

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA Y MECATRÓNICA  
ROBÓTICA 2021-I

Profesor: Ing. Pedro-F. Cárdenas, Ing. Ricardo E. Ramirez  
Monitor: Julián A. Hernández R.

## Laboratorio - Análisis y simulación de robot industrial

### Índice

1. Objetivos	1
2. Requisitos	2
I Robot y ruta.	2
3. Asignación del robot.	2
4. Localización de ruta.	3
5. Características y modelo del robot	3
II Modelos	3
6. Iniciando.	4
7. Modelo Geométrico Directo	4
8. Modelo Geométrico Inverso	5
III Modelo diferencial de primer Orden	5
IV Integración	5
V Entregables	6
9. Componentes de la entrega	6

### 1. Objetivos

- Hacer una introducción al manejo de la herramienta MATLAB® para la simulación de robots.
- Simular el comportamiento del robot industrial (asignado a su grupo) teniendo en cuenta sus características y haciendo uso de los toolboxes RVCtools de Peter Corke y Robotics System Toolbox (RST) de MATLAB®
- Construir los modelos cinemáticos directo, inverso y diferencial de un robot Industrial
- Generar rutas y trayectorias y simular el seguimiento de las trayectorias.
- Implementar una GUI en MATLAB® para demostrar el funcionamiento de los modelos.

## 2. Requisitos

- Toolboxes RVCtools de Peter Corke y Robotics System Toolbox instalados.

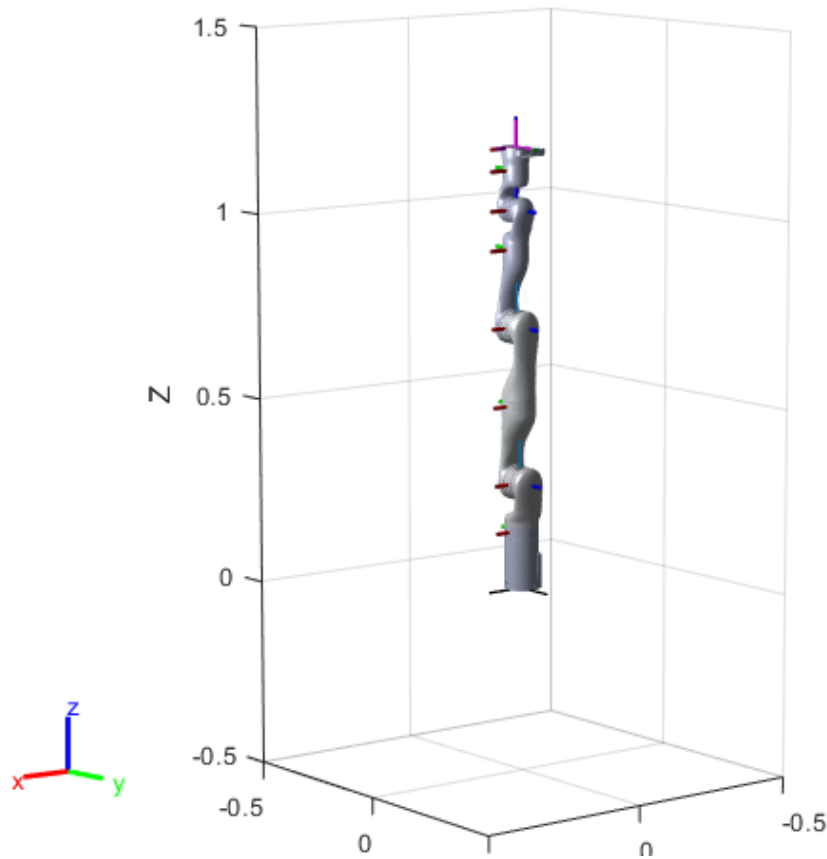


Figura 1: Modelo del robot KinovaGen3 en MATLAB®.

### Parte I

## Robot y ruta.

### 3. Asignación del robot.

Se asigna un modelo de robot industrial a cada equipo de trabajo y un plano en el que debe crear una ruta y simular el movimiento de seguimiento del robot. Deberá presentar al menos la simulación de esa ruta, pueden crear y simular otras rutas y/o otros planos.

Equipo de:	Robot	Plano - Vector
David Rivas	FANUC M-16iB 6-axis robot	[1, 0, 1]
Laura Garzón	ABB IRB 1600 6-axis robot	[0, 1, 1]
Sebastian Alfonso	FANUC LR Mate 200iB 6-axis robot	[-1, 0, 1]
Nicolas Pinilla	ABB IRB 120 6-axis robot	[0, -1, 1]
Michael Rodriguez	Universal Robots UR5 6-axis robot	[1, 0, 1]
Alejandro Hernández	Yaskawa Motoman MH5 6-axis robot	[0, 1, 1]
Natalia Tello	ABB IRB 120 6-axis robot	[-1, 0, 1]
Luis Bohórquez	ABB IRB 1600 6-axis robot	[0, -1, 1]
Luis Chávez	FANUC LR Mate 200iB 6-axis robot	[1, 0, 1]
Alexander Caicedo	FANUC M-16iB 6-axis robot	[0, 1, 1]
Sebastian Panche	Universal Robots UR5 6-axis robot	[-1, 0, 1]
Jorge Avellaneda	Yaskawa Motoman MH5 6-axis robot	[0, -1, 1]

#### 4. Localización de ruta.

- Plano - Vector, significa que la ruta que el robot va a simular debe estar en un plano normal al vector indicado en la tabla.
- La ruta debe tener una de las dos formas mostradas en la figura 2. Cada grupo selecciona la que deseen.
- La dimensión L debe ser aproximadamente 0,4 del alcance horizontal máximo del robot.
- El grupo decide la posición de la ruta en el espacio cartesiano de manera que quede dentro del espacio diestro del robot.

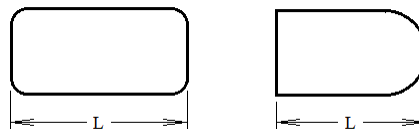


Figura 2: Opciones de ruta a simular.

#### 5. Características y modelo del robot

Busque información técnica del robot, obtenga catálogos de fabricante, presente en el informe:

1. Imagen del robot.
2. Capacidad de carga.
3. Alcance vertical y horizontal.
4. Repetibilidad.
5. Gráfica(s) de espacio alcanzable.
6. Tabla de parámetros DH.
7. Qué software utiliza el fabricante para diseño de celdas o programación.

## Parte II

# Modelos

Para esta sección es necesario primero:

1. Visitar en caso que desee mejorar su habilidad en MATLAB®. [2]
2. Revisar la literatura del *Toolbox de Peter Corke.(RVC)*. Específicamente los objetos Link, SerialLink y los métodos de dichos objetos que proporcionan la cinemática directa e inversa.
3. Para introducirse al manejo del *Robotics Systems Toolbox (RST)* de MATLAB® desarrolle el ejercicio *Build a Robot Step by Step*. Además, revise las *funciones completas* del toolbox.
4. Para realizar los puntos referentes al *Robotics Systems Toolbox (RST)* es pertinente revisar el ejemplo *Plan and Execute Task- and Joint-Space Trajectories Using KINOVA Gen3 Manipulator*.
5. En varias secciones se pedirá realizar una GUI (Interfaz gráfica de usuario). Vea el [video del App Designer](#) para aprender a crearla.

## 6. Iniciando.

Haciendo uso de MATLAB® y los toolboxes construya un modelo del robot o utilice uno disponible en los toolboxes y que corresponda al robot asignado.

1. Realice el análisis geométrico del robot asignado a través de DH modificado y utilice las funciones de RVC para construir un modelo en alambres.
2. Considerando el robot asignado, construya el modelo del robot utilizando RST.
3. Compare los dos métodos.
4. Con la hoja técnica del robot, el fabricante provee puntos de calibración. Con la ayuda de la cinemática directa verifique dichos puntos.

## 7. Modelo Geométrico Directo

1. Halle el modelo geométrico directo de su robot asignado usando MTH.
2. Haciendo uso del modelo cinemático directo obtenga los valores de posición y de orientación en coordenadas generalizadas del efector final de su robot asignado para los siguientes valores articulares:

Tabla 1

	q	x	y	z	roll	pitch	yaw
1	[0.5, 0.2, 0.4, 0.5, 0, 1.5]						
2	$[-\pi/2, 0.3, 0, \pi/2, 0.4, 1.2]$						
3	[0, 1, -0.5 2 1 0.5]						
4	[-1, -0.3, $-\pi/5$ , 0.4 0.2 1]						

3. Haga uso de las funciones de cinemática directa de ambos toolboxes y compruebe los resultados anteriores.
4. Compare los métodos.
5. Elija uno de los métodos anteriormente usados y desarrolle una GUI que permita mover cada articulación mediante controles tipo *Slider*, visualizar el robot y la posición del efector final.
6. En el informe incluya capturas de pantalla verificando las posiciones EF y las articulaciones.

## 8. Modelo Geométrico Inverso

1. Determine el modelo geométrico inverso del robot asignado haciendo uso de la metodología explicada en clase.
2. En las soluciones de la inversa incluya consideraciones respecto a multiplicidad de soluciones.
3. Haga uso de las funciones del RVC para hallar la cinemática inversa de su robot asignado y compruebe los resultados del punto anterior. Ya que existen varias funciones en el *Toolbox* explique:
  - ¿Cuál es la diferencia entre estas funciones?
  - ¿Cuál debe usar para su robot y por qué? (Revise la documentación del *Toolbox*)
4. Haga uso del RST para hallar la cinemática inversa de su robot asignado y compruebe los resultados anteriores.
5. Compare los métodos.
6. Calcule la configuración del robot para las siguientes posturas de la herramienta. Proponga 4 posturas  $(x, y, z, roll, pitch, yaw)'$  que estén dentro del espacio de trabajo y determine la configuración del manipulador y complete la tabla 2.

Tabla 2

	x	y	z	roll	pitch	yaw	$q_1$	$q_2$	$q_3$	$q_4$	$q_5$	$q_6$
1												
2												
3												
4												

7. Haciendo uso de la GUI verifique que con la configuración calculada se obtiene la postura indicada de la herramienta.
8. Para uno de los cuatro casos haga capturas de pantalla resaltando con cotas los valores  $x$  y  $z$ , e incluya en el informe los resultados

## Parte III

# Modelo diferencial de primer Orden

Considerando que para que el robot ejecute los movimientos, se desea establecer una relación entre las velocidades del efector final y las articulaciones.

1. Con los valores numéricos de longitudes y desplazamientos de los eslabones del robot asignado obtenga el Jacobiano (como una matriz de valores numéricos, NO simbólico) en función de los ángulos de articulación.
2. Para la postura 1 de la Tabla 2 obtenga las velocidades de articulación para:

$$V_H = \begin{bmatrix} 100 \\ 200 \\ 50 \end{bmatrix} mm/s \quad \omega_H = \begin{bmatrix} 5 \\ 10 \\ -5 \end{bmatrix} rad/s \quad (1)$$

## Parte IV

# Integración

Ahora con la ayuda de los algoritmos desarrollados y de la GUI construida.

1. Ubique la ruta seleccionada con la orientación indicada dentro del espacio diestro del robot.
2. Defina un conjunto de puntos equidistantes que pertenezcan a la ruta (viapoints). Mínimo 60 puntos. El eje z de la herramienta debe mantenerse perpendicular al plano que contiene la ruta.
3. Calcule las configuraciones correspondientes a cada viapoint. Presente una gráfica de cada ángulo de articulación al recorrer la ruta.
4. Calcule las velocidades en cada viapoint de manera que la herramienta recorra la ruta a una velocidad de 500 mm/s. Presente gráficas de velocidad de cada articulación.

## Parte V

# Entregables

Para la entrega del laboratorio, dado que contiene diferentes temas cada uno de ellos visto en clase es necesario hacer una entrega con diferentes elementos que se prensan a continuación.

## 9. Componentes de la entrega

1. **Documento** donde se presente toda la información de los entregables y miembros del grupo. El documento debe presentarse en **PDF**. Se debe subir al Moodle dentro de las fechas programadas.
2. **Video de demostración de funciones:** Duración de máximo 5 min. Deberá incluir al inicio el clip de introducción del LabSiR (compartido con este informe), seguido de un front de la Universidad Nacional de Colombia, autores, profesores, curso, año etc. En este se debe incluir una breve explicación del robot industrial y sus características principales. Desarrollo de cada una de las partes del trabajo y de la interface de operación del robot (GUI). Se espera que el vídeo contenga narración por parte de los integrantes del equipo de trabajo. Ejemplos vídeos generales:

- Ejemplos [Robotcis Lab](#).
- Ejemplo [Learning to Generate 6-DoF Grasp Poses with Reachability Awareness \(ICRA 2020\)](#) o Youtube.
- Ejemplo [Robot telekinesis \(ICRA 2020\) - 7 min. presentation](#).
- Ejemplo [ICRA 2020 - Tactile Dexterity: Manipulation Primitives with Tactile Feedback MIT](#).
- Ejemplo [ICRA 2020 – "Multiplexed Manipulation: Versatile Multimodal Grasping via a Hybrid Soft Gripper"](#).

**El vídeo debe ser subido y compartido a través de Youtube**

3. **Wiki:** El grupo de trabajo deberá realizar colaborativamente un Wiki la cual servirá como forma de documentación del proyecto, para esto se va usar la herramienta [Wikidot](#), los nicknames en wiki deben ser los mismos que las cuentas de correo. El wiki debe incluir:
  - Desarrollo de las partes del laboratorio.
  - Explicación del código implementado.

A manera de ejemplo se presenta el siguiente wiki [Ejemplo año anterior](#)

En el Wiki cada uno de los miembros debe ayudar a la construcción colectiva del mismo, para determinar la contribución de cada miembro se hace uso del karma, más detalles ver [Karma](#). El nivel de Karma será valorado en la nota de cada integrante.

4. **Repositorio:** Cada grupo de laboratorio debe gestionar todo su código por medio un repositorio git de su proyecto (Se sugiere usar GitHub), en este se debe subir todo el código, paquetes, escenarios y demás software desarrollado para la solución del proyecto, los miembros de cada equipo deben aparecer como colaboradores. La cantidad de aportes (commits) hechos por cada miembro sera valorado en el nota individual.

### Observaciones:

1. **Forma de trabajo:** Grupos de laboratorio correspondientes al proyecto de curso.
2. Los puntos que requieran implementación de funciones deberán tener comentarios de cómo se utilizan y adjuntar archivos **.m** o **.mlx**.
3. **Fecha de entrega: 21/07/2021.**

### Referencias

- [1] [QUT Robot Academy](#) . Visitado en Junio de 2021
- [2] Training Mathworks, [Link](#). Visitado en Junio de 2021
- [3] Martinez, A., Fernandez E. *Leaning ROS for robotics programming*, PackT Publishing.
- [4] Corke, Peter. *Robotics, Vision Control*. 2017
- [5] Craig, John. *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*. 4 Ed. 2017