

## Movilidad/Estabilidad en eslingados de cargas de geometría compleja

M. López Lago, J.A. Vilán Vilán, A. Segade Robleda, J. Collazo Rodríguez

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad de Vigo

mllago@uvigo.es, jvilan@uvigo.es, asegade@uvigo.es, joaquincollazo@uvigo.es

---

*En un número importante de actividades industriales es necesario el movimiento y manipulación de cargas de grandes dimensiones. Un ejemplo clásico es la construcción de buques mediante bloques prefabricados. La manipulación de piezas de gran tamaño suele realizarse mediante grúas. La conexión física entre el elemento de suspensión de la grúa y la pieza a manipular suele realizarse mediante un sistema de elementos flexibles y conexiones llamado eslingado, en muchos casos se trata de eslingas textiles o de cable de acero y utillaje de unión. El diseño del eslingado de una determinada carga para una determinada manipulación de la misma, debe garantizar la estabilidad del conjunto en todo momento. Sin embargo, en multitud de casos este diseño está basado en cálculos estáticos, y en ocasiones bidimensionales. Estos modelos pueden ser, en algunos casos, demasiado simples para reflejar el comportamiento o posibles inestabilidades del sistema. En este trabajo, se modelan diferentes tipos de eslingado como sistemas multicuerpo. El objetivo principal es la predicción de posibles inestabilidades en la manipulación de la carga con el eslingado diseñado, incluso teniendo en cuenta influencias externas.*

---

### 1. INTRODUCCIÓN

En numerosas actividades industriales es necesario el movimiento y manipulación de cargas de grandes dimensiones y masas. La tendencia actual es, además, que estas dimensiones y masas crezcan por motivos económicos. Son ejemplos clásicos de estas actividades: la construcción de buques mediante bloques prefabricados o la utilización de grandes conjuntos prefabricados en obra civil. En el caso de la construcción de barcos, al fabricar éste con el menor número de bloques, y dependiendo de los medios de elevación con los que cuenta el astillero, se pueden llegar a mover bloques de más de 1.200 toneladas. Por supuesto, un accidente en estas operaciones suele tener fatales consecuencias tanto personales como materiales.

La manipulación de estas piezas de gran tamaño se realiza frecuentemente mediante grúas, aunque es posible que en casos específicos, estos movimientos de cargas utilicen otros elementos como gatos hidráulicos de cable de acero (strandjacks) o pórticos hidráulicos. En ocasiones debido al tipo de pieza o a la trayectoria que ésta debe realizar es necesaria la utilización de dos o más grúas.

Cuando en este sistema se utilizan grúas, la conexión física entre el elemento de suspensión de la grúa y la pieza a manipular suele realizarse mediante un sistema de elementos flexibles y conexiones llamado eslingado, en muchos casos se trata de eslingas textiles o de cable de acero y utillaje de unión [1].

El diseño del eslingado de una determinada carga para una determinada manipulación de la misma, debe garantizar la estabilidad del conjunto en todo momento. Sin embargo, en multitud de casos este diseño está basado en cálculos estáticos, y en ocasiones bidimensionales. Por otra parte, casi siempre es deseable que la carga tenga capacidad de movimiento y siempre están presentes perturbaciones sobre la carga. Por tanto, se puede afirmar que estos modelos pueden ser, en algunos casos, demasiado simples para reflejar el comportamiento o posibles inestabilidades del sistema.

En este artículo, se presentan en primer lugar algunos tipos de eslingado, posteriormente se modelan como sistemas multicuerpo, describiendo las soluciones adoptadas y se analizan. Finalmente se presentan los resultados con el objetivo principal de la predicción de posibles inestabilidades en la manipulación de la carga con el eslingado diseñado, incluso teniendo en cuenta influencias externas.

## 2. MOVIMIENTO Y MANIPULACIÓN DE CARGAS

Cuando en la manipulación de cargas se utilizan grúas, la conexión física entre el elemento de suspensión de la grúa y la pieza a manipular suele realizarse mediante un sistema de elementos flexibles y conexiones llamado eslingado.

Generalmente el elemento de suspensión es un gancho que favorece las labores de eslingado de la carga. Los elementos flexibles de unión son en la mayoría de las ocasiones eslingas textiles o cables de acero. Sirva de ejemplo la figura 1.



*Figura 1. Movimiento de una carga mediante puente grúa y eslingas textiles*

El diseño del eslingado de una determinada carga para una determinada manipulación de la misma es de crucial importancia, ya que debe garantizar la estabilidad del conjunto en todo momento.

Existen unas normas básicas que marcan la viabilidad inicial de un eslingado:

- El centro de masas de la carga debe estar en la vertical del gancho.
- Es aconsejable que los puntos de anclaje de las eslingas estén en cotas superiores a la del centro de masas de la pieza, para evitar posibles inestabilidades.

En multitud de casos, el diseño del eslingado se basa en normas básicas como las anteriores o en cálculos estáticos, y en ocasiones bidimensionales. Estos modelos pueden ser, en algunos casos, demasiado simples para reflejar el comportamiento o posibles inestabilidades del sistema.

### 3. MODELIZACIÓN DE ESLINGADOS

En este trabajo, se modelan diferentes tipos de eslingado como sistemas multicuerpo [2]. El objetivo principal es la predicción de posibles inestabilidades en la manipulación de la carga con el eslingado diseñado.

Con este planteamiento es posible además, conocer las sollicitaciones que aparecen sobre la carga en su manipulación y las que aparecen sobre los diferentes elementos del eslingado, obteniendo así un profundo conocimiento del comportamiento dinámico del sistema.

Entre las fases del procedimiento empleado destaca el modelado sólido de la carga a manipular, posteriormente es necesario el diseño del eslingado dentro del sistema multicuerpo. El modelo final puede ser muy representativo del sistema real, ya que es posible tener en cuenta la elasticidad de las eslingas y la influencia de elementos auxiliares como balancines.

En la figura 2 se muestra un modelo general de una carga eslingada con elementos flexibles.

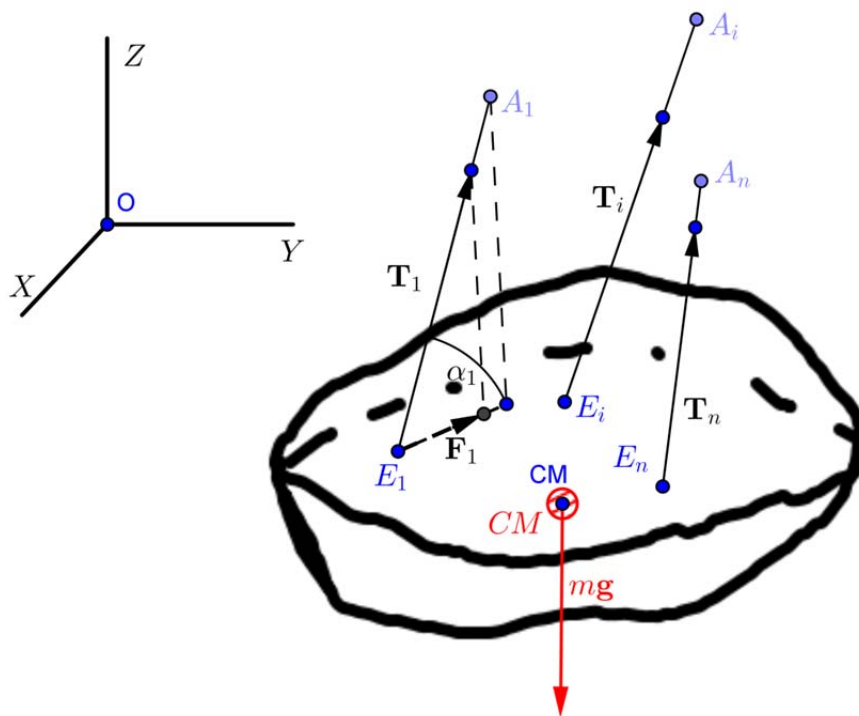


Figura 2. Modelo general de una carga eslingada con elementos flexibles

En cargas con limitaciones importantes en su resistencia a la compresión es necesaria la utilización de elementos auxiliares como balancines (figura 3):

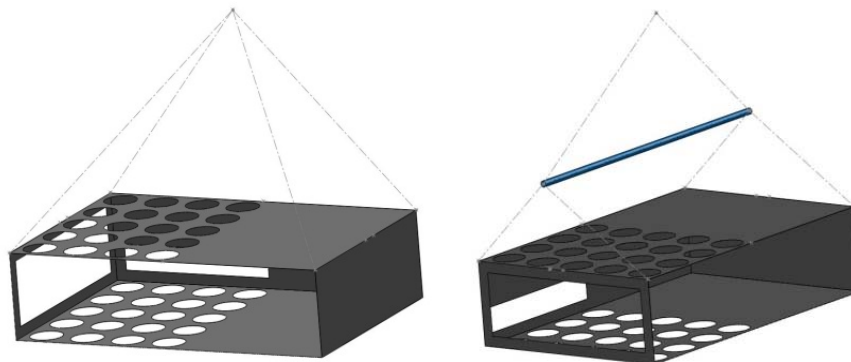


Figura 3. Carga eslingada con elementos flexibles y con utilización de balancín

En este trabajo se ha utilizado una metodología para la modelización y análisis de eslingado que combina software de modelado sólido, en nuestro caso SolidWorks®, con la conocida librería Simmechanics® de Simulink®, un software comercial para la resolución de sistemas dinámicos dentro de Matlab®. Para la modelización adecuada de estos sistemas se ha supuesto que las eslingas son elementos elásticos que sólo tienen resistencia a tracción (figura 4).

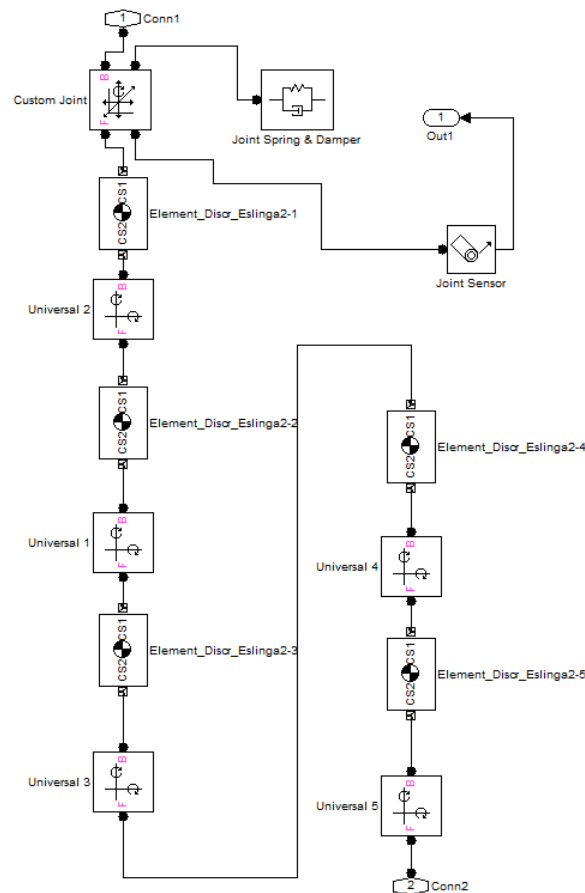


Figura 4. Ejemplo de modelización mediante bloques de una eslinga en Simmechanics®

El bloque anterior mostrado en la figura 4, se utiliza como subsistema en un modelo más complejo, en el que ya aparece la carga (figura 5).

Para una representación adecuada de la carga a elevar en el eslingado modelado es necesario conocer su masa, posición de centro de masas, tensor de inercia y puntos de anclaje de cada una de las eslingas. Toda esta información relacionada con la geometría de masas se obtiene de manera numérica del software de modelado sólido SolidWorks®, además es posible mediante la aplicación SimMechanics Link® importar el sólido o incluso sistemas multicuerpo sencillos directamente en SimMechanics®.

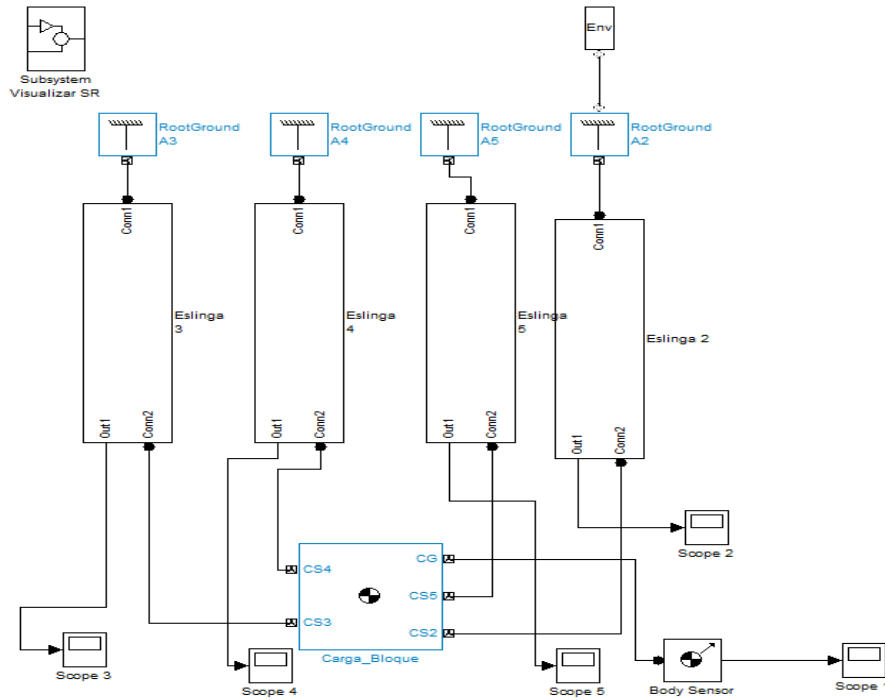


Figura 5. Modelo en Simmechanics® de carga eslingada con elementos flexibles

De esta forma es posible obtener visualizaciones realistas dentro de la aplicación comentada, tal y como se muestra en la figura 6.

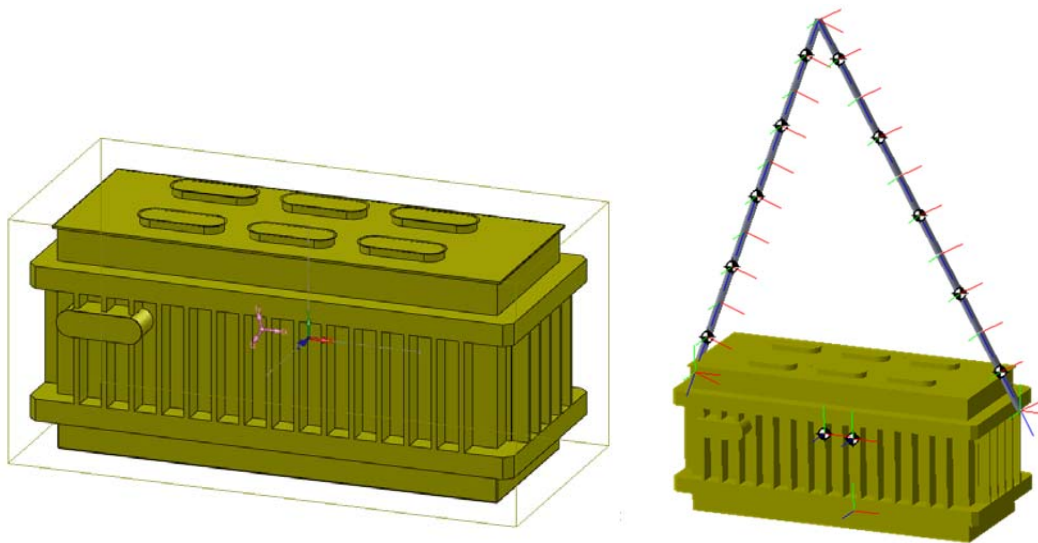


Figura 6. Representación de la carga en SolidWorks® y carga eslingada con elementos flexibles en Simmechanics®

Con esta metodología es posible la modelización de una manera relativamente rápida de eslingados de piezas de geometría complejas y su posterior análisis dinámico. Como ejemplo de aplicación de esta metodología, tomaremos la carga representada en la figura 6 y la someteremos a diferentes tipos de eslingados.

Se trata de un transformador de grandes dimensiones, las características de la carga se muestran en la Tabla 1, la posición del Centro de masas se expresa desde el sistema de referencia fijo y el Tensor de inercia desde el sistema de referencia paralelo al fijo con origen en el centro de masas del sólido.

Propiedad	Valor
Masa (kg)	251.310
Posición del Centro de masas (m)	[-0.99 -0.08 -0.38]
Tensor de inercia (kg*m <sup>2</sup> )	$\begin{bmatrix} 0,64e6 & -32.744 & -103.977 \\ -32.744,3 & 1.71e6 & -12.365 \\ -103.977 & -12.365 & 1.72e6 \end{bmatrix}$

Tabla 1. Geometría de masas del transformador a elevar

### 3.1. Modelo estático/bidimensional

En la figura 7 se muestra el valor de la tensión en las eslingas si se realiza la hipótesis de sistema bidimensional y estático y en el caso de dos eslingas. La superficie superior de la figura 7 es la representación de la tensión en la eslinga izquierda y de manera análoga la inferior representa la tensión en la eslinga derecha. Estas tensiones varían al cambiar la magnitud AG (altura del gancho) o d (desviación del Centro de masas del centro de simetría de la pieza).

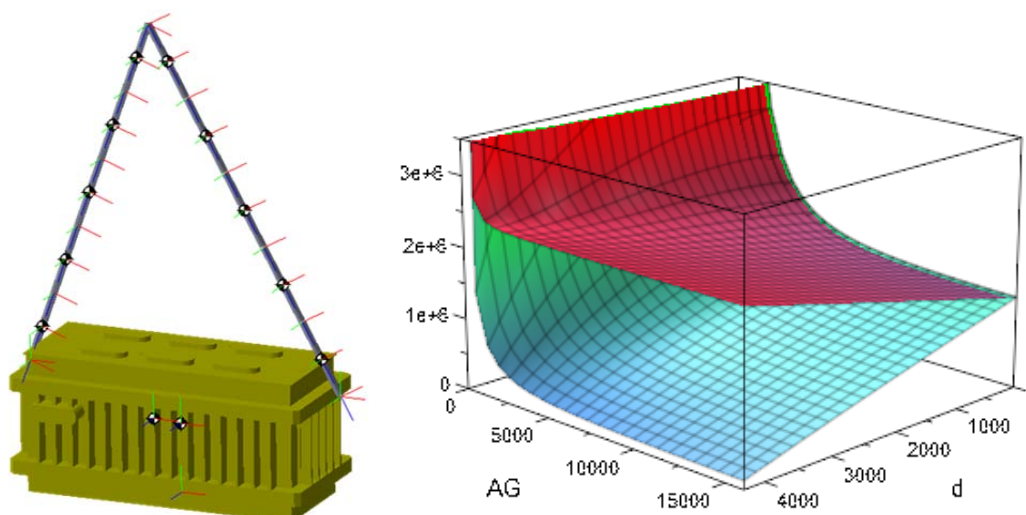


Figura 7. Representación de la carga eslingada y valores de tensiones en eslingas

### 3.2. Modelo tridimensional dinámico

Teniendo en cuenta el anterior modelo no se pueden predecir posibles inestabilidades, por ello es necesario utilizar un modelo más general, es decir tridimensional y dinámico. Para la modelización y resolución de estos sistemas se utilizará SolidWorks® (para la modelización) y SimMechanics® para el análisis. De esta forma es posible plantear eslingados más complejos comprobando su validez.

Como ejemplo de esta metodología se pretende comprobar la inestabilidad inherente de un sistema con balancín, en el que las eslingas de la pieza la anclan en un punto con cota inferior a su centro de gravedad.

En la figura 8 se muestra la visualización de la carga eslingada en SimMechanics®, en la que se pueden apreciar las eslingas verticales que conectan la pieza con el balancín, el propio balancín y las eslingas que unen éste con un punto que representa el gancho. Este sistema es inestable y puede ser comparado a un péndulo invertido. En la imagen derecha de la figura se puede apreciar el transformador en el momento de la pérdida de su estabilidad, debida a las propias perturbaciones del sistema.

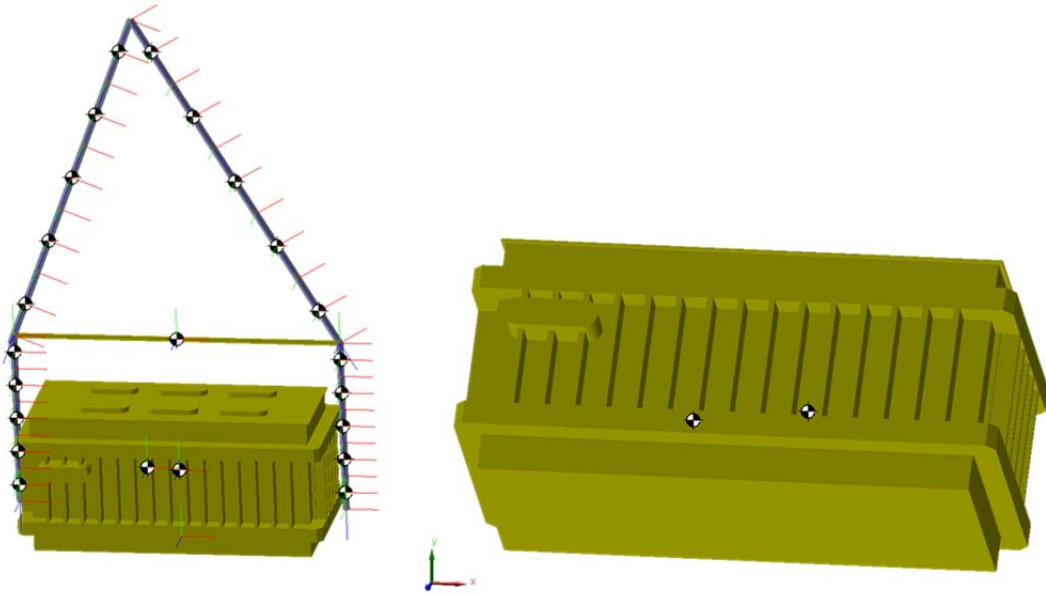


Figura 8. Representación de la carga y carga eslingada con elementos flexibles

#### 4. RESULTADOS

En la figura 9 se muestran los resultados obtenidos, en la imagen izquierda se representa la tensión en función del tiempo que aparece en la eslinga vertical izquierda que conecta la carga con el balancín. De manera análoga en la imagen derecha se representa la eslinga vertical derecha. Como se refleja en los resultados, el sistema no es estable, produciéndose un movimiento brusco de la carga a partir de los 4 segundos.

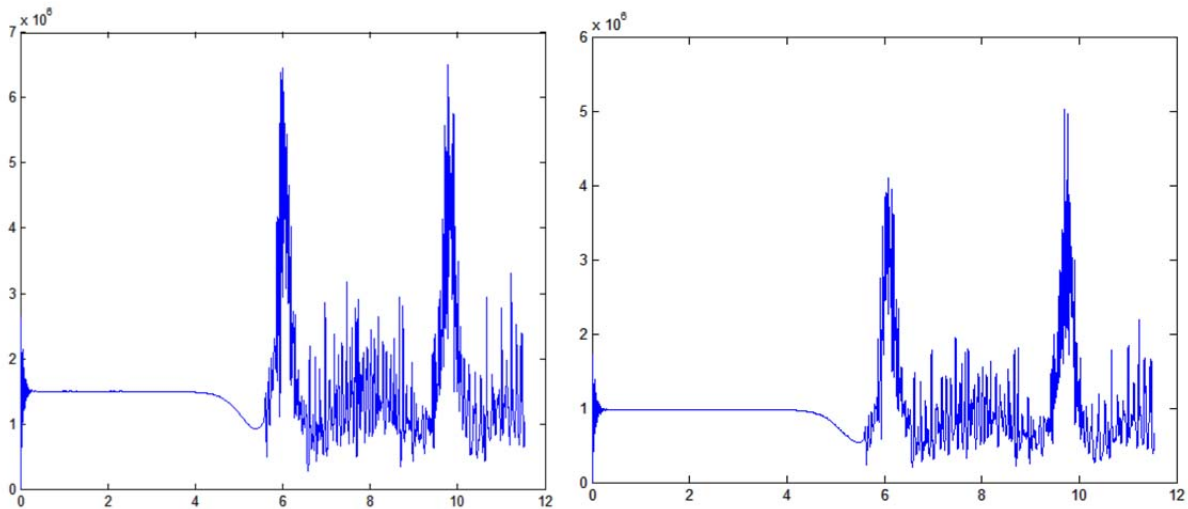


Figura 9. Variación temporal de la tensión en las eslingas

#### 5. CONCLUSIONES

La metodología descrita en este trabajo permite la modelización y el análisis de eslingados complejos de una manera general. Al utilizar un software de análisis de sistemas dinámicos es posible predecir posibles inestabilidades del sistema y tener en cuenta en el mismo acciones externas. Es además posible la programación de una aplicación específica para su utilización en el movimiento de cargas de grandes dimensiones.

## **6. REFERENCIAS**

- [1] H. Shapiro. *Cranes and derricks*, McGraw-Hill (2010).
- [2] R. Jazar. *Advanced Dynamics: Rigid body, Multibody, and Aerospace Applications*, Wiley (2011).