

# Diseño y construcción de prototipo funcional de exoesqueleto para la ejecución del paso de un bípedo

## Investigación en curso

Oscar Iván Filizona Celis  
Ing. Mecatronica - Fisicomecanicas  
[ofilizona@unab.edu.co](mailto:ofilizona@unab.edu.co)

Universidad Autónoma de Bucaramanga

### RESUMEN

Este documento muestra un modelo cinemático y simulación del paso del miembro inferior de un bípedo. Utilizando un modelo de tres eslabones de unión para el modelado el exoesqueleto dados por (cadera, muslo y pierna) sujeto en la cadera y accionados por servomotores controlados por un sistema embebido. El planteamiento de las ecuaciones del movimiento de exoesqueleto está soportado por ecuaciones de cinemática de cuerpo rígido. Presentando ecuaciones cinemáticas de cálculos manuales, y soportando éstas por medio de simulación en Matlab, Simulink y solidWorks. De ésta manera se analizan datos de posición, velocidad y aceleración angular para trayectorias preestablecidas que se han construido por medio de información tomada del paso de un bípedo. La simulación en Matlab se realiza mediante la herramienta SimMechanics y pretende facilitar el estudio dinámico del exoesqueleto.

### ABSTRACT

This document shows a kinematic model and simulation of the stride of the lower limb of a biped. Using a three- link model mechanism for modeling the exoskeleton given by (hip, thigh and calf) attached at the hip and driven by servo motors controlled by an embedded system. The approach of the equations of motion of exoskeleton is supported by equations of rigid body kinematics. Introducing kinematic equations of manual calculations and supporting them through simulation software as Matlab, Simulink and SolidWorks. In this way data of position, speed and angular acceleration have been built using information taken from the stride of a biped. Matlab simulation is performed by SimMechanics tool and aims to facilitate the dynamic study to conduct the exoskeleton.

Área de Conocimiento

Ingenierías: Ingeniería Mecatronica.

Palabras Clave

Exoesqueleto, modelo, cinemática, Matlab, Análisis de marcha humana.

### INTRODUCCIÓN

El exoesqueleto es un mecanismo que se ensambla sobre el cuerpo humano para diferentes propósitos dándole nuevas habilidades, ejemplo de ello está la posibilidad de levantar pesos superiores a los que podría levantar un humano común, otro ejemplo sería la posibilidad de devolverle la habilidad de caminar

a un paciente con incapacidad para caminar. La construcción de un exoesqueleto varía respecto de su función objetivo, con lo cual también varía su diseño, sus sistemas de accionamiento y de control, entre otros. Un aspecto importante a tener en cuenta al principio del diseño es el modelo matemático del movimiento que describen los miembros del mecanismo.

La construcción del exoesqueleto en general varía respecto de sus aplicaciones interviniendo diferentes áreas de estudio como la mecánica, la simulación, el control y el modelado. Con frecuencia se suele utilizar herramientas como Solid Works para el modelado, para la fabricación está el maquinado, moldeo por inyección o impresión 3D, Matlab para simulación y cálculos numéricos; para el accionamiento se usan servomotores, motores paso a paso, motor dc, actuadores neumáticos, entre otros.

Su modelado se hace a partir de dinámica expresando fuerzas, velocidades y coordenadas que intervienen en el movimiento y que expresan la trayectoria del exoesqueleto

### CONTENIDO DEL ARTICULO

En éste artículo se presenta el análisis cinemático de un exoesqueleto (cuerpo rígido) para la rehabilitación de una pierna por medio de la construcción de un modelo funcional y el control de las variables de las expresiones cinemáticas analíticas que describen el movimiento. Haciendo uso de la teoría de cinemática de cuerpo rígido se plantean expresiones analíticas que describen el movimiento del exoesqueleto, utilizando la herramienta CAD Solid Works para el modelado tridimensional del exoesqueleto, la herramienta Matlab para el análisis matemático, la estructura de control y la obtención de gráficos de resultados y la técnica de fabricación de impresión 3D para la fabricación del mecanismo.

Este conjunto se analiza mediante la implementación de Matlab para el control de los parámetros de entrada y para los gráficos de comportamiento del mecanismo en tiempo real con el fin de analizar las diferentes variables del sistema en tiempo real. Junto a él se adapta un sistema embebido encargado de ejecutar las acciones de control. Con estos datos se procede a analizar el comportamiento del exoesqueleto dado por las expresiones cinemáticas ejecutadas por el conjunto Matlab – mecanismo.

### 3. OBJETIVOS

#### Objetivo general

Construir un prototipo funcional en el cual se puedan verificar las ecuaciones cinemáticas de cuerpo rígido lo largo de la trayectoria de movimiento del exoesqueleto cuando ejecuta un paso controlando sus variables por medio de Matlab.

#### Objetivos específicos

-Aplicar los conceptos de cinemática de cuerpo rígido en la expresión analítica del modelo del exoesqueleto.

-Utilizar Matlab para el control y el análisis de datos en la secuencia de marcha del exoesqueleto, además graficar las curvas en tiempo real de posición, velocidad y aceleración angular.

-Hacer uso del prototipo para la validación de los resultados de simulación y ejecución de las señales de control comparando los resultados del modelo físico construido con los del modelo simulado.

### 4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN PROPUESTA

La metodología que se propone consta de tres etapas: en la primera etapa se considera el análisis matemático del exoesqueleto a partir de la cinemática de cuerpo rígido y la preconcepción de tres eslabones de miembro inferior enlazados (cadera, muslo y pierna), con lo cual se obtendrá la expresión matemática y un sistema matricial que describa su comportamiento; en la segunda etapa se realiza la simulación del mecanismo haciendo uso de la expresión obtenida en la etapa anterior y obteniendo las curvas que caracterizan el movimiento; y en la etapa tres se procede a verificar los resultados obtenidos en la simulación sobre el prototipo construido.

### 5. RESULTADOS ESPERADOS

#### Modelo matemático

El planteamiento de un modelo matemático para el control del movimiento del exoesqueleto se puede llevar a cabo mediante diferentes técnicas de modelamiento, para éste caso, el modelo matemático se plantea mediante ecuaciones cinemáticas de cuerpo rígido haciendo uso de los principios teóricos brindados por la dinámica de los cuerpos rígidos.

#### Modelado tridimensional

Los modelos tridimensionales proporcionan una ayuda para el análisis de los mecanismo debido a la posibilidad de obtener dimensiones del modelo y otras propiedades importantes tales como, centroide, masa, volumen, entre otros, por tal motivo es importante modelar el sistema y para ello se emplea el uso del software de modelado tridimensional CAD Solid Works, con el cual se obtuvieron los diseños preliminares mostrados en la Figura 1.

#### Simulación del modelo

El empleo de la simulación es de gran utilidad para el análisis de diferentes áreas de la ingeniería, desde la simulación de modelos matemáticos hasta la de modelos físicos en interconexión con diferentes variables, entra a jugar un papel importante en el análisis científico, por tal motivo se hace uso del software de simulación y análisis matricial Matlab, con él y la ayuda del paquete de Simulink SimMechanics se obtienen los siguientes

diagramas de bloques y sus respectivas simulaciones del exoesqueleto.



Figura 1. Modelo en Solid Works del prototipo de exoesqueleto

### 6. RESULTADOS PARCIALES

En la Figura 2 se muestra el diagrama de bloques correspondiente al modelo del exoesqueleto realizado en SimMechanics.

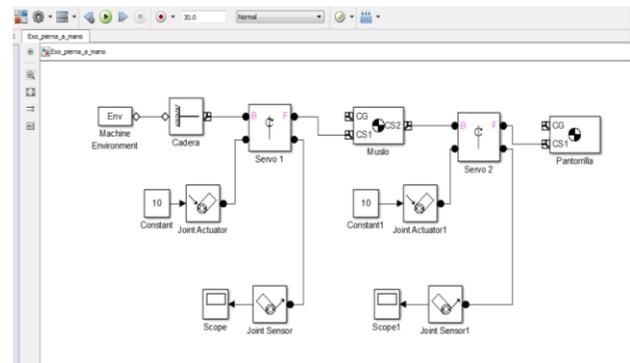


Figura 2. Diagrama de bloques 1 del prototipo de exoesqueleto

En la Figura 3 se observa gráficamente el resultado de la simulación cuyo diagrama de bloques se muestran en la Figura 2.

En la Figura 4 se muestra otra disposición de bloques de SimMechanics para la realización de una segunda simulación. En la figura 5 se muestra una representación gráfica más elaborada en donde se han realizado pruebas del diagrama de bloques mostrado en la figura 4.

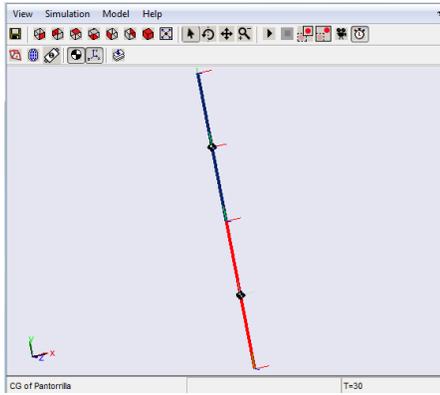


Figura 3. Simulación del diagrama de bloques 1 del prototipo de exoesqueleto

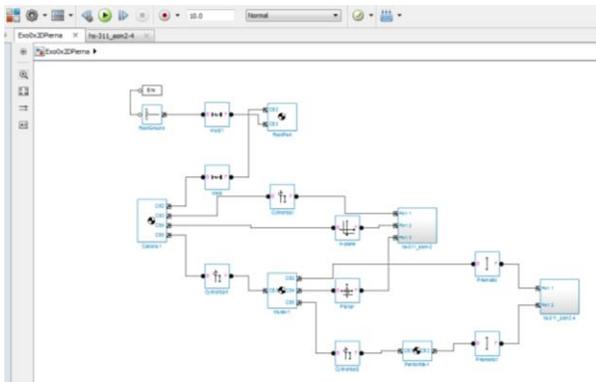


Figura 4. Diagrama de bloques 2 del prototipo de exoesqueleto

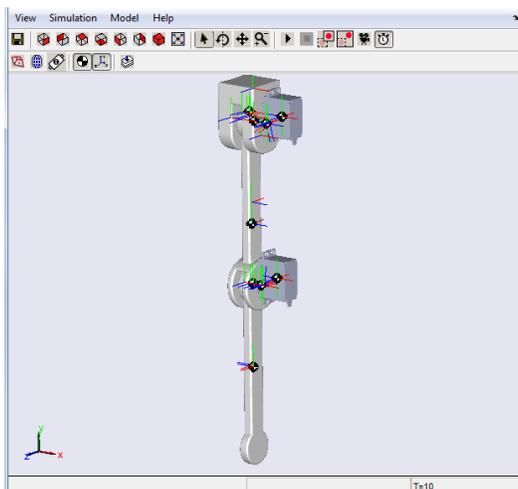


Figura 5. Simulación del diagrama de bloques 2 del prototipo de exoesqueleto

## 7. IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Nombre del Semillero	Semillero de modelado y simulación.
Tutor del Proyecto	Johann Barragán Gómez.
Grupo de Investigación	GICYM
Línea de Investigación	Robótica de rehabilitación
Fecha de Presentación	07 / 03 / 2016

## 8. REFERENCIAS

- [1] <http://www.redalyc.org/pdf/1053/105325282008.pdf>
- [2] [file:///C:/Users/ofilizona/Downloads/1998-3953-1-SM%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/ofilizona/Downloads/1998-3953-1-SM%20(1).pdf)
- [3] <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reving/article/view/2674/3841>
- [4] [http://homepage.cem.itesm.mx/aaceves/publicaciones/articulo-CIINDET\\_2007\\_CVA.pdf](http://homepage.cem.itesm.mx/aaceves/publicaciones/articulo-CIINDET_2007_CVA.pdf)
- [5] [http://dac.escet.urjc.es/rvmaster/rvmaster/asignaturas/3.2\\_Caminar.pdf](http://dac.escet.urjc.es/rvmaster/rvmaster/asignaturas/3.2_Caminar.pdf)