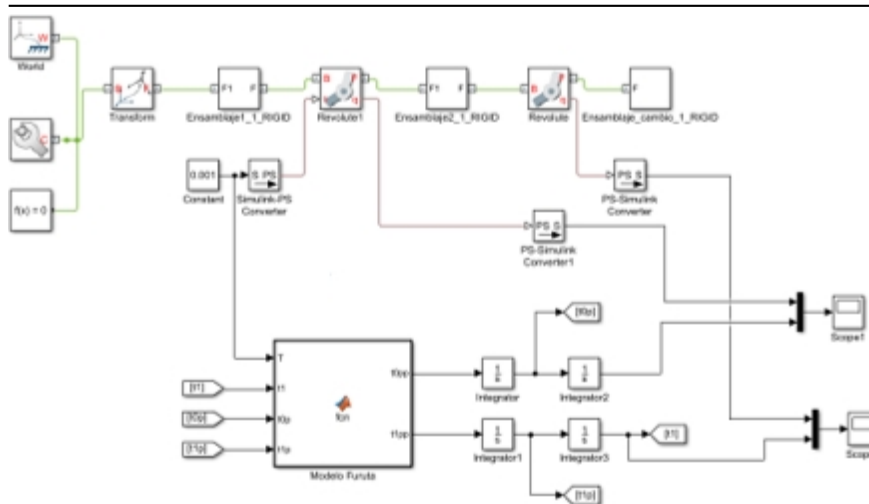


Figura 7. Comparativa: ensamble del péndulo de Furuta versus modelo matemático.

Para una entrada constante $\tau = 0.001 \text{ N.m.}$,

la Fig. 8 muestra las simulaciones correspondientes. Donde la nomenclatura de las leyendas es: θ_1 , posición angular del brazo del ensamble, θ_{1m} , posición angular del brazo del modelo, θ_2 , posición angular del péndulo del ensamble y θ_{2m} , posición angular del péndulo del modelo.

θ_1

Figura 8. Comportamiento dinámico del ensamble y modelo matemático del péndulo de Furuta ante una entrada c

Como se observa en la figura 8, el comportamiento dinámico es muy similar entre el ensamble y el modelo. Las diferencias se deben en gran medida a las simplificaciones consideradas para el desarrollo del modelo matemático y a la dificultad para realizar un cálculo exacto en algunos parámetros. Sin embargo, se puede considerar que el resultado es satisfactorio.

5. Conclusión

El presente trabajo realizó una comparativa del comportamiento dinámico de un ensamble del péndulo de Furuta construido en Solidworks versus su modelo matemático en Matlab-Simulink ante una entrada constante. Los resultados de simulación mostraron que el comportamiento dinámico es muy similar. Desde otra perspectiva, este trabajo presenta una alternativa para validar modelos matemáticos de ensambles, que como se sabe, tener la infraestructura para validarlos los modelos a nivel experimental es económicamente caro. Como trabajos futuros se pretende aplicar estrategias de control para regular la posición del péndulo en su posición de equilibrio inestable.

Referencias

1. I. Fantoni and R. Lozano, (2002). *Non-linear control for underactuated mechanical systems*. London, U.K.: Springer-Verlag,
2. M. Antonio-Cruz, R. Silva-Ortigoza, J. Sandoval-Gutiérrez, C. A. Merlo-Zapata, H. Taud, C. Márquez-Sánchez, and V. M. Hernández-Guzmán, (año). *Modeling, simulation, and construction of a Furuta pendulum test-bed*, "International Conference on Electronics, Communications and Computers, Cholula, Mexico, Feb. 25-27, 2015, pp. 72-79.