

GL-IMEC2540-01

Laboratorio 1: Cinemática de cuerpos rígidos

Tabla de contenido

1. Introducción	2
2. Objetivos	2
3. Tipo de Laboratorio	2
4. Preparación de la Práctica de Laboratorio.....	2
4.1. Elementos de Protección Personal	2
4.2. Equipos	3
5. Simulación	3
6. Desarrollo de la práctica.....	3
5.1. Procedimiento.....	3
Preparativos	4
Ejecución.....	4
Toma de datos	4
5.2. Datos por registrar durante el Experimento.....	4
7. Indicaciones sobre el informe.....	4
6.1. Pre-informe.....	4
6.2. Informe.....	5
6.2.1. Resultados a Reportar:.....	5
6.2.2. Aspectos para Incluir en el Análisis de Resultados	6
8. Criterios de Calificación.....	6
9. Bono (+1.5 aplicable en cualquier informe).....	7
10. Consideraciones adicionales.....	8
11. Bibliografía	8

1. Introducción

Esta práctica de laboratorio consiste en obtener y analizar una trayectoria esperada, por medio de la cinemática de un robot de dos grados de libertad, en dos dimensiones mediante una cámara de alta velocidad y un software de análisis de video. Con el video, se podrá obtener la posición y velocidad de cada cuerpo del robot y realizar un análisis cinemático de este al compararlo con la trayectoria esperada.

2. Objetivos

- Aprender a medir fenómenos físicos por medio de herramientas como una cámara de video y software.
- Desarrollar habilidades de análisis de datos y presentación de información experimental.
- Aprender a comparar diferentes métodos de análisis de resultados.

3. Tipo de Laboratorio







X	Experimento		Ensayo	X	Simulación
---	-------------	--	--------	---	------------

4. Preparación de la Práctica de Laboratorio

4.1. Elementos de Protección Personal

Esta práctica se realizará en el laboratorio **ML032 – Laboratorio de dinámica de fluidos**; por tanto, se requiere el uso de los EPP señalados con marcas de chequeo (✓):

Tabla 1. Elementos de protección personal.

Símbolo	Nombre	¿Requerido?
 ¹	Overol	
	Gafas de seguridad	
	Botas de protección	
	Protección auditiva	

¹ Íconos diseñados por “Freepik”

4.2. Equipos

Tabla 2. Tabla de equipos necesarios para la práctica.

Equipo	Marca	Referencia
ROBIX	RASCAL	KIT NO.1

5. Simulación

La simulación requiere implementar y visualizar la cinemática de un robot planar tipo **RR** (SCARA 2D) usando **SymPy Mechanics** para el modelado simbólico (**FK** con `pos_from` y **Jacobiano**) y una **IK cerrada** (solución analítica) para calcular configuraciones articulares a partir de trayectorias en el espacio cartesiano. La visualización se realiza con **Open3D** mediante **mallas artificiales** (o basadas STL) que representan los eslabones, con pivotes correctamente ubicados en sus ejes de rotación. Consulte el video adjunto en bloque neón "video_simulacion_esperada_L1".

6. Desarrollo de la práctica

5.1. Procedimiento

Tabla 3. Tabla de procedimiento en el desarrollo de la práctica.

Actividad	Paso	Responsable		
		AG	EST	LAB
Preparativos	1. Realizar el montaje del robot.	X		X*
	2. Medir las longitudes de las barras.	X		X*
	3. Realizar el código del Robix.		X	
Ejecución	1. Adecuar el montaje de grabación.		X	
	2. Posicionar un elemento de longitud conocida.		X	
	3. Actuar el robot.		X	
Toma de datos	1. Grabar el movimiento a slow motion.		X	

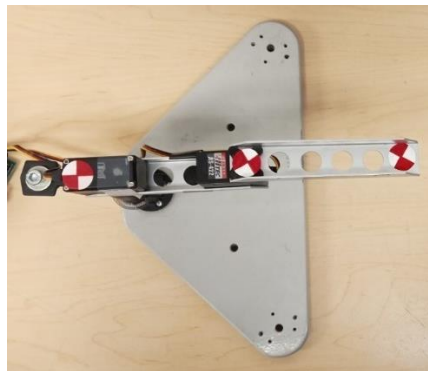


Figura 1 Montaje experimental Robix

² “AG” = Asistente Graduado. “EST” = Estudiante. “LAB” = Técnico de laboratorio.

En caso de aplicar X* se considera que el grupo de estudiantes considera realizar el bono del laboratorio.

Preparativos

- Paso 1. El asistente graduado preparará el montaje del robix, así como asigna el centro y el radio de círculo por grupo que seguirá la trayectoria del robot.
- Paso 2. Medir la longitud de \overrightarrow{OA} , \overrightarrow{AB} (asistente graduado, ver anexos).
- Paso 3. Encontrar las coordenadas de 2 figuras asignadas por el asistente graduado.
- Paso 4. Encontrar los ángulos de los segmentos A y B para que lleguen a las coordenadas escogidas en el paso 3.
- Paso 5. Traducir los ángulos encontrados para el software del Robix.

Ejecución

- Paso 1. Colocar el elemento de referencia y medirlo.
- Paso 2. El estudiante actuará el robix.

Toma de datos

- Paso 4. El estudiante grabará en cámara lenta la trayectoria esperada para su análisis.

5.2. Datos por registrar durante el Experimento

Durante el experimento los videos del movimiento serán adquiridos por la cámara del celular de cada estudiante.

Procesamiento del Video:

- Utilice la herramienta *Tracker Video Analysis and Modeling Tool* para analizar el video. El software es gratuito y puede ser descargado siguiendo el Link: <http://physlets.org/tracker/>.
- Puede también usar OpenCV para realizar el tracking de los nodos, con el comando `cv2.findContours` definiendo la máscara o rango de colores (en HSV) permisibles para la detección.

7. Indicaciones sobre el informe

6.1. Pre-informe

- Las simulaciones del robot para un sistema SCARA de tipo 2R, con una función que reciba por parámetro (L1, L2, T) donde L1 es el tamaño del primer link, L2 es el tamaño del segundo link y T es un vector que describe la trayectoria del robot a recorrer, recuerde que este no debe colisionarse a si mismo ya que entraría en interferencia. El formato es libre, debe tener la función propuesta, los vectores de prueba de su preferencia círculo, un cuadrado, un triángulo

y un hexágono, de dimensiones libres (que se encuentren al alcance del robot) descripción y análisis.

- Posibles códigos para la manipulación del robot tipo ROBIX.

6.2. Informe

El documento debe entregarse de forma digital (Si un estudiante o grupo no entrega el documento, la nota será de cero (0) en el laboratorio).

Debe entregar un archivo en formato PDF en dónde reporte tanto las simulaciones antes de la práctica, los resultados y los análisis de estos, éste debe realizarse a partir de las preguntas del archivo **Contenido mínimo viable (si quiere aportar más gráficas agréguelas mientras justifique su adición)**, el cual se encuentra en los archivos adjuntos a la actividad de Bolque Neón.

Adicionalmente tome en cuenta:

- **Liste las ecuaciones utilizadas en el informe que hayan sido usados en el desarrollo del laboratorio y obtención de resultados (marco teórico y modelado matemático) sea riguroso en lo posible.**
- Reporte lo requerido en el apartado de análisis de datos, variables de correlación aporte estadístico, incertidumbre del experimento basado en la cantidad de datos.
- Herramientas utilizadas, si uso unas diferentes a las propuestas, nombre y explique el porqué.

6.2.1. Resultados a Reportar:

Cálculos de cinemática

A partir de los cálculos teóricos de cinemática que se enuncian a continuación de cada marcador (suponiendo las restricciones que considere necesarias), derive la información para ejecutar un código que realice de manera física la cinemática de los cuerpos rígidos.

- Grafica de X contra Y de los puntos (coordenadas) a seguir por el robot para lograr las figuras (realizar graficas con ejes y conclusiones).
- Ecuaciones generales de posición contra tiempo para los marcadores A y B con marco de referencia global (x, y) (2 ecuaciones).
- Encuentre los ángulos necesarios para cada actuador respecto a la unión de cada cuerpo rígido por cinemática directa (marcadores A y B).
- Encuentre los ángulos necesarios para cada actuador respecto a la unión de cada cuerpo rígido por cinemática inversa (marcadores A y B).

- Gráficas de los actuadores con los ángulos encontrados para cada punto del círculo (n puntos = n gráficas que contengan los marcadores A y B, así como los ángulos)

Utilizando el video, realice las siguientes actividades:

A partir de los datos obtenidos de Tracker, generar las gráficas de:

- X contra Y del movimiento completo del círculo (marcador B).
- Ángulos contra el tiempo para los marcadores A y B (Dos gráficas).

Compare los resultados obtenidos por los dos métodos.

Una todas las gráficas teóricas y experimentales para el análisis de datos

6.2.2. Aspectos para Incluir en el Análisis de Resultados

Analice los resultados obtenidos, dando respuesta a las siguientes preguntas:

- Analice posibles causas de discrepancia entre el modelo teórico con la práctica experimental a partir de las gráficas de posición.
- Comente las fuentes de error por el uso de Tracker para en análisis cinemático.
- Compare la posición de los marcadores A y B que fueron hallados teóricamente y con Tracker. Explique por qué las gráficas coinciden o son diferentes.
- Teniendo en cuenta la comparación entre los modelos físicos y los datos obtenidos experimentalmente en este laboratorio, comente y analice si los modelos se acercan a la realidad y justifica el uso de estos en otras aplicaciones de los campos de la ingeniería mecánica teniendo en cuenta las consideraciones necesarias.
- ¿Los modelos matemáticos de la cinemática de cuerpos rígidos son útiles para representar el movimiento de estos? Argumente su respuesta basándose en los datos obtenidos del experimento

8. Criterios de Calificación

A continuación, encontrara los porcentajes de cada entregable para este laboratorio, se recomienda tener en cuenta estos porcentajes.

Tabla 4 Criterios de calificación del informe.

Archivos por entregar	Peso porcentual de la nota
Simulación	10%

Quiz de verificación de lectura	10%
Entregable en PDF	59%
Asistencia Comple.	5%
Tracker y videos	8%
Bono	30%
Código de Python	8%

Nota: La calificación se encuentra sobre 130/100 lo cual le permite mejorar su nota en caso de que no cumpla con la nota de 5 en el informe o en caso de que se requiera para otro laboratorio, el bono solo es aplicable en 1 nota por lo que usted deberá enviar un correo en nombre del grupo expresando si van a realizar el bono y en su defecto si quiere que aplique para este o para el siguiente.

9. Bono (+1.5 aplicable en cualquier informe)

El bono consiste en la construcción, modelado y manipulación de un robot polar desarrollado por el equipo de DSM. El ejercicio plantea como objetivo principal replicar y analizar las trayectorias propuestas para un robot tipo JACK, implementando de manera explícita tanto la cinemática directa como la cinemática inversa.

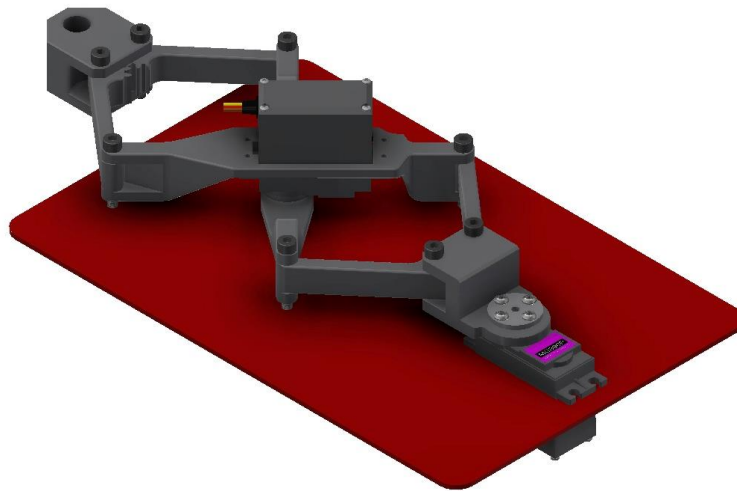


Figura 2 Montaje experimental Robot polar.

Para lograrlo, el grupo deberá definir y formalizar las funciones cinemáticas que gobiernan el comportamiento del mecanismo, garantizando que la relación entre las variables articulares y la posición del efector final esté correctamente planteada. Esto permitirá no solo simular su movimiento, sino también comprender los límites operativos del robot y los posibles espacios de trabajo alcanzables bajo diferentes configuraciones articulares.

Adicionalmente, se solicita la elaboración de un cuadro comparativo en el que se contrasten diseños

alternativos de mecanismos, considerando aspectos clave como:

- Flexibilidad de movimiento: rango operativo, número de trayectorias posibles, facilidad para alcanzar puntos en el espacio de trabajo.
- Gasto de potencia o eficiencia energética: análisis de cómo varía el consumo de energía o esfuerzo requerido para desplazar el efector desde un punto A hasta un punto B en un mecanismo respecto al otro.
- Este análisis debe evidenciar las ventajas y limitaciones de cada configuración, ofreciendo criterios técnicos para la selección de un diseño en función de las necesidades del sistema.

Como parte del bono, también se deberá implementar una simulación plana en 2D, representada a través de gráficas matemáticas (sin recurrir a la representación en 3D). Esta simulación debe describir de manera clara el espacio de trabajo completo del robot polar, identificando todos los puntos posibles que el mecanismo puede alcanzar dentro de un dominio equivalente al del robot ROBIX. El rango de puntos encontrados se deberá representar gráficamente, de forma que se visualicen las trayectorias y se pueda inferir el comportamiento del sistema en todo su espacio operativo.

Finalmente, el grupo debe realizar un análisis crítico a partir de los resultados obtenidos, resaltando conclusiones sobre la viabilidad del diseño, su eficiencia y su capacidad para replicar trayectorias dentro del dominio planteado. Dicho análisis debe estar documentado de manera concreta en el informe, anexando las gráficas generadas y las observaciones derivadas de las simulaciones.

10. Consideraciones adicionales

- Los informes constarán de 5 páginas como máximo, sin contar anexos ni la actividad de bonificación.
- Los errores gramaticales u ortográficos serán penalizados con -0.05 por cada uno.
- Los informes que no cuenten con el formato establecido por el departamento o un formato consistente IEEE/APA/ICONTEC, no serán evaluados y contarán con una nota de 1.0.
- Los cambios de grupo (en caso de darse) deberán ser informados antes de la entrega del informe esto con el fin de mantener la trazabilidad de los grupos.
- El uso de LLM's está permitido mientras se utilice como herramienta complementaria (documentación, testing, estructura de carpetas, optimización de código) y no de resolución, en caso de usarlas en el código describa los fragmentos en los cuales lo usó y diga por qué esto servirá de retroalimentación.

11. Bibliografía

[1] IEEE, «IEEE Citation Reference,» Septiembre 2009. [En línea]. Available: <http://www.ieee.org/documents/ieeecitationref.pdf>. [Último acceso: 14 Diciembre 2015].

-
- [2] Centro de Español, Universidad de los Andes, «Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos,» 2012. [En línea]. Available: <http://programadeescritura.uniandes.edu.co/images/Recursos/Citacion/InstitutodelIngenieros%20Electricos.pdf>. [Último acceso: 14 Diciembre 2015].
- [3] T. G. Beckwith, R. D. Marangoni y J. H. Lienhard V, «Assessing and Presenting Experimental Data,» de *Mechanical Measurements*, Nueva Jersey, Pearson, 2007.
- [4] J. R. Taylor, *An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements*, 2 ed., Sausalito, California: University Science Books, 1997.
- [5] F. A. Morrison, «Obtaining Uncertainty Measures on Slope and Intercept of a Least Squares Fit with Excel's LINEST,» 25 Septiembre 2014. [En línea]. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/0815/66656b9e5975e7034750e641c2e81ae027a7.pdf>. [Último acceso: Abril 2016].