

**UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

CINEMÁTICA DIRECTA E INVERSA - MITSUBISHI RV-M1

Laboratorio De Robótica Industrial

Aarón Aguilar, Brandon Cáceres, Sebastián Muñoz, Andrea Olea, Gabriel Peña

Profesor Guía: René Torres A.

Fecha de entrega: 06/10/2023



Tabla de contenido

Tabla de Figuras	ii
Tabla de anexos	ii
RESUMEN	1
OBJETIVOS DEL INFORME	2
General:	2
Específicos:.....	2
MATERIALES USADOS	3
RESULTADOS	4
Dimensiones del robot	4
Cinemática directa	5
Cinemática inversa	7
GRÁFICOS Y TABLAS	8
Cinemática Directa	8
Cinemática Inversa	9
PROCEDIMIENTO	10
CONCLUSIONES	11
FIGURAS EXPLICATIVAS	A
REFERENCIAS	B



Tabla de Figuras

Figura 1.- Logotipo Software Matlab.....	3
Figura 2.- Representación angular Brazo Mitsubishi.....	5
Figura 3.- Gráfica Robot RV-M1 para valores Tabla 1.....	8
Figura 4.- Gráfica Robot RV-M1 para valores Tabla 2.....	9

Tabla de anexos

Anexo 1.- Dimensiones del robot en mm.....	A
Anexo 2.- Grados de libertad Robot Mitsubishi.....	A
Anexo 3.- Dimensiones y Ángulos de movimiento Robot Mitsubishi RV-M1	A



RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo presentar los resultados obtenidos por el grupo de trabajo respecto de los cálculos de cinemática directa e inversa del robot Mitsubishi Movemaster RV-M1. En este caso, la cinemática directa es trabajada a partir de la aplicación de matrices de Denavit-Hartenberg, esto mediante el análisis físico del brazo robótico aplicando las dimensiones correspondientes con el fin de modelar el robot en sí, donde posteriormente se trabaja en Python con el fin de graficar y obtener los valores de los ángulos de rotación con respecto a los puntos x , y , z que se presentan en el plano 3D. Por medio de un desarrollo similar al comentado previamente, se trabaja la cinemática inversa a partir del método del gradiente descendiente, logrando obtener una simulación de la posición del robot en el espacio, por medio de las distancias entregadas.



OBJETIVOS DEL INFORME

General:

- Determinar la cinemática directa e indirecta del robot industrial Mitsubishi RV-M1.

Específicos:

- Reconocer la estructura del robot, identificando los grados de libertad y medidas de este.
- Calcular la cinemática directa mediante el método de Denavit – Hartenberg.
- Desarrollar una gráfica de los diferentes movimientos, mediante el software Matlab por medio de la cinemática directa.
- Calcular la cinemática inversa mediante el método del gradiente descendiente.
- Desarrollar una gráfica de los diferentes movimientos, mediante el software Matlab por medio de la cinemática inversa.



MATERIALES USADOS

Software Matlab2023a

Software dedicado a la simulación de sistemas al igual que estudios ingenieriles varios. Mediante este instrumento es posible realizar cálculos matemáticos complejos, los que son utilizados principalmente para análisis de datos, creación de algoritmos y modelos. Además, incluye su propio lenguaje de programación.

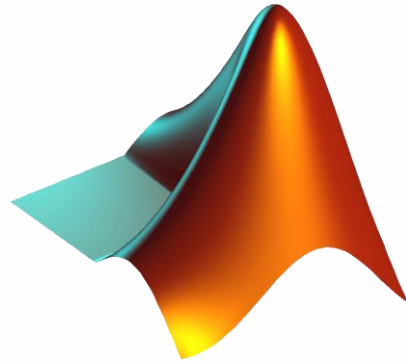


Figura 1.- Logotipo Software Matlab.

RESULTADOS

Para todos los cálculos realizados se consideraron las siguientes restricciones desde la posición “Home” del brazo robótico (Anexo1):

Articulación	Limite ángulos
1	$[0^\circ / 360^\circ]$
2	$[-20^\circ / 100^\circ]$
3	$[0 / -110^\circ]$
4	$[-90^\circ / 90^\circ]$
5	$[0^\circ / 360^\circ]$

La cinemática directa permite encontrar la relación que existe entre las articulaciones de un robot, esto con el objetivo de conocer la posición en el espacio de una articulación. Para el cálculo de esto se utilizó el método de Denavit-Hartenberg. A continuación, se explicará detalladamente el desarrollo realizado.

Dimensiones del robot

Parámetro	Distancia [mm]
L_1	300
L_2	250
L_3	160
L_4	147

Cinemática directa

Primero se identificaron los tipos de articulaciones del robot, donde se observó que posee 5 articulaciones rotatorias. Luego se realizó un diagrama simplificado para asignar los sistemas de referencia en las articulaciones del robot, cabe mencionar que la posición de referencia que se utilizó fue la posición “Home” que proporciona el fabricante:

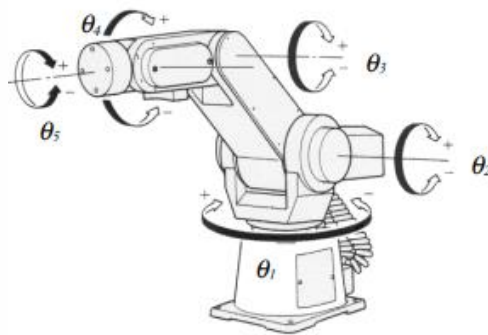


Figura 2.- Representación angular Brazo Mitsubishi.

En base a los sistemas de referencia establecidos se completó la tabla de parámetros Denavit-Hartenberg

Articulación	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	θ_1	L_1	0	$\frac{\pi}{2}$
2	θ_2	0	L_2	0
3	θ_3	0	L_3	0
4	θ_4	0	0	$\frac{\pi}{2}$
5	θ_5	0	L_4	0

Después se obtuvieron las matrices de transformación homogénea entre los sistemas de referencia, en este caso se usaron matrices de rotación homogéneas.

$$A_1^0 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & 0 & \sin(\theta_1) & 0 \\ \sin(\theta_1) & 0 & -\cos(\theta_1) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_2^1 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_2) & -\sin(\theta_2) & 0 & L_2 \cos(\theta_2) \\ \sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) & 0 & L_2 \sin(\theta_2) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3^2 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_3) & -\sin(\theta_3) & 0 & L_3 \cos(\theta_3) \\ \sin(\theta_3) & \cos(\theta_3) & 0 & L_3 \sin(\theta_3) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_4^3 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_4) & 0 & \sin(\theta_4) & 0 \\ \sin(\theta_4) & 0 & -\cos(\theta_4) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_5^4 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_5) & -\sin(\theta_5) & 0 & 0 \\ \sin(\theta_5) & \cos(\theta_5) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Finalmente, se calculó la matriz de transformación homogénea final que relaciona todos los sistemas de referencia establecidos para obtener la posición del actuador final del robot con respecto al marco fijo.

$$T_5^0 = A_1^0 A_2^1 A_3^2 A_4^3 A_5^4$$

$$T_5^0 = \begin{bmatrix} C(\theta_1) \cdot C(\theta_{234}) \cdot C(\theta_5) + S(\theta_1) \cdot S(\theta_5) & -C(\theta_1) \cdot C(\theta_{234}) \cdot S(\theta_5) + S(\theta_1) \cdot C(\theta_5) & C(\theta_1) \cdot S(\theta_{234}) & C(\theta_1) \cdot (L_4 \cdot S(\theta_{234}) + L_3 \cdot C(\theta_{23}) + L_2 \cdot C(\theta_2)) \\ S(\theta_1) \cdot C(\theta_{234}) \cdot C(\theta_5) - C(\theta_1) \cdot S(\theta_5) & -S(\theta_1) \cdot C(\theta_{234}) \cdot S(\theta_5) - C(\theta_1) \cdot C(\theta_5) & S(\theta_1) \cdot S(\theta_{234}) & S(\theta_1) \cdot (L_4 \cdot S(\theta_{234}) + L_3 \cdot C(\theta_{23}) + L_2 \cdot C(\theta_2)) \\ S(\theta_{234}) \cdot C(\theta_5) & -S(\theta_{234}) \cdot S(\theta_5) & -C(\theta_{234}) & L_1 - L_4 \cdot C(\theta_{234}) + L_3 \cdot S(\theta_{23}) + L_2 \cdot S(\theta_2) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Una vez realizado el cálculo de la cinemática directa del robot Mitsubishi, se procede a realizar el cálculo de la cinemática inversa de este con fines de aterrizar los conocimientos obtenidos.



Cinemática inversa

En este caso, se utilizó una solución numérica denominada método del “gradiente descendiente”. Este método permite conocer los ángulos a implementar para conseguir la posición y orientación deseada del actuador final mediante una repetición de aproximaciones, que buscan obtener un error lo más cercano a cero. Además, para la cinemática inversa se debe tener en cuenta las restricciones por parte de las funciones y las del robot, debido a que no todos los valores podrían ser válidos y también porque existen diferentes configuraciones que permiten llevar al robot a dicha posición.

Para estos casos, en general, el método del gradiente descendiente se define como sigue:

$$q_{k+1} = q_k - \alpha \nabla g(q_k)$$

$$q_{k+1} = q_k - \alpha J^T(q_k)(x_d - f(q_k))$$



GRÁFICOS Y TABLAS

La siguiente sección presenta ejemplos de las respuestas de cada programa ante los diferentes valores respecto del comportamiento posicional del robot, basado en ejemplos de los valores posibles:

Cinemática Directa

Tabla 1.- Valores Ángulos Cinemática Directa

Ángulos	Valores
θ_1	270°
θ_2	69°
θ_3	340°
θ_4	310°
θ_5	196°

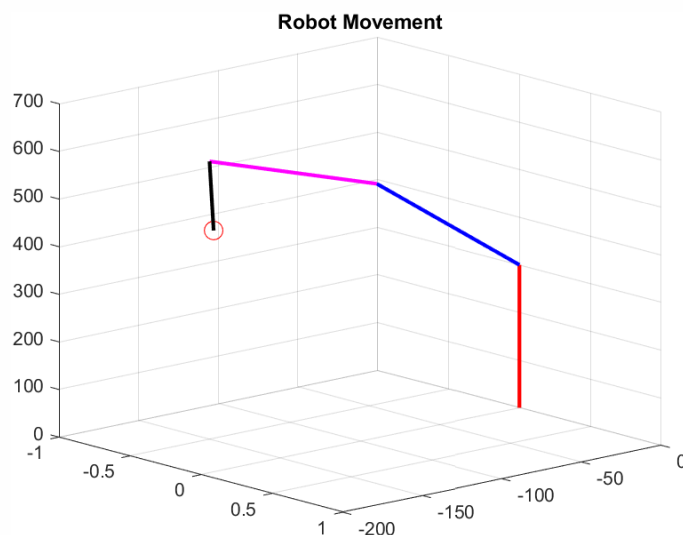


Figura 3.- Gráfica Robot RV-M1 para valores Tabla 1



Cinemática Inversa

Tabla 2.- Valores Eslabones Cinemática Inversa

Eslabones	Valores [mm]
L_1	300
L_2	250
L_3	160
L_4	147

Donde q se encuentra determinado por:

$$q = (200^\circ; 50^\circ; 270^\circ; 83^\circ; 50^\circ)$$

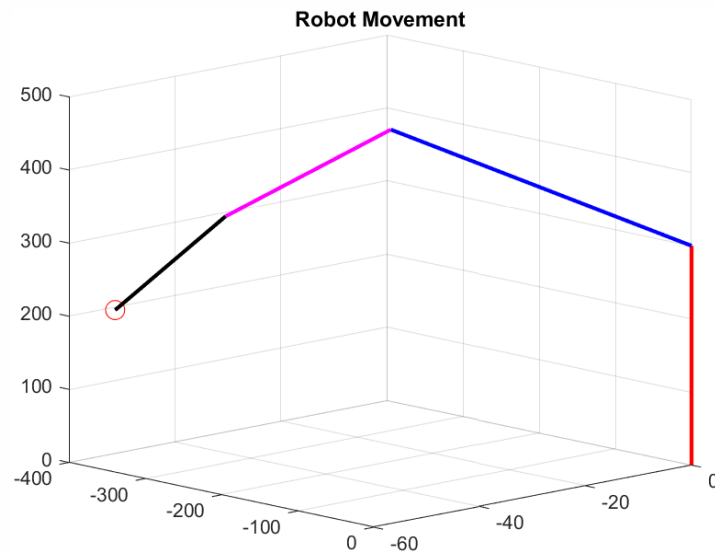


Figura 4.- Gráfica Robot RV-M1 para valores Tabla 2



PROCEDIMIENTO

Es importante tener un conocimiento general acerca de aquellas ecuaciones que son capaces de predecir el comportamiento de un sistema, tanto en su disposición espacial como posición final del punto del último eslabón, estas son utilizadas con el fin de poder dar una solución para la cinemática directa e inversa, las cuales son determinadas a partir de la implementación de algoritmos en Matlab.

En base a lo anterior, se establece la implementación de una solución para la cinemática directa donde, al principio, se decretan los parámetros del robot (como los largos de cada articulación) entre el rango de valores que brindaba el catálogo del robot, como los parámetros de Denavit-Hartenberg, por medio de los cuales, en conjunto con las matrices de transformación homogénea, se logra modelar el sistema de manera óptima y precisa, entregando de forma final, mediante la implementación del código, una gráfica del espacio que muestra un punto que corresponde al punto final del brazo basado en los ángulos entregados.

Por otro lado, el segundo código busca el mismo objetivo, sin embargo, es utilizado el procedimiento de la solución numérica “Método del Gradiente”, implementada a través del mismo lenguaje de programación Matlab. A través de la entrega de la posición final deseada y la definición de ángulos iniciales para el proceso de iteración, se realiza el cálculo de la cinemática directa del robot y se evalúa la diferencia en la posición obtenida con la posición deseada, reemplazando los ángulos anteriores con unos nuevos obtenidos de la pseudo – inversa de la Jacobiana del estado anterior para obtener el nuevo estado. Por medio del proceso iterativo es posible describir la disposición del robot Mitsubishi en el espacio.



CONCLUSIONES

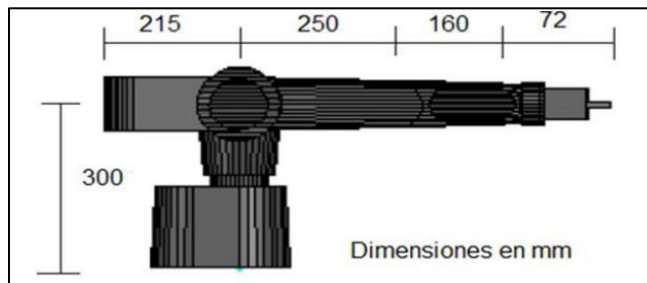
Es posible concluir el cumplimiento de los objetivos planteados al comienzo de este informe, basados principalmente en la obtención por código de la cinemática directa e inversa del robot industrial Mitsubishi Movemaker RV-M1, haciendo uso del software Matlab para este propósito. Es posible identificar con ello que, el estudio y desarrollo de ambos estudios mecánicos son una tarea alcanzable y esperable dentro del campo de la robótica, demostrando además la eficacia y el apoyo de softwares como el utilizado.

Además, e implícitamente, el desarrollo de esta actividad permitió conocer más a fondo distintos parámetros antes desconocidos del robot, tales como sus dimensiones, grados de libertad, posibilidad de disposición en el espacio y comportamiento general, el cual fue observado a partir de las diferentes simulaciones gráficas. Por otro lado, también se conocieron las principales ventajas de la cinemática inversa, método por el que no es necesario identificar los ángulos requeridos para obtener una posición deseada, lo cual es de gran utilidad al momento de modelar robots con varias articulaciones e incluso con articulaciones que tengan más de un grado de libertad. Asimismo, se descubrieron las desventajas de este estudio, una de ellas es el tiempo que toma llegar a la solución, este valor suele ser bastante debido a la cantidad de iteraciones que se deben realizar haciendo ineficiente el proceso. Además, es necesario tener en cuenta que no se garantiza la convergencia de la solución.

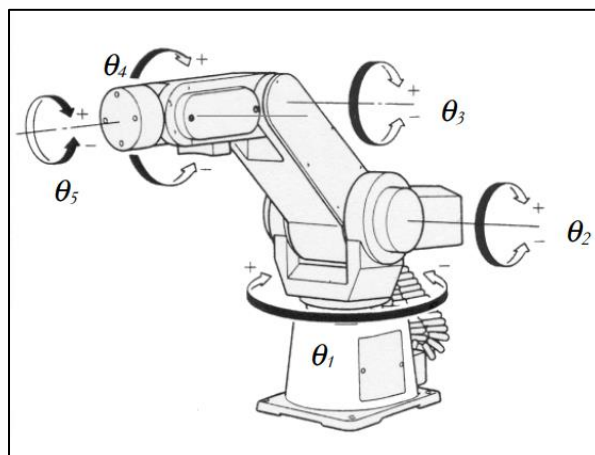
Lo anterior no deja exento la posibilidad de recordar contenidos, tal como la aplicación de la convención Denavit-Hartenberg, ya vista, y ahora calculada para fines prácticos reales, como también el aprendizaje de otros métodos como el de gradiente descendiente, cuya implementación antes era desconocida en el ámbito de la robótica y que hoy permite fortificar la base de conocimientos existentes.



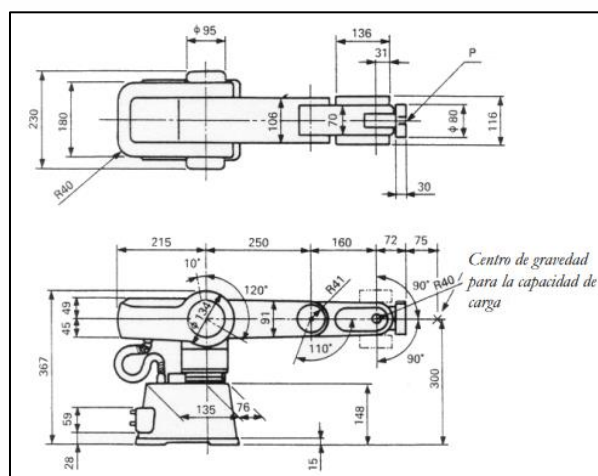
FIGURAS EXPLICATIVAS



Anexo 1.- Dimensiones del robot en mm



Anexo 2.- Grados de libertad Robot Mitsubishi



Anexo 3.- Dimensiones y Ángulos de movimiento Robot Mitsubishi RV-M1

REFERENCIAS

1. **MITSUBISHI.** *INDUSTRIAL MICRO-ROBOT SYSTEM Model RV-M1.* Tokyo : s.n.
2. *Cinemática de Manipuladores Robóticos.* **jaramillo B., Andrés.** 2005, pág. 68.

