



CORHUILA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA
Vigilada Mineducación

INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR SUJETA A INSPECCIÓN
Y VIGILANCIA POR EL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL - SNIES 2828

Diseño y desarrollo de un robot antropomórfico con 6 grados de libertad orientado a la educación

AUTOR: Michael Tovar Tovar

CÓDIGO: 1720222387



CORHUILA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA
Vigilada Mineducación

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA CORHUILA FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA NEIVA – HUILA 2024





CORHUILA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA
Vigilada Mineducación

INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR SUJETA A INSPECCIÓN
Y VIGILANCIA POR EL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL - SNIES 2828

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN ROBOT ANTROPOMÓRFICO CON 6 GRADOS DE LIBERTAD ORIENTADO A LA EDUCACIÓN

AUTOR: MICHAEL TOVAR TOVAR

CÓDIGO: 1720222387

Trabajo de grado como requisito para optar al título académico de:
INGENIERO MECATRÓNICO

Director:
RUTHBER RODRÍGUEZ SERREZUELA
PhD (c) Msc. Ing.



CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA CORHUILA

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
NEIVA – HUILA
2024





CORHUILA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA
Vigilada Mineducación

INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR SUJETA A INSPECCIÓN
Y VIGILANCIA POR EL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL - SNIES 2828

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi profunda gratitud, en primer lugar, a mi madre, Martha Isabel Tovar, quien estuvo siempre presente, desempeñando un papel indispensable en cada etapa de mi camino académico, brindándome su apoyo incondicional. Aprecio enormemente su fe en mis sueños y su constante respaldo en cada meta que me propuse alcanzar.

En segundo lugar, agradezco a mi querido padre, quien reside en el cielo. Su amor y enseñanzas han dejado una huella imborrable en mi vida, guiándome con sabiduría y apoyo.

Asimismo, quiero expresar mi agradecimiento especial al ingeniero Ruthber Rodríguez Serrezuela por su dedicación constante en la minuciosa revisión de los diversos análisis realizados. Su contribución fue fundamental para enfocar y consolidar los resultados obtenidos. Su nivel de exigencia durante mi trayectoria académica resultó ser un factor determinante que me permitió alcanzar un conocimiento mucho más profundo sobre este tema de lo que inicialmente consideraba indispensable.

Finalmente, mi reconocimiento se extiende a todos los profesores que contribuyeron significativamente al desarrollo de mi conocimiento en las diversas materias. Les agradezco sinceramente por su invaluable aporte educativo, el cual ha sido fundamental para mi formación académica y profesional.





CORHUILA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA
Vigilada Mineducación

INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR SUJETA A INSPECCIÓN
Y VIGILANCIA POR EL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL - SNIES 2828

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	7
ABSTRACT.....	8
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	9
1.1 Descripción del problema.....	10
1.2 Justificación	11
1.3 Objetivos del proyecto	13
1.3.1. Objetivo general	13
1.3.2. Objetivos específicos	13
CAPITULO 2: REVISIÓN DE LITERATURA	14
2.1. Marco teórico	14
2.2. Antecedentes.....	31
CAPITULO 3: METODOLOGÍA	39
3.1. Metodología general y actividades claves	39
3.2. Fase 1: Diseño del robot (OB1)	39
3.3. Fase 2: Construcción del robot (OB2)	59
3.4. Fase 3: Desarrollo de material educativo (OB3)	65
3.5. Fase 4: Implementación de pruebas piloto (OB4)	65
CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	66
4.1. Resultados del diseño y construcción	66
4.2. Análisis del funcionamiento del robot	67
4.3. Evaluación de las pruebas piloto	74
CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	79
5.1. Conclusiones.....	79
5.2. Recomendaciones para trabajos futuros.....	80
REFERENCIAS.....	82
ANEXOS	





LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1 -	Brazo robótico en la industria	14
Imagen 2 -	Brazo Robótico en la Automatización	15
Imagen 3 -	Robot Da Vinci	16
Imagen 4 -	Jacques Denavit	19
Imagen 5 -	Richard S. Hartenberg	19
Imagen 6 -	Método Denavit – Hartenberg para robots	20
Imagen 7 -	Cinemática Inversa Modelo Geométrico y Matemático.....	23
Imagen 8 -	Spline Cúbico Suavizado de Trayectorias.....	24
Imagen 9 -	Torque y Descomposición de Fuerzas	26
Imagen 10 -	Análisis estructural computacional.....	28
Imagen 11 -	Programmable Universal Manipulation Arm	31
Imagen 12 -	Robot Industrial de IRB 6700 ABB	32
Imagen 13 -	FANUC LR Mate 200IC 5L	33
Imagen 14 -	Universal Robots UR5/UR5e.....	34
Imagen 15 -	Robot Baxter	35
Imagen 16 -	Robot Wkata Mirobot – Brazo robótico de 6 GDL.....	36
Imagen 17 -	Brazo robótico educativo – WindowX robot arm.....	37
Imagen 18 -	Robot DObot Magician de 4 GDL	38
Imagen 19 -	Comparación antropomórfica del robot.....	39
Imagen 20 -	Movimientos Articulados en Robots Antropomórficos	40
Imagen 21 -	Esquema de fuerzas ejercidas	41
Imagen 22 -	Análisis Estático en el efector final con 1 kg de carga.....	44
Imagen 23 -	Análisis Estático – Factor de seguridad 0.8.....	45
Imagen 24 -	Análisis Estático – Carga aplicada en muñeca.....	45
Imagen 25 -	Cinemática directa con sus sistemas coordenados aplicados.....	46
Imagen 26 -	Vista frontal del robot indicando los vectores de posición.....	48
Imagen 27 -	Vista superior del robot para análisis cinemático inverso	49



Imagen 28 -	Vista frontal del robot y análisis de las primeras tres articulaciones	49
Imagen 29 -	Circuito implementado para robot MT2.....	55
Imagen 30 -	Prueba de resistencia en materiales PLA, PETG y ABS.....	59
Imagen 31 -	Tiempo y cantidad de material en Ultimaker Cura	63
Imagen 32 -	Uso de material y tiempo en 3D UltimakerCura.....	63
Imagen 33 -	Componentes electrónicos en el Robot MT2	64
Imagen 34 -	Robot MT2 construido con materiales seleccionado	66
Imagen 35 -	Diseño del Efecto Final con Pinza Modular.....	67
Imagen 36 -	Área de trabajo del robot.	68
Imagen 37 -	Software con Cinemática Directa.....	69
Imagen 38 -	Software MT2 con Cinemática Inversa.....	69
Imagen 39 -	Interacción robot MT2 con softwares	70
Imagen 40 -	Comportamiento de la articulación q1	71
Imagen 41 -	Comportamiento de la articulación q1	72
Imagen 42 -	Comportamiento de la articulación q2	73
Imagen 43 -	Comportamiento de la articulación q3	73
Imagen 44 -	Comportamiento de la articulación q4	73
Imagen 45 -	Comportamiento de la articulación q5	73
Imagen 46 -	Comportamiento de la articulación q6	73
Imagen 47 -	Simulación de trayectorias	74
Imagen 48 -	Primera capacitación de manejo de los softwares.....	75
Imagen 49 -	Segunda capacitación de manejo de los softwares	76
Imagen 50 -	Resultados de datos cualitativos	77
Imagen 51 -	Resultados de datos cuantitativos.....	78

LISTA DE TABLAS

TABLA 1.	Parámetros cinemática directa Denavit - Hartenberg.....	47
TABLA 2.	Ingreso de datos de coordenadas de las trayectorias deseadas	75



CORHUILA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA
Vigilada Mineducación

INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR SUJETA A INSPECCIÓN
Y VIGILANCIA POR EL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL - SNIES 2828

RESUMEN

Este trabajo aborda la problemática de la creciente demanda de herramientas pedagógicas avanzadas en el ámbito de la robótica educativa, identificando la escasez de recursos que integren eficazmente la tecnología robótica con objetivos educativos específicos. El marco teórico se basa en los principios de diseño de robots antropomórficos y las teorías pedagógicas contemporáneas.

El objetivo del proyecto es desarrollar un robot versátil capaz de replicar movimientos humanos, con el fin de ampliar significativamente las posibilidades de enseñanza y aprendizaje en entornos educativos. Además, se pretende adaptar dos softwares que facilite la interacción en tiempo real con los estudiantes, permitiendo la aplicación práctica de los conceptos enseñados en las clases.

Los objetivos del proyecto incluyen el diseño y construcción del robot, así como la creación de contenido educativo adaptado. La metodología contempla desde la selección de materiales hasta la programación del robot, dando prioridad a la seguridad y eficacia en entornos educativos.

Se espera alcanzar resultados tangibles, como la entrega de un robot completamente funcional, listo para integrarse en programas académicos. Además, el proyecto generará recursos pedagógicos, como guías de actividades y material didáctico, para optimizar su utilidad en el proceso educativo. La implementación de un software adaptado para la interacción en tiempo real potenciará la experiencia de aprendizaje de los estudiantes, facilitando la aplicación práctica de lo enseñado en las clases.

Palabras clave: robótica educativa, herramientas pedagógicas, robots antropomórficos, enseñanza y aprendizaje, entornos educativos, interacción en tiempo real, programación del robot, seguridad educativa, recursos pedagógicos, software educativo.





CORHUILA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA
Vigilada Mineducación

INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR SUJETA A INSPECCIÓN
Y VIGILANCIA POR EL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL - SNIES 2828

ABSTRACT

This work addresses the issue of the growing demand for advanced pedagogical tools in the field of educational robotics, identifying the scarcity of resources that effectively integrate robotic technology with specific educational objectives. The theoretical framework is based on the principles of designing anthropomorphic robots and contemporary pedagogical theories.

The aim of the project is to develop a versatile robot capable of replicating human movements, to significantly expand the possibilities for teaching and learning in educational environments. Additionally, the project aims to adapt two software programs to facilitate real-time interaction with students, allowing for the practical application of concepts taught in classes.

The objectives of the project include the design and construction of the robot, as well as the creation of adapted educational content. The methodology encompasses everything from the selection of materials to the programming of the robot, prioritizing safety and efficacy in educational settings.

The project aims to achieve tangible results, such as delivering a fully functional robot ready to be integrated into academic programs. Moreover, the project will generate pedagogical resources, such as activity guides and didactic material, to optimize its usefulness in the educational process. The implementation of adapted software for real-time interaction will enhance the students' learning experience, facilitating the practical application of what is taught in classes.

Keywords: educational robotics, pedagogical tools, anthropomorphic robots, teaching and learning, educational environments, real-time interaction, robot programming, educational security, pedagogical resources, educational software.





CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

La convergencia de la tecnología robótica y la pedagogía ha generado un terreno fértil para la creación de herramientas educativas que buscan revolucionar la experiencia de aprendizaje (Eguchi, 2020). En este contexto, este proyecto se sumerge en el ambicioso diseño y desarrollo de un robot educativo excepcionalmente versátil, capaz de replicar movimientos humanos. El objetivo primordial es no solo dotar al robot de funcionalidad técnica, sino también integrarlo como una herramienta pedagógica efectiva en diversos entornos educativos (Atman Uslu et al., 2022).

Los objetivos trazados son ambiciosos, abarcando la concepción, construcción y aplicación de un robot educativo. La visión específica es integrar este robot en programas académicos, ofreciendo a estudiantes y educadores una plataforma interactiva y dinámica para explorar conceptos complejos de manera tangible. Este enfoque no solo facilita la comprensión de conceptos teóricos, sino que también fomenta el aprendizaje práctico, crucial para la retención de conocimientos (Xu & Ouyang, 2022).

La metodología detallada aborda múltiples etapas críticas del proyecto. Comienza con la selección meticulosa de materiales para la construcción del robot, donde la prioridad es garantizar componentes seguros y duraderos, fundamentales para su efectividad en entornos educativos. La programación del robot se considera una fase crucial, no solo buscando funcionalidad sino también adaptabilidad a diferentes niveles educativos (Wang et al., 2023).

En el centro de la metodología, la seguridad ocupa un lugar destacado. Se implementarán medidas y protocolos que aseguren la interacción segura entre el robot y los estudiantes. Además, se llevarán a cabo pruebas piloto en entornos educativos reales para evaluar la eficacia del robot y realizar ajustes según la retroalimentación obtenida (Eguchi, 2020; Sang et al., 2023). Esta retroalimentación directa de la aplicación práctica del robot en el entorno educativo real será esencial para afinar y perfeccionar su funcionamiento (Bellas & Sousa, 2023).

En la etapa de adquisición de conocimientos, se abordan saberes fundamentales en las áreas de STEM. En paralelo, se desarrollará contenido educativo específico para potenciar las capacidades del robot. Este contenido abarcará guías de actividades, material didáctico y recursos interactivos que facilitarán la asimilación de estos conocimientos. La adaptabilidad de este material permitirá cubrir temas desde los primeros semestres de pregrado hasta estudios de postgrado, favoreciendo una enseñanza integral y efectiva (McKenna, 2023; Atman Uslu et al., 2022).



Las aplicaciones del robot educativo resultante son vastas y variadas. Su versatilidad le permite adaptarse para abordar temas específicos en disciplinas STEM, convirtiéndolo en una valiosa herramienta de enseñanza. Su capacidad para replicar movimientos humanos se vuelve particularmente valiosa en lecciones de anatomía y biomecánica, proporcionando a los estudiantes una experiencia de aprendizaje única y participativa (Ouyang & Xu, 2024; Tselegkaridis & Sapounidis, 2022).

1.1 Descripción del problema

En el ámbito de la robótica educativa, existe una necesidad urgente de integrar efectivamente la tecnología robótica con objetivos educativos específicos para preparar a los estudiantes frente a los desafíos tecnológicos del siglo XXI. La brecha entre la teoría y la práctica es un obstáculo significativo en la educación STEM, y la falta de recursos educativos que incorporen la tecnología robótica en el aula exacerba este problema. La implementación de tecnologías avanzadas como los robots antropomórficos puede abordar esta carencia y satisfacer la creciente demanda educativa (Wang et al., 2023; Kyprianou et al., 2023).

Problema Global y Regional

A nivel global, la dependencia tecnológica de la sociedad moderna requiere que la educación evolucione paralelamente, dotando a los estudiantes de las habilidades necesarias para prosperar en entornos tecnológicamente avanzados. En muchos países, los sistemas educativos no están equipados con las herramientas necesarias para cerrar la brecha entre la teoría y la práctica, lo que resulta en una preparación inadecuada de los estudiantes para el mercado laboral. La robótica educativa ofrece una solución excepcional al proporcionar experiencias de aprendizaje tangibles y aplicadas, esenciales para cerrar la mencionada brecha (Jung & Won, 2023).

A nivel regional, en departamentos en desarrollo como el Huila, la falta de materiales y recursos que integren de manera efectiva la tecnología robótica en el aula representa un desafío urgente que debe ser abordado. La carencia de programas educativos que incluyan la robótica como una herramienta de enseñanza limita la capacidad de los estudiantes para adquirir habilidades prácticas y teóricas en disciplinas STEM (Ouyang & Xu, 2024). En el departamento del Huila, existen varias salas STEM que implementan diversos desarrollos tecnológicos; sin embargo, en ninguno de los casos investigados se integra un brazo robótico con una interfaz gráfica exclusiva para el desarrollo STEM, lo que indica una oportunidad significativa para la innovación y el mejoramiento de las capacidades educativas en la región.



Este Robot tiene como propósito no solo llenar este vacío educativo, sino también catalizar una transformación en la educación STEM al proporcionar una plataforma interactiva y dinámica para la exploración de conceptos avanzados. Su capacidad para realizar una amplia gama de movimientos permite a los estudiantes interactuar de manera directa con la tecnología robótica, lo que enriquece el proceso de aprendizaje y mejora significativamente la comprensión y retención de conocimientos. (Atman Uslu et al., 2022).

1.2 Justificación

El diseño y desarrollo de un Robot Antropomórfico con 6 Grados de Libertad surge como una solución innovadora y necesaria en el contexto de la robótica educativa. La intersección entre la tecnología robótica y los objetivos educativos específicos se presenta como una respuesta crucial para preparar a los estudiantes frente a los desafíos tecnológicos del siglo XXI (JellyfishDotcom, 2022). La justificación de este proyecto se fundamenta en varios aspectos clave.

- **Integración efectiva de la tecnología en la educación:** La creciente dependencia tecnológica en la sociedad actual requiere una evolución paralela en el ámbito educativo. La robótica educativa se posiciona como una herramienta excepcional para cerrar la brecha entre la teoría y la práctica, proporcionando a los estudiantes experiencias de aprendizaje tangibles y aplicadas (Papadakis, 2020).
- **Superación de desafíos en la educación STEM:** El proyecto aborda la carencia de recursos educativos que integren de manera efectiva la tecnología robótica en el aula, abriendo oportunidades para superar desafíos en la enseñanza de disciplinas STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) (Benitti, 2019).
- **Aprendizaje práctico y experiencial:** La implementación de un Robot Antropomórfico capaz de replicar movimientos humanos agrega un elemento práctico y experiencial único al proceso de enseñanza. Esto no solo mejora la comprensión de conceptos avanzados, sino que también contribuye significativamente a la retención de conocimientos por parte de los estudiantes (Vollstedt et al., 2020).
- **Preparación para el futuro tecnológico y laboral:** La urgencia de preparar a los estudiantes para los desafíos tecnológicos y laborales del futuro subraya la relevancia del proyecto (Zawieska & Duffy, 2019). La demanda creciente de habilidades STEM destaca la necesidad de herramientas educativas que proporcionen habilidades prácticas aplicables en entornos profesionales.



CORHUILA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA
Vigilada Mineducación

INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR SUJETA A INSPECCIÓN
Y VIGILANCIA POR EL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL - SNIES 2828

- **Metodología fundamentada en seguridad y adaptabilidad:** La metodología propuesta para la construcción del robot prioriza la seguridad y durabilidad, asegurando su idoneidad en entornos educativos (Alvarez et al., 2021). Además, la programación del robot se orienta no solo hacia la funcionalidad técnica, sino también hacia la adaptabilidad a diferentes niveles educativos.
- **Adaptabilidad del contenido educativo:** La creación de guías de actividades y material didáctico busca abordar una amplia variedad de temas en disciplinas STEM, desde la enseñanza de primeros pasos en pregrado hasta estudios de postgrado. Esto asegura la versatilidad del material educativo, adaptándose a diversos niveles y contextos educativos (Bers, 2020).
- **Interacción en tiempo real y experiencia inmersiva:** La necesidad de un software que permita la interacción en tiempo real con los estudiantes refuerza la relevancia del proyecto (Sullivan & Bers, 2019). Esto no solo facilitará la aplicación práctica de los conceptos enseñados, sino que también ofrecerá una experiencia más inmersiva y participativa, mejorando el compromiso de los estudiantes en su proceso de aprendizaje.





1.3 Objetivos del proyecto

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar un Robot Antropomórfico con 6 Grados de Libertad para mejorar la calidad del aprendizaje en entornos educativos, facilitando la interacción y participación de los estudiantes a través de movimientos antropomórficos complejos y adaptativos.

Este objetivo es medible mediante la evaluación del impacto del robot en el aprendizaje de los estudiantes y verificable a través de la implementación y prueba del robot en contextos educativos específicos.

1.3.2. Objetivos específicos

1. **Diseño del robot (OB1):** Diseñar un robot detallado que integre características antropomórficas, para facilitar la interacción y comprensión estudiantil de manera efectiva. A través de una metodología de diseño que satisfaga las restricciones de operación del robot.
2. **Construcción del robot (OB2):** Construir el robot seleccionando materiales apropiados para garantizar su funcionalidad y seguridad en contextos educativos a través de herramientas de prototipado rápido e integración electrónica.
3. **Desarrollo de material educativo (OB3):** Desarrollar material educativo creando guías de actividades y recursos didácticos específicos para optimizar la integración del robot en programas académicos, fomentando su utilización efectiva en el proceso de enseñanza a través de estructurar guías de trabajos basadas en STEM.
4. **Implementación de pruebas piloto (OB4):** Implementar pruebas piloto en entornos educativos reales para evaluar la eficacia del robot y realizar ajustes según la retroalimentación obtenida. A través de la implementación de guías de trabajos previamente diseñadas.

CAPITULO 2: REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

Robótica en el mundo

La robótica ha experimentado una expansión significativa en diversos sectores, transformando la forma en que interactuamos con el mundo y mejorando la eficiencia en diversas aplicaciones. Uno de los marcos fundamentales para describir la cinemática de robots es ampliamente utilizado en una amplia variedad de contextos (Jazar, 2019).

En la industria automotriz, se aplica para modelar la cinemática de numerosos brazos robóticos que desempeñan un papel crucial en líneas de ensamblaje. Desde tareas de soldadura y pintura hasta el manejo de materiales y ensamblaje, estos robots proporcionan una precisión y eficiencia notables en procesos altamente repetitivos (GlobalData, 2023). La adopción de tecnologías avanzadas en robótica ha permitido a las empresas automotrices innovar y mejorar sus operaciones, optimizando la producción y garantizando altos niveles de calidad y consistencia en sus productos (Robotiq, 2023).



Imagen 1 - Brazo robótico en la industria
Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/robot_industrial

La automatización de la producción ha experimentado avances significativos gracias a la aplicación en robots industriales. En entornos de fabricación, estos robots han logrado automatizar procesos, mejorando la eficiencia y la precisión en tareas repetitivas, lo que lleva a un aumento notable en la productividad. La incorporación de tecnologías avanzadas en robótica ha permitido la creación de sistemas más inteligentes y adaptables, que pueden integrarse de manera más eficiente en las líneas de producción y realizar tareas con mayor precisión (Küpper et al., 2019; McKinsey, 2023).

En la actualidad, los robots industriales no solo se limitan a tareas repetitivas, sino que también se benefician de tecnologías como la inteligencia artificial y los sensores avanzados, lo que les permite adaptarse a variaciones en el entorno y mejorar continuamente la calidad de los productos (McKinsey, 2023). Además, el desarrollo de robots colaborativos ha permitido una mayor flexibilidad en las líneas de producción, donde robots y humanos pueden trabajar juntos de manera segura y eficiente (Subačiūtė-Žemaitienė et al., 2022).



Imagen 2 - Brazo Robótico en la Automatización

Recuperado de: <https://www.infopl.net/noticias/item/113273-mecalux-robot-picking-simatic-robot-pick-ai-siemens>

En el campo de la medicina, la cirugía asistida por robots ha revolucionado los procedimientos quirúrgicos. Permite realizar operaciones precisas y mínimamente invasivas, mejorando la precisión y reduciendo el tiempo de recuperación. Desde 2019, ha habido avances significativos en la cirugía asistida por robots, incluyendo el uso de inteligencia artificial, realidad aumentada y tecnologías de retroalimentación háptica, lo que ha mejorado la precisión y la flexibilidad de los procedimientos (Qian et al., 2020; Mohan et al., 2021). Además, estos avances han permitido una disminución de las complicaciones postoperatorias y una recuperación más rápida para los pacientes (Mayo Clinic, 2021).



CORHUILA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA
Vigilada Mineducación

INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR SUJETA A INSPECCIÓN
Y VIGILANCIA POR EL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL - SNIES 2828

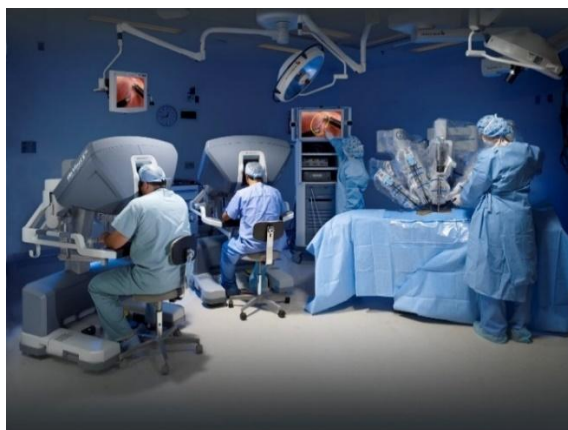


Imagen 3 - Robot Da Vinci

Recuperado de: <https://rgtconsultores.mx/blog/da-vinci-de-los-primeros-robots-a-la-cirugia-robotica>

La robótica en espacios confinados se beneficia significativamente del desarrollo de la cinemática y la planificación de movimientos seguros en entornos estrechos o peligrosos. Desde operaciones en espacios reducidos hasta la exploración de entornos hostiles, estos robots ofrecen soluciones flexibles y seguras. Por ejemplo, los manipuladores continuos y los robots serpiente han demostrado ser eficaces en estos entornos debido a su flexibilidad y capacidad de adaptación (Tang et al., 2019; Xu et al., 2019).

En el ámbito educativo e investigativo, los robots diseñados con fines educativos y de investigación han implementado estos marcos, proporcionando una base sólida para la comprensión de la cinemática robótica y fomentando el avance continuo en el campo de la robótica. Estas implementaciones permiten a los estudiantes y a los investigadores experimentar con algoritmos de control y planificación de movimiento en situaciones del mundo real, mejorando tanto el aprendizaje como la innovación (Garriga-Casanovas et al., 2020; Bieze et al., 2020).

Los brazos robóticos han emergido como herramientas valiosas en el ámbito educativo, desempeñando un papel fundamental en la enseñanza de diversas disciplinas. Estos dispositivos robóticos, a menudo programables y dotados de capacidades interactivas, ofrecen a los estudiantes la oportunidad de explorar conceptos prácticos relacionados con la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas (STEM). Los brazos robóticos, como los de Kinova, están diseñados para ser ágiles, precisos y fácilmente escalables, lo que los convierte en herramientas poderosas para la exploración y el aprendizaje en entornos educativos. Universidades y escuelas de todo el mundo ya los han integrado en sus currículos académicos para formar a la próxima generación de ingenieros e investigadores (Kinova, 2023).



CORHUILA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA
Vigilada Mineducación

INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR SUJETA A INSPECCIÓN
Y VIGILANCIA POR EL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL - SNIES 2828

En entornos educativos, los brazos robóticos se utilizan para enseñar programación y lógica de control a través de la manipulación física y la programación de movimientos. Los estudiantes pueden desarrollar habilidades prácticas al enfrentarse a desafíos de programación, diseñar soluciones y observar directamente cómo sus instrucciones se traducen en acciones físicas. Estos brazos robóticos son ampliamente utilizados en la educación para enseñar conceptos de automatización y programación, permitiendo a los estudiantes aprender y aplicar conocimientos técnicos en un entorno práctico. Además, la implementación de estos robots en la educación STEM fomenta la innovación y el pensamiento crítico, preparando a los estudiantes para las demandas del futuro (Trends and Research Foci of Robotics-Based STEM Education, 2022).

Además de la programación, los brazos robóticos también se incorporan en currículos educativos para ilustrar conceptos matemáticos y físicos. Los estudiantes pueden estudiar geometría, trigonometría y cinemática al interactuar con estos sistemas mecánicos, lo que les permite aplicar conocimientos teóricos de una manera tangible y emocionante. Estos robots permiten a los estudiantes explorar cómo las matemáticas y la física se aplican en el control y movimiento de los robots, facilitando una comprensión más profunda de estos conceptos (García et al., 2021; MathWorks, 2022).

En la educación superior, los brazos robóticos avanzados se utilizan en investigaciones y proyectos más especializados, brindando a los estudiantes la oportunidad de explorar áreas como la robótica colaborativa, la inteligencia artificial y la automatización industrial. Por ejemplo, los brazos robóticos hidráulicos han sido desarrollados como medios de aprendizaje de física basada en STEM, demostrando ser efectivos en la enseñanza de conceptos como la Ley de Pascal y la dinámica de fluidos (Lestari et al., 2022). Estos dispositivos proporcionan una base sólida para la investigación avanzada y el desarrollo de nuevas tecnologías en robótica (Nguyen-Tuong & Peters, 2021).

Cinemática de los robots

La cinemática en robótica es una rama esencial que se ocupa del estudio del movimiento y la posición de los robots. Es fundamental porque proporciona las herramientas necesarias para comprender y controlar el movimiento de los robots, lo que es crucial para su correcto funcionamiento y aplicación en diversos campos. Aquí hay algunas razones clave que destacan la importancia de la cinemática en la robótica:

La cinemática, como disciplina fundamental en la robótica, desempeña roles clave en diversos aspectos del control y funcionamiento de los robots. Permite diseñar algoritmos y controladores para dirigir los movimientos precisos necesarios en aplicaciones de fabricación. Asimismo, es esencial para la programación de trayectorias, facilitando la ejecución de movimientos coordinados en la robótica industrial. La evitación de obstáculos se beneficia de la cinemática mediante el desarrollo de algoritmos que permiten a los robots detectar y sortear obstáculos, mejorando la seguridad en entornos dinámicos (Jazar, 2022).





En el diseño, la cinemática contribuye a crear mecanismos robóticos eficientes y óptimos, considerando la selección de actuadores y la disposición geométrica de las articulaciones. Además, los modelos cinemáticos son esenciales en simulaciones para prever y validar el comportamiento de un robot antes de su implementación física, ahorrando tiempo y recursos al permitir ajustes previos (Koubâa et al., 2019). En situaciones de teleoperación y control a distancia, como en exploración espacial o intervenciones en entornos peligrosos, la comprensión de la cinemática resulta crucial para lograr un control preciso y seguro (RoboDK, 2023).

Importancia fundamental del movimiento y posicionamiento en el funcionamiento de robot

El movimiento y la posición son aspectos fundamentales para el funcionamiento eficiente de un robot en diversas aplicaciones. Estos elementos son esenciales para lograr tareas específicas, como el ensamblaje, soldadura y manipulación de objetos. La precisión en el posicionamiento es crucial, especialmente en la industria manufacturera, donde garantiza la funcionalidad del producto final (Huang et al., 2023). La eficiencia en la producción está vinculada a la capacidad del robot para moverse rápidamente y con precisión, siendo determinante para la productividad. En entornos complejos, la habilidad de un robot para determinar su posición y planificar rutas eficientes es vital, aplicándose tanto a robots industriales como a vehículos autónomos. El control preciso del movimiento y la posición es esencial para la seguridad, permitiendo al robot detenerse o ajustar su trayectoria en situaciones potencialmente peligrosas (Bucinskas et al., 2022).

En situaciones de teleoperación, como aplicaciones médicas o espaciales, la capacidad de controlar con precisión es crucial (Orlosky et al., 2018). Además, la adaptabilidad a diferentes tareas se logra mediante la modificación del movimiento y la posición, permitiendo que el robot sea versátil (Go Roboted, 2023).

Historia del método de Denavit-Hartenberg

En la génesis de la cinemática de robots, emerge la figura destacada de Jacques Denavit y Richard S. Hartenberg, visionarios pioneros cuya colaboración dio origen al método que lleva sus nombres. Esta sección ofrece una mirada detallada a la conjunción de sus talentos y a la chispa conceptual que condujo al desarrollo del Método de Denavit-Hartenberg.



CORHUILA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA
Vigilada Mineducación

INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR SUJETA A INSPECCIÓN
Y VIGILANCIA POR EL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL - SNIES 2828

Presentación de los creadores

Jacques Denavit y Richard S. Hartenberg, ingenieros distinguidos, unieron fuerzas para crear una metodología revolucionaria que transformaría la manera en que se aborda la cinemática en robótica. Este segmento presenta sus perfiles, resaltando sus contribuciones individuales antes de su colaboración y destacando cómo sus habilidades complementarias fueron cruciales para el nacimiento de este método innovador.



Imagen 4 - Jacques Denavit

Recuperado de: https://www.dmg-lib.org/dmglib/main/portal.jsp?mainnavistate=browsen.biogr.viewer&id=421004&context_setlangcode=es



Imagen 5 - Richard S. Hartenberg

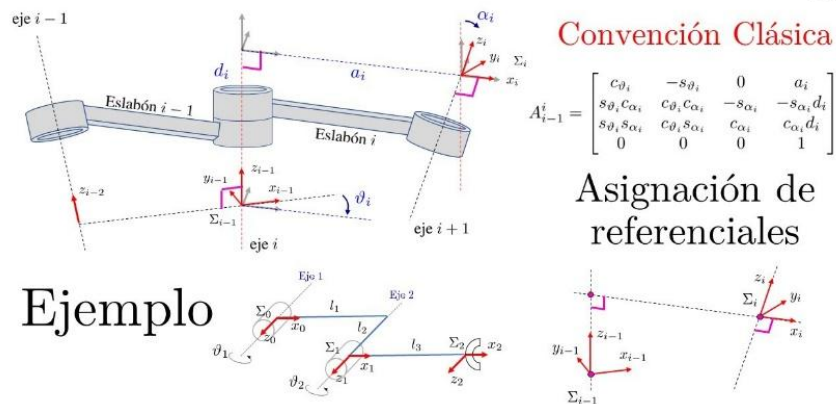
Recuperado de: https://www.dmg-lib.org/dmglib/main/portal.jsp?mainnavistate=browsen.biogr.viewer&id=420004&context_setlangcode=es



Principios básicos del método Denavit-Hartenberg

El método Denavit-Hartenberg (DH) es un enfoque ampliamente utilizado para describir la cinemática de robots manipuladores. Se basa en una serie de parámetros que definen la geometría de los eslabones y las articulaciones de un robot. A continuación, se proporciona una explicación detallada de los parámetros DH y cómo estos contribuyen a describir la cinemática de un robot (Brau-Avila et al., 2019; Faria et al., 2019).

Método Denavit-Hartenberg



Ejemplo

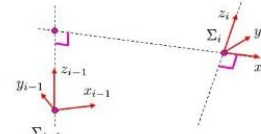
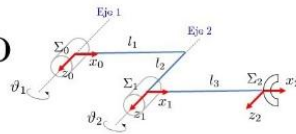


Imagen 6 - Método Denavit – Hartenberg para robots

Recuperado de:

https://www.youtube.com/watch?v=xt7B1hVOWic&ab_channel=SistemasDin%C3%A1micosyControl

Asignación de Ejes Coordinados:

- A cada eslabón del robot se le asigna un sistema de coordenadas (Σ_i), donde el eje z_i se alinea con el eje de rotación de la articulación i .
- El eje x_i se coloca de manera que sea perpendicular tanto al eje z_{i-1} como al eje z_i . Este eje puede no ser necesariamente el mismo en cada eslabón, dependiendo de la configuración de las articulaciones.

Transformaciones:

- El método D-H utiliza matrices de transformación homogénea para representar las transformaciones de un sistema de coordenadas a otro. Estas matrices combinan rotaciones y traslaciones, facilitando el cálculo de la posición y orientación del extremo del robot.



Parámetros D-H:

- **Parámetro α_i :** Definido como la distancia entre los ejes z_{i-1} y z_i medida a lo largo del eje x_i
- **Parámetro α_i :** Es el ángulo entre los ejes z_{i-1} y z_i , medido en el sentido de las agujas del reloj alrededor del eje x_i .
- **Parámetro d_i :** Es la distancia desde el origen del sistema de coordenadas del eslabón $i - 1$ hasta el sistema de coordenadas del eslabón i a lo largo del eje z_i .
- **Parámetro θ_i :** Es el ángulo de rotación necesario para alinear el eje x_{i-1} con el eje x_i alrededor del eje z_i .

Matriz de Transformación D-H:

- La matriz de transformación D-H A_{i-1}^i se expresa como:

$$A_{i-1}^i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i\cos\alpha_i & \sin\theta_i\sin\alpha_i & \alpha_i\cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i\cos\alpha_i & -\cos\theta_i\sin\alpha_i & \alpha_i\sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Esta matriz incluye rotaciones y traslaciones que definen la posición y orientación de un eslabón en relación con el anterior.

Aplicación:

- El método D-H es ampliamente utilizado en robótica para modelar y controlar robots manipuladores, permitiendo la determinación de la posición y orientación del efector final (o extremo del robot) en función de los valores de los parámetros de entrada (ángulos de articulación y distancias).



CORHUILA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA
Vigilada Mineducación

INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR SUJETA A INSPECCIÓN
Y VIGILANCIA POR EL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL - SNIES 2828

Cinemática Inversa

La cinemática inversa es un proceso clave en la robótica y en animación por computadora. A diferencia de la cinemática directa, que se refiere al cálculo de la posición final de un extremo de un robot dado un conjunto de ángulos de las articulaciones, la cinemática inversa se enfoca en determinar los ángulos de las articulaciones necesarias para alcanzar una posición deseada de un extremo (generalmente, la "mano" o "herramienta" de un robot).

Conceptos Básicos

Espacio de la Configuración (Espacio de las Articulaciones):

- Es el espacio de todas las posibles configuraciones de un robot en términos de los ángulos de sus articulaciones.
- Por ejemplo, en un brazo robótico con 3 articulaciones (hombro, codo, muñeca), el espacio de configuración podría representarse como un espacio 3D donde cada eje representa el ángulo de una articulación.

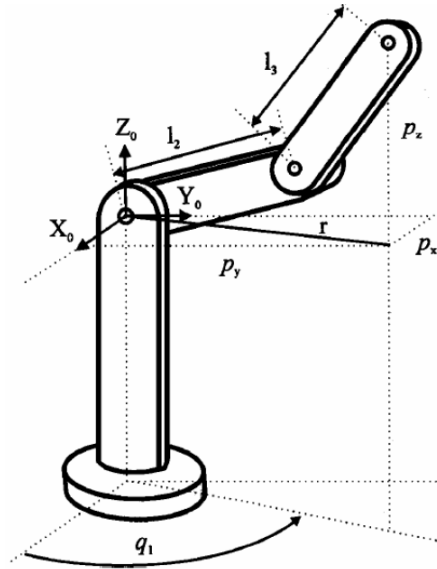
Espacio de Trabajo:

- Es el conjunto de todas las posiciones posibles que puede alcanzar el extremo del robot (por ejemplo, la mano de un robot).
- Depende de la geometría y los límites físicos del robot.

Proceso de Cinemática Inversa

Definir la Posición Objetivo:

- Se establece una posición deseada para el extremo del robot en el espacio de trabajo.
- Esta posición se define en términos de coordenadas, por ejemplo (x,y,z) en un espacio tridimensional.



$$q_1 = \arctan\left(\frac{p_y}{p_x}\right)$$

$$r^2 = p_x^2 + p_y^2$$

$$r^2 + p_z^2 = l_2^2 + l_3^2 + 2l_2l_3 \cos q_3$$

$$\cos q_3 = \frac{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2 - l_2^2 - l_3^2}{2l_2l_3}$$

$$\sin q_3 = \pm \sqrt{1 - \cos^2 q_3}$$

$$q_3 = \arctan\left(\frac{\pm \sqrt{1 - \cos^2 q_3}}{\cos q_3}\right)$$

Imagen 7 - Cinemática Inversa Modelo Geométrico y Matemático

- Se plantean las ecuaciones que relacionan los ángulos de las articulaciones con la posición del extremo del robot.
- La resolución de estas ecuaciones generalmente involucra técnicas de álgebra lineal y puede ser compleja, ya que las ecuaciones suelen ser no lineales.
- El objetivo es encontrar los ángulos que permiten que el extremo del robot llegue a la posición deseada.

Múltiples Soluciones:

- Es posible que haya múltiples soluciones (o ninguna) para un mismo objetivo, ya que diferentes configuraciones de las articulaciones pueden llevar a la misma posición del extremo.
- En estos casos, se pueden aplicar criterios adicionales, como minimizar el movimiento o evitar posiciones incómodas o colisiones.
- Encontrar las tres primeras articulaciones y las siguientes con desacople cinemático.

Spline Cúbico

El splines cúbicos son una técnica matemática utilizada para interpolar un conjunto de puntos mediante una función suave. En lugar de utilizar una sola función polinómica para todo el rango de datos, los splines cúbicos dividen el intervalo en subintervalos, aplicando un polinomio cúbico distinto a cada subintervalo. Estos polinomios se unen de tal manera que la curva resultante es continua y suave en sus derivadas hasta el segundo orden.

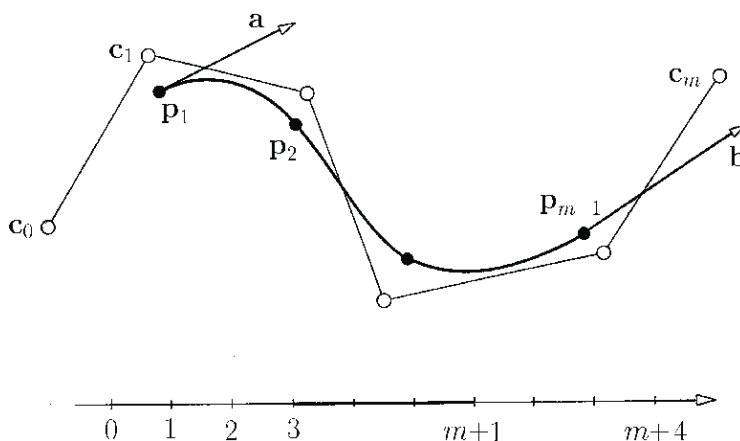


Imagen 8 - Spline Cúbico Suavizado de Trayectorias

Conceptos Básicos

Interpolación:

- Se utiliza para estimar valores dentro del rango de un conjunto discreto de datos conocido.
- En lugar de utilizar una interpolación lineal que crea una serie de líneas rectas entre puntos, el spline cúbico genera una curva suave que pasa a través de todos los puntos de datos.

Spline Cúbico:

- Es una función formada por piezas de polinomios cúbicos, uno por cada intervalo entre los puntos de datos.



- Cada polinomio cúbico está definido de tal manera que la función resultante es continua en sus primeros y segundas derivadas, lo que significa que no hay "saltos" o "quiebres" en la curva.

Condiciones de Continuidad:

- Para garantizar que la curva es suave, los splines cúbicos cumplen con ciertas condiciones:
- La función spline debe coincidir con los valores de los puntos de datos.
- Las primeras y segundas derivadas de los polinomios en los puntos de unión (conocidos como nudos) deben coincidir.

Proceso de creación de un Spline Cúbico

Definir los Puntos de Datos:

- Se establece un conjunto de puntos (x_i, y_i) que la curva debe pasar.

Formular las Ecuaciones:

- Para cada subintervalo $[x_i, x_{i+1}]$, se define un polinomio cúbico $S_i(x) = a_i + b_i(x - x_i) + c_i(x - x_i)^2 + d_i(x - x_i)^3$.
- Estas ecuaciones se resuelven para encontrar los coeficientes a_i, b_i, c_i y d_i , que garantizan la suavidad de la curva.

Resolver el Sistema de Ecuaciones:

- Las condiciones de continuidad y la coincidencia de valores generan un sistema de ecuaciones lineales que puede resolverse para encontrar los coeficientes.

Análisis de torques

Es un aspecto fundamental en la ingeniería mecánica y la robótica, particularmente en el diseño y control de mecanismos y sistemas articulados, como los brazos robóticos. Este análisis permite entender cómo las fuerzas aplicadas en un sistema generan rotaciones y cómo se equilibran para mantener la estabilidad del sistema.

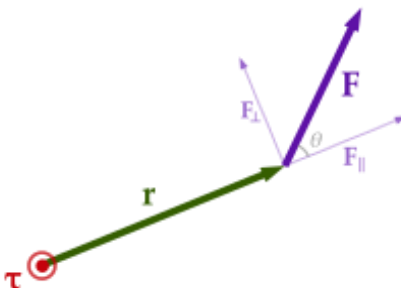


Imagen 9 - Torque y Descomposición de Fuerzas

Conceptos Fundamentales

Torque (o Momento de Fuerza):

- El torque es una medida de la tendencia de una fuerza a hacer que un objeto gire alrededor de un punto o eje.
- Se define como:

$$\tau = r \times F \times \sin(\theta)$$

Donde:

- τ es el torque.
- r es la distancia desde el eje de rotación hasta el punto donde se aplica la fuerza.
- F es la magnitud de la fuerza aplicada.
- θ es el ángulo entre el vector de la fuerza y el brazo de palanca.



CORHUILA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA
Vigilada Mineducación

INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR SUJETA A INSPECCIÓN
Y VIGILANCIA POR EL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL - SNIES 2828

Equilibrio de Torques:

- Para que un sistema esté en equilibrio estático, la suma de todos los torques que actúan sobre él debe ser igual a cero.
- Matemáticamente:

$$\sum \tau = 0$$

- Esto significa que los torques que tienden a hacer girar el objeto en un sentido deben ser contrarrestados por torques que tienden a girarlo en el sentido opuesto.

Aplicación en Sistemas Articulados

Determinar las Fuerzas en las Articulaciones:

- Cada articulación del brazo debe soportar no solo el peso de las secciones que están más allá de ella, sino también cualquier carga adicional aplicada en el extremo del brazo (como una herramienta o un objeto que se esté manipulando).

Calcular el Torque en Cada Articulación:

- Se realiza sumando todos los torques generados por los pesos de las diferentes secciones del brazo y las cargas externas.
- En el caso de la imagen, se observan varias fuerzas, W_1 , W_2 , W_3 y F , que generan torques alrededor de las diferentes articulaciones (puntos A, B, y C).

Diseñar el Sistema de Actuación:

- Los actuadores (motores, cilindros hidráulicos, etc.) en cada articulación deben ser capaces de generar suficiente torque para contrarrestar las fuerzas y mantener el brazo en la posición deseada.
- Además, deben manejar la inercia cuando el brazo está en movimiento, lo que requiere considerar también las aceleraciones.

Análisis estructural mediante elementos finitos (FEA)

Es una técnica computacional poderosa utilizada en la ingeniería para simular cómo los productos y estructuras reaccionan a fuerzas físicas, vibraciones, calor, flujo de fluidos y otros efectos físicos. Este método es ampliamente aplicado en el diseño, desarrollo y optimización de productos en diversas industrias, incluyendo la automotriz, aeroespacial, civil, y robótica.

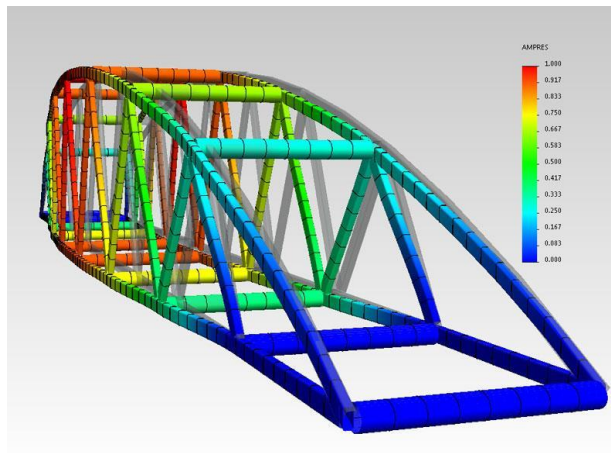


Imagen 10 - Análisis estructural computacional

Conceptos fundamentales

Elementos Finitos:

- En FEA, un objeto complejo se divide en una gran cantidad de pequeños elementos más simples y manejables (los "elementos finitos"). Estos elementos pueden ser tetraedros, hexaedros, triángulos, entre otros, dependiendo de la geometría del objeto.
- Cada elemento tiene nodos, que son puntos en los que las propiedades físicas como desplazamientos, tensiones, y fuerzas se calculan.



CORHUILA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA
Vigilada Mineducación

INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR SUJETA A INSPECCIÓN
Y VIGILANCIA POR EL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL - SNIES 2828

Discretización:

- El proceso de dividir el objeto en elementos finitos se llama discretización. Esta red de elementos se llama "malla".
- Cuanto más fina sea la malla (es decir, cuanto más elemento tenga), más preciso será el análisis, pero también requerirá más potencia computacional.

Aplicación de Condiciones de Borde:

- Para simular las condiciones reales, se aplican condiciones de borde y cargas a la malla. Estas pueden incluir fuerzas externas, momentos, presiones, restricciones de movimiento, etc.

Formulación Matemática:

- Las ecuaciones de equilibrio que gobiernan el comportamiento del sistema se derivan para cada elemento finito. Estas ecuaciones son generalmente de la forma:

$$[K]\{u\} = \{F\}$$

Donde:

- $[K]$ es la matriz de rigidez del sistema, que depende de las propiedades materiales y la geometría del sistema.
- $\{u\}$ es el vector de desplazamientos en los nodos.
- $\{F\}$ es el vector de fuerzas aplicadas.

Solución del Sistema:

- El sistema de ecuaciones lineales resultante se resuelve para encontrar los desplazamientos en los nodos de la malla. A partir de estos desplazamientos, se pueden calcular tensiones y deformaciones en los elementos.



CORHUILA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA
Vigilada Mineducación

INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR SUJETA A INSPECCIÓN
Y VIGILANCIA POR EL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL - SNIES 2828

Post-Procesamiento:

- Los resultados del análisis, como distribuciones de tensiones, deformaciones, y desplazamientos, se visualizan y analizan. Estos resultados suelen presentarse en forma de gráficos de colores (como los mostrados en la imagen que compartiste), que indican zonas de alta y baja tensión o deformación.

Aplicaciones en Ingeniería

Diseño de Productos:

- FEA se utiliza para optimizar el diseño de productos, asegurando que cumplan con los requisitos de resistencia y durabilidad sin ser innecesariamente pesados o costosos de fabricar.

Simulación de Condiciones Extremas:

- En sectores como la aeroespacial y la automotriz, FEA es esencial para simular cómo los productos se comportarán bajo condiciones extremas, como impactos, vibraciones intensas, o altas temperaturas.

Validación de Prototipos:

- Antes de construir prototipos físicos, FEA permite validar los diseños virtualmente, reduciendo el tiempo y los costos de desarrollo.

Ingeniería Civil:

- En la construcción de puentes, edificios y otras infraestructuras, el análisis estructural mediante elementos finitos ayuda a garantizar la seguridad y estabilidad de las estructuras bajo diferentes cargas, como el viento, los terremotos y el peso propio.



2.2. Antecedentes

Brazo robótico PUMA:

El brazo robótico PUMA es uno de los ejemplos más icónicos en la historia de la robótica industrial. Diseñado originalmente en la década de 1970 por Victor Scheinman en Unimation, PUMA ha sido utilizado en una amplia gama de aplicaciones industriales y de investigación. Su diseño se basa en la implementación del método cinemático, lo que le permite ejecutar tareas de ensamblaje con alta precisión. Este robot ha sido fundamental en la automatización de procesos industriales, y su arquitectura ha servido como base para el desarrollo de otros robots industriales.

A lo largo de los años, PUMA se ha destacado por su fiabilidad y versatilidad en diversas tareas, desde operaciones de ensamblaje hasta tareas de laboratorio. A pesar de ser un diseño antiguo, su impacto en la industria ha sido duradero, y sigue siendo un punto de referencia en el estudio de la cinemática y el control de robots. Su estructura rígida y su capacidad de manipulación precisa lo han convertido en un modelo de estudio en programas educativos y en un pionero en la automatización robótica.



Imagen 11 - Programmable Universal Manipulation Arm

Recuperado de: <https://www.logicbus.com.mx/blog/puma-el-pionero-en-robots-de-ensamblaje/>



Brazo robótico ABB IRB 6700:

El ABB IRB 6700 es parte de la serie de robots industriales desarrollados por ABB, reconocidos por su robustez y capacidad para realizar tareas complejas en entornos industriales exigentes. Este robot se utiliza comúnmente en aplicaciones como la soldadura, el manejo de materiales y el ensamblaje. Con su alta capacidad de carga y su precisión, el IRB 6700 es capaz de realizar movimientos controlados y exactos, lo que es esencial para la eficiencia en la manufactura.

Una de las características distintivas del ABB IRB 6700 es su uso del método Denavit-Hartenberg (DH) para la planificación de movimientos, lo que facilita la programación y el control del robot en tareas que requieren un alto grado de precisión. Su diseño modular y la facilidad de mantenimiento aseguran que este robot pueda adaptarse a diferentes necesidades industriales, manteniendo la productividad y minimizando los tiempos de inactividad.



Imagen 12 - Robot Industrial de IRB 6700 ABB

Recuperado de: <https://www.machinio.es/anuncios/87921604-abb-irb-6700-en-shanghai-china>



Brazo robótico Fanuc LR Mate:

El Fanuc LR Mate es un robot industrial compacto que ha sido diseñado específicamente para tareas de ensamblaje y manipulación en la industria manufacturera. Este robot de 6 grados de libertad utiliza el método DH (Denavit-Hartenberg) para describir su cinemática y controlar sus movimientos, lo que le permite realizar tareas complejas con alta precisión. Su tamaño compacto y su capacidad de carga lo hacen ideal para aplicaciones en espacios reducidos, donde la eficiencia y la precisión son cruciales.

El LR Mate es ampliamente utilizado en la industria automotriz, electrónica, y en la producción de bienes de consumo. Su versatilidad y facilidad de integración con otros sistemas industriales lo convierten en una opción popular para la automatización de procesos. Además, la marca Fanuc es reconocida por la durabilidad y fiabilidad de sus robots, lo que garantiza un rendimiento consistente y una larga vida útil en entornos de trabajo exigentes.



Imagen 13 - FANUC LR Mate 200iC 5L

Recuperado de: <https://www.interempresas.net/robotica/feriavirtual/producto-robots-con-una-capacidad-de-carga-de-7-kg-lr-mate-200id-106702.html>

Brazo robótico UR5 de Universal Robots:

El UR5 de Universal Robots es un ejemplo destacado de robot colaborativo (cobot), diseñado para trabajar junto a los humanos en un entorno de producción. Este robot de 6 grados de libertad utiliza el método DH para la planificación y ejecución de movimientos, permitiendo una interacción segura y eficiente en tareas como ensamblaje, manipulación de materiales, y control de calidad. Su diseño ligero y su capacidad de ser programado fácilmente hacen que el UR5 sea accesible tanto para pequeñas como para grandes empresas.

Una de las principales ventajas del UR5 es su flexibilidad y capacidad de ser reprogramado para diferentes tareas, lo que lo hace ideal para entornos de producción donde los cambios frecuentes en la línea de montaje son comunes. Su interfaz de usuario intuitiva y la capacidad de enseñar al robot movimientos directamente arrastrándolo a través de las trayectorias deseadas lo convierten en una herramienta valiosa para la automatización flexible. Además, su diseño colaborativo garantiza que el robot pueda operar de manera segura junto a los trabajadores humanos, mejorando la eficiencia sin comprometer la seguridad.



Imagen 14 - Universal Robots UR5/UR5e

Recuperado de: https://www.aer-automation.com/automation_review/ur-festo-pinzas/

Brazo robótico Baxter de Rethink Robotics:

El brazo robótico Baxter, desarrollado por Rethink Robotics, es un robot colaborativo diseñado para trabajar junto a los humanos en un entorno industrial. A diferencia de los robots tradicionales que requieren jaulas de seguridad, Baxter está equipado con sensores y una interfaz de usuario intuitiva que permite a los trabajadores programarlo fácilmente mediante la enseñanza directa. Esto significa que los usuarios pueden guiar manualmente los brazos de Baxter para enseñarle tareas específicas, lo que simplifica el proceso de programación y reduce el tiempo de implementación en la línea de producción.

Baxter es conocido por su versatilidad en aplicaciones de ensamblaje, manipulación y otras tareas repetitivas. Utiliza el método Denavit-Hartenberg (DH) para describir su cinemática y realizar movimientos precisos. Con su diseño de dos brazos y una pantalla "rostro" interactiva, Baxter no solo es eficiente en la realización de tareas, sino que también es capaz de comunicar visualmente su estado y acciones, lo que mejora la colaboración y la seguridad en el lugar de trabajo. Su capacidad para adaptarse rápidamente a diferentes tareas lo convierte en una solución ideal para pequeñas y medianas empresas que buscan automatizar sus procesos sin la necesidad de expertos en robótica.



Imagen 15 - Robot Baxter

Recuperado de: <https://www.elempaque.com/es/noticias/el-robot-baxter-un-nuevo-companero-en-la-linea>

Robot Wlkata Mirobot

El Wlkata Mirobot es un brazo robótico compacto diseñado para la educación y la investigación, especialmente en el campo de la robótica y la automatización. Con sus 6 grados de libertad (GDL), este robot es capaz de realizar movimientos complejos, lo que lo hace ideal para la enseñanza de cinemática, dinámica y control robótico. Además, su diseño permite simular aplicaciones industriales en un entorno seguro y controlado, lo que lo convierte en una herramienta valiosa tanto en universidades como en laboratorios de investigación.

Una de las características destacadas del Wlkata Mirobot es su facilidad de uso, ya que se puede programar a través de diversas plataformas, incluyendo software de simulación y control gráfico. Su interfaz amigable permite a estudiantes y principiantes en robótica interactuar con el robot de manera intuitiva, facilitando el aprendizaje de conceptos avanzados sin necesidad de conocimientos previos en programación. Además, su diseño robusto y su precisión en los movimientos lo hacen apto para proyectos de investigación que requieren alta repetibilidad y exactitud.



Imagen 16 - Robot Wlkata Mirobot – Brazo robótico de 6 GDL

Recuperado de: <https://www.wlkata.com/es/collections/hot-sale-product-serise>

Brazo robótico WidowX Robot Arm

El WidowX Robot Arm es un brazo robótico educativo de alta precisión diseñado por Trossen Robotics, orientado a la enseñanza de la robótica y a aplicaciones de investigación. Con sus servomotores de alto torque, este brazo robótico ofrece 6 grados de libertad, lo que le permite realizar una amplia gama de movimientos y tareas complejas. Está construido con materiales duraderos, lo que garantiza su resistencia en entornos educativos donde puede estar sujeto a uso intensivo.

Este robot es altamente personalizable y compatible con diversos controladores y sistemas operativos, lo que permite a los usuarios adaptar el brazo a sus necesidades específicas. Su versatilidad lo convierte en una herramienta ideal para enseñar conceptos como control de trayectoria, retroalimentación de posición y fuerza, y aplicaciones en automatización. Además, su diseño modular facilita el mantenimiento y la actualización, asegurando que pueda seguir siendo una herramienta útil a medida que evolucionan las necesidades educativas y tecnológicas.



Imagen 17 - Brazo robótico educativo – WindowX robot arm

Recuperado de: <https://www.generationrobots.com/en/401793-widowx-robot-arm-with-servomotors.html>

Robot Dobot Magician

El Dobot Magician es un brazo robótico multifuncional diseñado principalmente para la educación y la formación profesional en robótica y automatización. A diferencia de los otros robots mencionados, el Dobot Magician cuenta con 4 grados de libertad, lo que lo hace más sencillo en términos de movimientos, pero igualmente eficaz para la enseñanza de conceptos fundamentales en robótica. Este robot es popular en aulas y talleres debido a su diseño compacto y su capacidad para realizar tareas como impresión 3D, grabado láser, y manipulación de pequeños objetos.

Una de las grandes ventajas del Dobot Magician es su capacidad para integrarse con una variedad de módulos y accesorios, lo que amplía sus aplicaciones y lo hace adecuado para una amplia gama de proyectos educativos. Además, su software intuitivo y fácil de usar permite a los estudiantes programar y controlar el robot sin necesidad de conocimientos avanzados de programación. Esto lo convierte en una herramienta ideal para introducir a los estudiantes en el mundo de la robótica y la automatización de una manera accesible y práctica.



Imagen 18 - Robot DObot Magician de 4 GDL

Recuperado de: <https://progressiveinc.ca/dobot.html>

CAPITULO 3: METODOLOGÍA

3.1. Metodología general y actividades claves

En este proyecto, se desarrollará un robot antropomórfico con 6 grados de libertad para mejorar la calidad del aprendizaje en entornos educativos. La metodología empleada incluye diseño, construcción, desarrollo de material educativo e implementación de pruebas piloto, todas alineadas con los objetivos específicos del proyecto. El enfoque metodológico es iterativo, permitiendo ajustes y mejoras basados en la retroalimentación. En el diseño, se definirán las especificaciones técnicas y características antropomórficas del robot. La construcción se enfocará en seleccionar materiales seguros y funcionales. Luego, se desarrollará material educativo para facilitar la integración del robot en programas de enseñanza. Finalmente, se implementarán pruebas piloto en una institución educativa, evaluando el impacto en el aprendizaje y realizando ajustes necesarios. Este enfoque garantiza que el robot no solo cumpla con los estándares técnicos, sino que también sea una herramienta educativa efectiva, promoviendo una experiencia de aprendizaje enriquecedora para los estudiantes.

3.2. Fase 1: Diseño del robot (OB1)

En esta fase inicial, el diseño de un robot con características antropomórficas, orientado a facilitar la interacción y comprensión estudiantil, se enfoca en la emulación de los movimientos humanos.



Imagen 19 - Comparación antropomórfica del robot

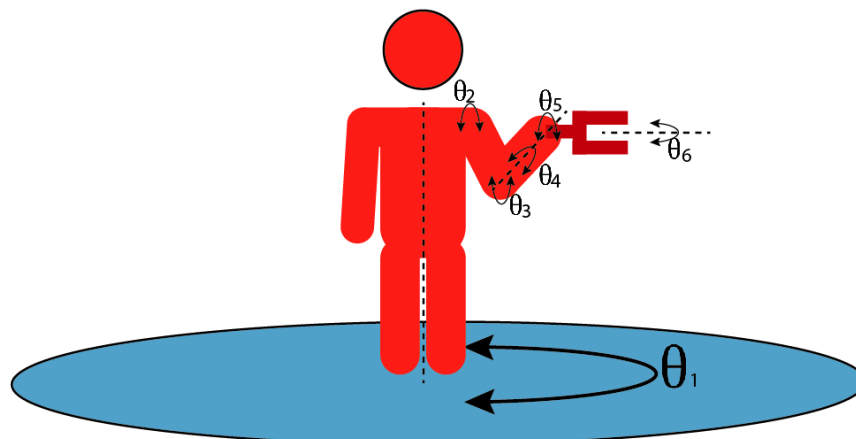


Imagen 20 - Movimientos Articulados en Robots Antropomórficos

La imagen 20, ilustra cómo el robot imita la articulación del brazo humano, representada por los ángulos θ_1 hasta θ_6 , que corresponden a los grados de libertad del robot. Estos ángulos permiten al robot realizar movimientos complejos similares a los de un ser humano, incluyendo la rotación del cuerpo, el movimiento del brazo en varias direcciones, y la manipulación precisa de objetos. Este diseño no solo busca mejorar la interacción física con el entorno, sino también facilitar la enseñanza de conceptos robóticos y biomecánicos a los estudiantes, al ofrecer un modelo tangible y comprensible de cómo se transfieren los principios de la anatomía humana a la robótica.

Seguido de un análisis de torque. Este análisis es crucial para determinar la capacidad del robot para levantar cargas, especialmente en su posición crítica, garantizando así un rendimiento seguro y eficiente.

Cálculo de torques

El concepto de torque se relaciona con el movimiento de rotación que experimenta un cuerpo rígido cuando se ve sometido a fuerzas externas. En la imagen 20 se pueden identificar los puntos en los que actúan los torques, mientras se ilustran las distancias entre cada uno de estos puntos. El análisis se realizará en un contexto estático para obtener valores aproximados de los torques, lo que ayudará en la selección de los actuadores para el manipulador.

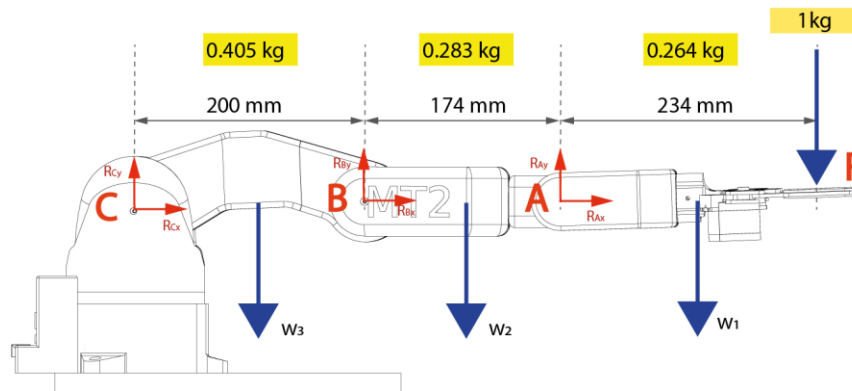


Imagen 21 - Esquema de fuerzas ejercidas

De acuerdo con lo anterior, al calcular el torque en el punto A de la imagen 20, se obtiene el valor del primer torque:

$$\sum \tau = Fd$$

$$\sum \tau_A = -Fd_{AF} - W_1 \frac{d_{AF}}{2}$$

$$\sum \tau_A = -m_{carga}gd_{AF} - W_1 \frac{d_{AF}}{2}$$

$$\sum \tau_A = -m_{carga}gd_{AF} - m_{efectorfinal} \frac{d_{AF}}{2} g$$

$$\sum \tau_A = -(1 \text{ kg})(9.81 \text{ m/s}^2)(0.234 \text{ m}) - (0.264 \text{ kg}) \frac{(0.234 \text{ m})}{2} (9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$\sum \tau_A = -(2.295 \text{ Nm}) - (0.3030 \text{ Nm})$$

$$\sum \tau_A = -2.598 \text{ Nm}$$

Reemplazando los parámetros de la figura anterior por los valores específicos del problema, se determina que el momento torque (τ_A) debe ser de 2.598 Nm. Ahora, para calcular la carga en kilogramos que puede levantar el servo motor, podemos utilizar la fórmula, si asumimos un radio de 0.234 m para el servo motor, el cálculo sería:



$$Carga(kg) = \frac{2.598 Nm}{9.81 \frac{m}{s^2} * 0.234m} = 1.133 kg$$

Por lo tanto, el servo motor puede levantar en esa articulación aproximadamente 1.133 kilogramos en estas condiciones.

$$\sum F_x = R_{Ax} = 0$$

$$\sum F_y = R_{Ay} - W_1 - F = 0$$

$$R_{Ay} = W_1 - F$$

$$R_{Ay} = m_{efectorfinal}g - m_{carga}g$$

$$R_{Ay} = (0.264 * 9.81) - (1 * 9.81)$$

$$R_{Ay} = -7.220 Nm$$

$$\sum F_x = R_{Ax} + R_{Bx} = 0$$

$$\sum F_y = R_{Ay} + R_{By} - W_1 - W_2 - F = 0$$

$$R_{By} = W_1 + W_2 + F - R_{Ay}$$

$$R_{By} = W_2 + 2F$$

$$R_{By} = \left(0.283 kg * 9.81 \frac{m}{s^2}\right) + (2 * (2 kg * 9.81 m/s^2))$$

$$R_{By} = 22.396 Nm$$

$$\sum \tau_B = R_{Ay}d_{BA} - W_2 \frac{d_{BA}}{2} - F(d_{AF} + d_{BA}) - W_1 \left(\frac{d_{AF}}{2} + d_{BA}\right)$$



$$\begin{aligned}\sum \tau_B = & (-7.220 \text{ Nm} * 0.174 \text{ m}) - \left(\left(0.283 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \left(\frac{0.174 \text{ m}}{2} \right) \right) \\ & - \left(\left(1 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) * (0.234 \text{ m} - 0.174 \text{ m}) \right) - \left(\left(1 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \right. \\ & \left. * \left(\frac{0.234 \text{ m}}{2} + 0.174 \text{ m} \right) \right)\end{aligned}$$

$$\tau_B = -4.941 \text{ Nm}$$

Entendido, si el momento torque (τ_B) es de 4.941 Nm y el radio r es la suma de 174 mm y 234 mm, la fórmula para calcular la carga en kilogramos que puede levantar el servo motor sería:

$$\text{Carga(kg)} = \frac{4.941 \text{ Nm}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0.408 \text{ m}} = 1.236 \text{ kg}$$

Por lo tanto, con un momento torque de 4.941 Nm en el punto B y un radio igual a la suma de 174 mm y 234 mm, el servo motor para esa articulación puede levantar aproximadamente 1.236 kilogramos en estas condiciones.

$$\sum F_x = R_{Ax} + R_{Bx} + R_{Cx} = 0$$

$$\sum F_y = R_{Ay} + R_{By} + R_{Cy} - W_1 - W_2 - W_3 - F = 0$$

$$R_{Cy} = W_3$$

$$\begin{aligned}\sum \tau_C = & R_{Ay}(d_{BA} + d_{CB}) + R_{By}d_{CB} - F(d_{AF} + d_{BA} + d_{CB}) - W_1 \left(\frac{d_{AF}}{2} + d_{BA} + d_{CB} \right) \\ & - W_2 \left(\frac{d_{BA}}{2} + d_{CB} \right) - W_3 \left(\frac{d_{CB}}{2} \right)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum \tau_C = & (-7.220 \text{ Nm} * (0.174 \text{ m} - 0.200 \text{ m})) + (22.396 \text{ Nm} * 0.200 \text{ m}) \\ & - \left(\left(1 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) * (0.234 \text{ m} + 0.174 \text{ m} + 0.200 \text{ m}) \right) \\ & - \left(\left(0.264 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) * \left(\frac{0.234 \text{ m}}{2} + 0.174 \text{ m} + 0.200 \text{ m} \right) \right)\end{aligned}$$

$$\tau_C = -2.569 \text{ Nm}$$

Si el momento torque (τ_c) es de 2.569 Nm y el radio r es la suma de 200 mm, 174 mm y 234 mm, la fórmula para calcular la carga en kilogramos que puede levantar el servo motor sería:

$$Carga(kg) = \frac{2.569 \text{ Nm}}{9.81 \frac{m}{s^2} * 0.608 \text{ m}} = 0.433 \text{ kg}$$

Por lo tanto, con un momento torque de 2.569 Nm en el punto C y un radio igual a la suma de 200 mm, 174 mm y 234 mm, el servo motor puede levantar aproximadamente 0.433 kilogramos en estas condiciones.

Después de haber analizado cada uno de los torques, se procede con el análisis de elementos finitos para evaluar el comportamiento estructural del diseño bajo diferentes condiciones de carga.

Este análisis se lleva a cabo utilizando el software SolidWorks, que ofrece herramientas para realizar el análisis y observar las posibles deformaciones que el robot pueda experimentar bajo diferentes condiciones.

Análisis de elementos finitos

Se efectúa un estudio de tensiones para el diseño mecánico, considerando la carga máxima de 1 kg. Se aplicará una fuerza aproximada de 9.81 [N]. Se llevarán a cabo dos análisis: uno en el extremo de la pinza y otro en el extremo de la muñeca. Esta división se justifica por el hecho de que la muñeca soportará la carga y, por ende, experimentará un mayor torque, según lo demostraron los cálculos previos.

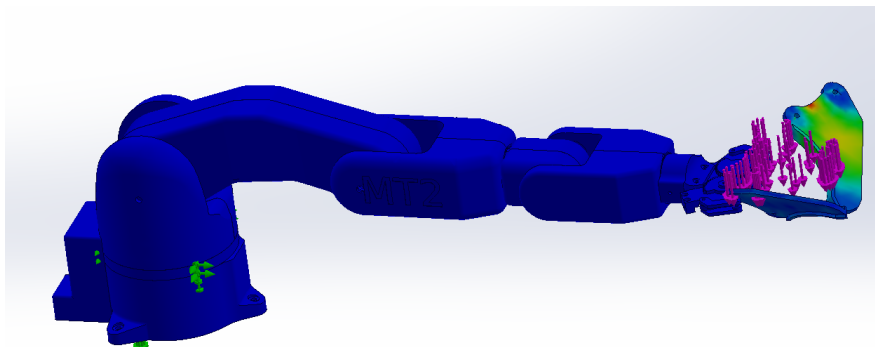


Imagen 22 - Análisis Estático en el efector final con 1 kg de carga

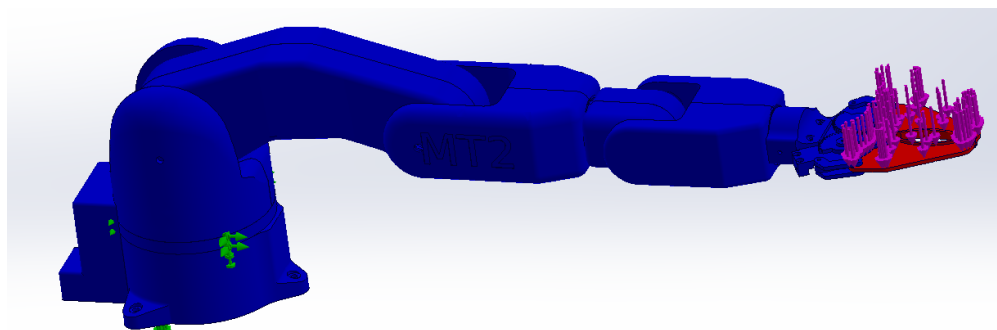


Imagen 23 - Análisis Estático – Factor de seguridad 0.8



Imagen 24 - Análisis Estático – Carga aplicada en muñeca

Para habilitar los movimientos precisos del robot, es fundamental la integración de matemáticas, geometría, algoritmos, software y hardware. Estos elementos se combinados mediante métodos matemáticos avanzados, permiten calcular y controlar tanto la posición como la orientación del robot en el espacio. La geometría y los algoritmos se utilizan para resolver problemas de cinemática directa e inversa, garantizando que el robot pueda alcanzar su objetivo con la exactitud requerida. El software actúa como el cerebro del sistema, traduciendo estos cálculos en comandos que el hardware ejecuta a través de servomotores y otros actuadores. En conjunto, esta sinergia entre las disciplinas asegura que el robot opere de manera eficiente y precisa en diversas tareas y entornos.

La selección de los parámetros Denavit-Hartenberg (DH) es una etapa crucial en el diseño cinemático de un robot antropomórfico. Los parámetros DH describen la geometría relativa y la cinemática del robot mediante una serie de variables que definen las transformaciones entre sus eslabones. El proceso que se aplica al robot es el siguiente:

Análisis cinemático del robot – Cinemática Directa

Se asignan los parámetros Denavit - Hartenberg a cada articulación del robot, incluyendo la longitud del eslabón, el ángulo de rotación, la distancia entre ejes y el ángulo de inclinación.

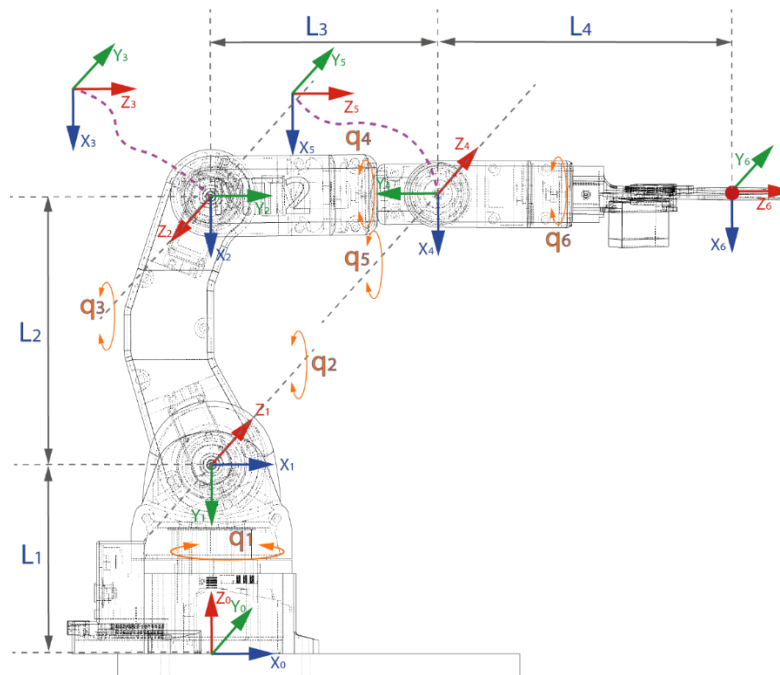


Imagen 25 - Cinemática directa con sus sistemas coordenados aplicados

Estos parámetros se definen siguiendo las convenciones Denavit-Hartenberg, estableciendo la relación geométrica entre eslabones consecutivos. Esto permite obtener una matriz de transformación homogénea que describe la posición y orientación del efector final en relación con el sistema de coordenadas inicial. Así, se sitúa el efector final dentro de un espacio de trabajo adecuado para el robot.



Articulaciones	θ	d	a	α
1 $0-1$	q_1	L_1	0	$-\frac{\pi}{2}$
2 $1-2$	$q_2 + \frac{\pi}{2}$	0	$-L_2$	π
3 $2-3$	q_3	0	0	$-\frac{\pi}{2}$
4 $3-4$	q_4	L_3	0	$-\frac{\pi}{2}$
5 $4-5$	q_5	0	0	$\frac{\pi}{2}$
6 $5-6$	q_6	L_4	0	0

TABLA 1. Parámetros cinemática directa Denavit - Hartenberg

Es fundamental para el diseño y la construcción del robot, ya que proporciona información crucial sobre la posición y orientación del mismo. Esta información es esencial para la siguiente etapa, especialmente en lo que respecta a la aplicación de la cinemática inversa.

Análisis cinemático del robot – Cinemática Inversa

Para llevar a cabo los cálculos de cinemática inversa, es esencial emplear métodos geométricos que permitan determinar los ángulos correspondientes a una posición y orientación específicas.

Con el objetivo de posicionar el robot en las coordenadas deseadas, resulta crucial especificar la orientación precisa que debe asumir en esa ubicación específica. Para llevar a cabo esta tarea, se recurre a la creación de la matriz de orientación que define la orientación final del efector, considerando meticulosamente los parámetros de orientación conocidos como roll, pitch y yaw.

$$M_0^6 = \begin{bmatrix} \cos\left(\frac{\pi}{2}\right) & 0 & \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\left(\frac{\pi}{2}\right) & 0 & \cos\left(\frac{\pi}{2}\right) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\zeta & -\sin\zeta \\ 0 & \sin\zeta & \cos\zeta \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \cos(\theta) & 0 & \sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & -\sin\varphi \\ 0 & \sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix}$$

Tras lograr la orientación deseada, se extraen los valores de la última columna de la matriz correspondiente. Con estos datos disponibles, es imperativo dirigir la atención hacia la siguiente representación visual:

$$P_{aux} = M_0^6(1:3,3) * L_4$$

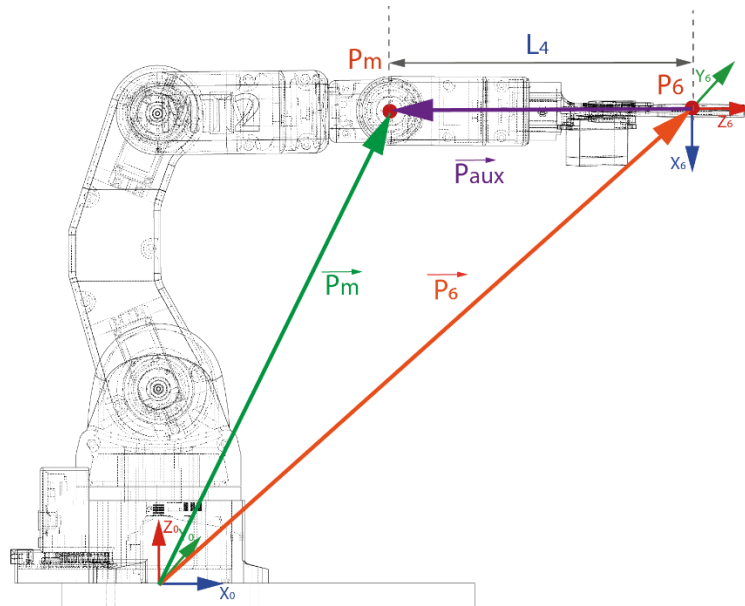


Imagen 26 - Vista frontal del robot indicando los vectores de posición

Para determinar los valores de cada articulación, se requiere aplicar el método de desacople cinemático. Este método implica trasladar las coordenadas del efector final al punto de intersección de los sistemas de coordenadas, como se evidencia en la representación gráfica que posiciona cada sistema coordinado durante la cinemática directa (FIGURA 19). En particular, la intersección de los sistemas 4, 5 y 6 es claramente discernible en dicha imagen. Mediante operaciones de suma de vectores, podemos llevar a cabo este traslado al punto de la muñeca, representado como P_m (FIGURA 20).

$$P_m = P_6 + P_{aux}$$

Es esencial considerar que la dirección en la que se ubica el eje Z_6 es opuesta a la orientación de P_{aux} . Por lo tanto:

$$P_m = P_6 - P_{aux}$$

El procedimiento comienza visualizando el robot desde una perspectiva superior y asignándole un ángulo positivo a la primera articulación. Desde el sistema de coordenadas inicial del robot hasta las coordenadas del punto de la muñeca, se observa la formación de un triángulo que sirve como base para calcular los ángulos necesarios a fin de lograr la posición y orientación deseadas del extremo del robot.

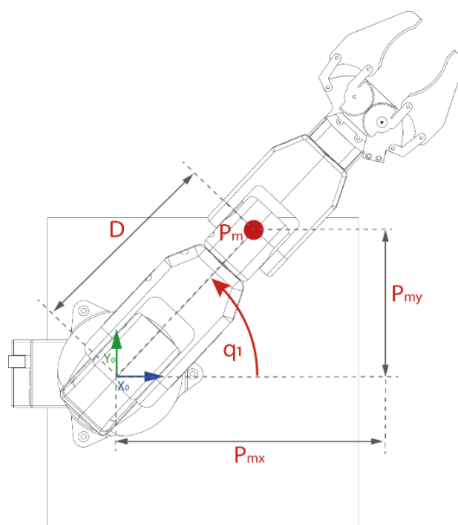


Imagen 27 - Vista superior del robot para análisis cinemático inverso

El valor de la primera articulación se determina mediante la siguiente expresión:

$$q_1 = \text{atan2}(P_{y_m}, P_{x_m})$$

Para avanzar con los cálculos geométricos, se procede a analizar el robot desde una perspectiva frontal con el fin de derivar las siguientes ecuaciones:

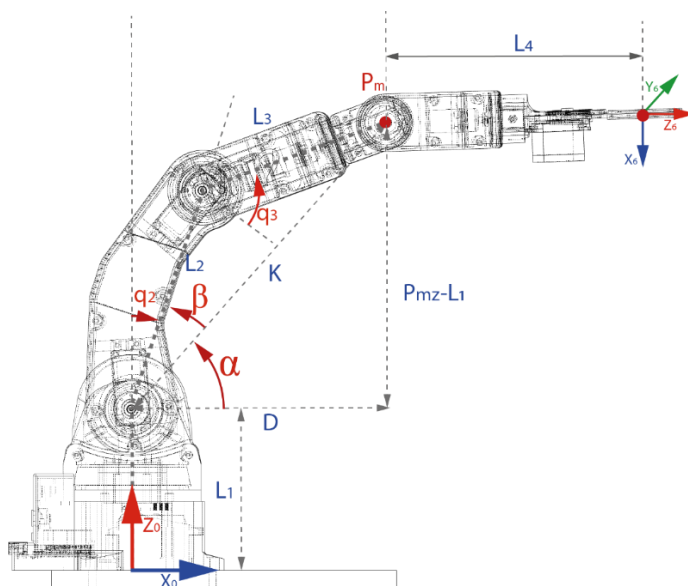


Imagen 28 - Vista frontal del robot – análisis de las primeras tres articulaciones



En la figura, se aprecia en el triángulo que la distancia hasta el punto P_m se puede calcular utilizando el teorema de Pitágoras, considerando las coordenadas P_m en los ejes X e Y.

$$D = \sqrt{P_{mx}^2 + P_{my}^2}$$

En la figura, se identifican los triángulos pertinentes, permitiendo así calcular el valor de K y así poder obtener el valor de β .

$$K = \sqrt{D^2 + (P_{mz} - L_1)^2}$$

Aplicando la ley de cosenos al triángulo formado por L_3 , L_2 , y K , se obtiene una variable denominada C_β . Es importante destacar que no se desplaza el coseno al otro lado de la ecuación, ya que el coseno de beta se conserva como una variable que será utilizada posteriormente.

$$C_\beta = \frac{L_3^2 - L_2^2 - K^2}{-2L_2K}$$

Mediante la identidad trigonométrica $\sin^2 + \cos^2 = 1$, se procede a despejar, considerando que $\sin \beta$ se transforma en una variable. La variable "CODO" se define como positiva o negativa, según la preferencia de orientación del codo, ya sea hacia arriba (codo arriba) o hacia abajo (codo abajo) del robot.

$$S_\beta = CODO * \sqrt{1 - C_\beta^2}$$

Obteniendo el valor de β :

$$\beta = \text{atan2}(S_\beta, C_\beta)$$

Para obtener el valor de α , en la figura se observa como se puede obtener su valor por medio del triángulo que se forma.

$$\alpha = \text{atan2}(P_{mz} - L_1, D)$$

Una vez adquiridos los valores esenciales para calcular la articulación 2, procedemos de la siguiente manera:

$$q_2 = \left(\frac{\pi}{2}\right) - (\beta + \alpha)$$



Para obtener las ecuaciones de la articulación 3, se siguen procedimientos análogos a los utilizados previamente, observando la figura que conforma la articulación mencionada anteriormente.

$$C_{\varphi} = \frac{K^2 - L3^2 - L2^2}{-2L_2L_3}$$

$$S_{\varphi} = CODO * \sqrt{1 - C_{\varphi}^2}$$

$$\varphi = \text{atan2}(S_{\varphi}, C_{\varphi})$$

$$q_3 = \varphi - \left(\frac{\pi}{2}\right)$$

Hasta este punto, se han determinado los valores de las articulaciones 1, 2 y 3 mediante el método de desacople cinemático. Ahora, para derivar las ecuaciones de las articulaciones 4, 5 y 6, se recurre al método de matrices de Euler.

En primer lugar, es necesario determinar la matriz de orientación deseada M_0^6 . Posteriormente, mediante el empleo de la cinemática inversa, se obtienen los valores de las tres primeras articulaciones q_1 , q_2 , y q_3 . Una vez adquiridos, estos valores se relacionan entre sí para derivar la matriz de transformación homogénea M_0^3 . Obteniendo la siguiente matriz:

$$M_{03}^{36} = M_0^{3T} M_0^6$$

Previamente necesitamos también la matriz M_3^6 , con el fin de igualar posiciones y encontrar las ecuaciones necesarias para las articulaciones q_4 , q_5 y q_6

$$N_{11} = Cq_6 \left(Cq_4 Cq_5 - C\left(\frac{\pi}{2}\right) Sq_4 Sq_5 \right) - Sq_6 \left(S\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 Sq_4 + C\left(\frac{\pi}{2}\right) Cq_4 Sq_5 + C\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \right) Cq_5 Sq_4$$

$$N_{21} = Sq_6 \left(S\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 Cq_4 - C\left(\frac{\pi}{2}\right) Sq_4 Sq_5 + C\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 Cq_4 Cq_5 \right) + Cq_6 (Cq_5 Sq_4 + C\left(\frac{\pi}{2}\right) Cq_4 Sq_5)$$

$$N_{31} = Sq_6 \left(C\left(\frac{\pi}{2}\right) S\left(\frac{\pi}{2}\right) - C\left(\frac{\pi}{2}\right) S\left(\frac{\pi}{2}\right) Cq_5 \right) - S\left(\frac{\pi}{2}\right) Cq_6 Sq_5$$



$$O_{12} = -Sq_6(Cq_4Cq_5 - C\left(\frac{\pi}{2}\right)Sq_4Sq_5 - Cq_6(S\left(\frac{\pi}{2}\right)^2Sq_4 + C\left(\frac{\pi}{2}\right)Cq_4Sq_5 \\ + C\left(\frac{\pi}{2}\right)^2Cq_5Sq_5))$$

$$O_{22} = Cq_6(S\left(\frac{\pi}{2}\right)^2Cq_4 - C\left(\frac{\pi}{2}\right)Sq_4Sq_5 + C\left(\frac{\pi}{2}\right)^2Cq_4Cq_5 - Sq_6(Cq_5Sq_4) \\ + C\left(\frac{\pi}{2}\right)Cq_4Sq_5)$$

$$O_{32} = Cq_6\left(C\left(\frac{\pi}{2}\right)S\left(\frac{\pi}{2}\right) - C\left(\frac{\pi}{2}\right)S\left(\frac{\pi}{2}\right)Cq_5\right) + S\left(\frac{\pi}{2}\right)Sq_5Sq_6$$

$$a_{13} = S\left(\frac{\pi}{2}\right)Cq_4Sq_5 - C\left(\frac{\pi}{2}\right)S\left(\frac{\pi}{2}\right)Sq_4 + C\left(\frac{\pi}{2}\right)S\left(\frac{\pi}{2}\right)Cq_5Sq_4$$

$$a_{23} = S\left(\frac{\pi}{2}\right)Sq_4Sq_5 + C\left(\frac{\pi}{2}\right)S\left(\frac{\pi}{2}\right)Cq_4 - C\left(\frac{\pi}{2}\right)S\left(\frac{\pi}{2}\right)Cq_4Cq_5$$

$$a_{33} = C\left(\frac{\pi}{2}\right)^2S\left(\frac{\pi}{2}\right)^2Cq_5$$

$$M_3^6 = \begin{bmatrix} n_{11} & o_{12} & a_{13} \\ n_{21} & o_{22} & a_{23} \\ n_{31} & o_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$$

$$K_{11} = Cq_3\left(\left(C\left(\frac{\pi}{2}\right) + q_2\right)Cq_1 - S\left(C\left(\frac{\pi}{2}\right) + q_2\right)C\left(C\left(\frac{\pi}{2}\right)Sq_1\right)\right) \\ - Sq_3\left(S\left(\left(\frac{\pi}{2}\right) + q_2\right)C\pi Cq_1 + S\left(\frac{\pi}{2}\right)S\pi Sq_1 + C\left(\left(\frac{\pi}{2}\right) + q_2\right)C\left(\frac{\pi}{2}\right)C\pi Sq_1\right)$$

$$K_{21} = -S\left(\frac{\pi}{2}\right)\left(S\left(\left(\frac{\pi}{2}\right) + q_2\right)Cq_1S\pi - S\left(\frac{\pi}{2}\right)C\pi Sq_1 + C\left(\left(\frac{\pi}{2}\right) + q_2\right)C\left(\frac{\pi}{2}\right)S\pi Sq_1\right) \\ - C\left(\frac{\pi}{2}\right)Sq_3\left(C\left(\left(\frac{\pi}{2}\right) + q_2\right)Cq_1 - S\left(\left(\frac{\pi}{2}\right) + q_2\right)C\left(\frac{\pi}{2}\right)Sq_1\right) \\ - C\left(\frac{\pi}{2}\right)Cq_3\left(S\left(\left(\frac{\pi}{2}\right) + q_2\right)C\pi Cq_1 + S\left(\frac{\pi}{2}\right)S\pi Sq_1\right) \\ + C\left(\left(\frac{\pi}{2}\right) + q_2\right)C\left(\frac{\pi}{2}\right)C\pi Sq_1$$



$$\begin{aligned}
K_{13} = & C \left(\left(\frac{\pi}{2} \right) \left(S \left(\frac{\pi}{2} \right) + q_2 \right) C q_1 S \pi - S \left(\frac{\pi}{2} \right) C \pi S q_1 + C \left(\left(\frac{\pi}{2} \right) + q_2 \right) C \left(\frac{\pi}{2} \right) S \pi S q_1 \right) \\
& - S \left(\frac{\pi}{2} \right) S q_3 \left(C \left(\frac{\pi}{2} \right) + q_2 \right) C q_1 - S \left(\left(\frac{\pi}{2} \right) + q_2 \right) C \left(\frac{\pi}{2} \right) S q_1 \\
& - S \left(\frac{\pi}{2} \right) C q_3 \left(S \left(\frac{\pi}{2} \right) + q_2 \right) C \pi C q_1 + S \left(\frac{\pi}{2} \right) S \pi S q_1 \\
& + C \left(\left(\frac{\pi}{2} \right) + q_2 \right) C \left(\frac{\pi}{2} \right) C \pi S q_1
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_{12} = & C q_3 \left(C \left(\left(\frac{\pi}{2} \right) + q_2 \right) S q_1 + S \left(\left(\frac{\pi}{2} \right) + q_2 \right) C \left(\frac{\pi}{2} \right) C q_1 + S q_3 \left(S \left(\frac{\pi}{2} \right) C q_1 S \pi \right. \right. \\
& \left. \left. - S \left(\left(\frac{\pi}{2} \right) + q_2 \right) C \pi S q_1 + C \left(\left(\frac{\pi}{2} \right) + q_2 \right) C \left(\frac{\pi}{2} \right) C \pi C q_1 \right) \right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_{22} = & C \left(\frac{\pi}{2} \right) C q_3 \left(S \left(\frac{\pi}{2} \right) C q_1 S \pi - S \left(\left(\frac{\pi}{2} \right) + q_2 \right) C \pi S q_1 + C \left(\left(\frac{\pi}{2} \right) + q_2 \right) C \left(\frac{\pi}{2} \right) C \pi C q_1 \right. \\
& - S \left(\frac{\pi}{2} \right) \left(S \left(\left(\frac{\pi}{2} \right) + q_2 \right) S \pi S q_1 + S \left(\frac{\pi}{2} \right) C \pi C q_1 \right. \\
& \left. \left. - C \left(\left(\frac{\pi}{2} \right) + q_2 \right) C \left(\frac{\pi}{2} \right) C q_1 S \pi \right) - C \left(\frac{\pi}{2} \right) S q_3 \left(C \left(\frac{\pi}{2} \right) + q_2 \right) S q_1 \right. \\
& \left. + S \left(\left(\frac{\pi}{2} \right) + q_2 \right) C \left(\frac{\pi}{2} \right) C q_1 \right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_{32} = & C \left(\frac{\pi}{2} \right) \left(S \left(\left(\frac{\pi}{2} \right) + q_2 \right) S \pi S q_1 \right) + S \left(\frac{\pi}{2} \right) C \pi C q_1 - C \left(\left(\frac{\pi}{2} \right) + q_1 \right) C \left(\frac{\pi}{2} \right) C q_1 S \pi \\
& + S \left(\frac{\pi}{2} \right) C q_3 \left(S \left(\frac{\pi}{2} \right) S \pi - S \left(\left(\frac{\pi}{2} \right) + q_2 \right) C \pi S q_1 \right. \\
& \left. + C \left(\left(\frac{\pi}{2} \right) + q_2 \right) C \left(\frac{\pi}{2} \right) C q_1 \right) - S \left(\frac{\pi}{2} \right) S q_3 \left(C \left(\left(\frac{\pi}{2} \right) + q_2 \right) S q_1 \right. \\
& \left. + S \left(\left(\frac{\pi}{2} \right) + q_2 \right) C \left(\frac{\pi}{2} \right) C q_1 \right)
\end{aligned}$$

$$R_{13} = S q_3 \left(C \left(\frac{\pi}{2} \right) S \pi - C \left(\left(\frac{\pi}{2} \right) q_2 \right) S \left(\frac{\pi}{2} \right) C \pi - S \left(\left(\frac{\pi}{2} \right) + q_2 \right) S \left(\frac{\pi}{2} \right) C q_3 \right)$$



$$R_{23} = C\left(\frac{\pi}{2}\right) C q_3 \left(C\left(\frac{\pi}{2}\right) S\pi - C\left(\left(\frac{\pi}{2}\right) + q_2\right) S\left(\frac{\pi}{2}\right) C\pi \right) \\ - S\left(\frac{\pi}{2}\right) \left(C\left(\frac{\pi}{2}\right) C\pi + C\left(\left(\frac{\pi}{2}\right) + q_2\right) S\left(\frac{\pi}{2}\right) S\pi \right) \\ + S\left(\left(\frac{\pi}{2}\right) + q_2\right) C\left(\frac{\pi}{2}\right) S\left(\frac{\pi}{2}\right) S q_3$$

$$R_{33} = C\left(\frac{\pi}{2}\right) \left(C\left(\frac{\pi}{2}\right) C\pi + C\left(\left(\frac{\pi}{2}\right) + q_2\right) S\left(\frac{\pi}{2}\right) S\pi \right) \\ + S\left(\frac{\pi}{2}\right) C q_3 \left(C\left(\frac{\pi}{2}\right) S\pi - C\left(\left(\frac{\pi}{2}\right) + q_2\right) S\left(\frac{\pi}{2}\right) C\pi \right) \\ + S\left(\left(\frac{\pi}{2}\right) + q_2\right) S\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 S q_3$$

$$M_{03}^{36} = \begin{bmatrix} K_{11} & A_{12} & R_{13} \\ K_{21} & A_{22} & R_{23} \\ K_{31} & A_{32} & R_{33} \end{bmatrix}$$

Observando las matrices M_3^6 y M_{03}^{36} , se analizan que posiciones tienen relación según sus ángulos y se igualan para obtener el valor de su articulación de la siguiente manera:

$$M_3^6 = \begin{bmatrix} N_{11} & O_{12} & a_{13} \\ N_{21} & O_{22} & a_{23} \\ N_{31} & O_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$$

$$M_{03}^{36} = \begin{bmatrix} K_{11} & A_{12} & R_{13} \\ K_{21} & A_{22} & R_{23} \\ K_{31} & A_{32} & R_{33} \end{bmatrix}$$

Al igualar las ecuaciones y despejarlas se encuentran los valores de las articulaciones, recordando que M_3^6 es guía para la matriz M_{03}^{36} :

$$q_4 = \text{atan2}(M_3^6(3,2), M_3^6(3,3))$$

$$q_5 = \text{atan2} \left(-M_3^6(3,1), \sqrt{M_3^6(1,1)^2 + M_3^6(2,1)^2} \right)$$

$$q_6 = \text{atan2}(M_3^6(2,1), M_3^6(1,1))$$

Implementación del Circuito Eléctrico

El diseño del circuito adopta una configuración óptima y compacta, como se muestra en la imagen 29. Se ha implementado utilizando una tarjeta USB Host shield, lo que facilita la integración de futuros proyectos destinados a controlar el robot mediante mandos. Además, el sistema incluye 6 servomotores, asignados individualmente a cada uno de los grados de libertad del robot. Las tres primeras articulaciones están equipadas con servomotores de 60 Kg-cm de torque, mientras que las tres siguientes cuentan con servomotores de 30 kg-cm de torque. El sistema se completa con un servo motor encargado de activar el efector final, con un torque de 15 kg-cm. Esta disposición permite que el software se conecte en tiempo real para controlar la actuación de cada componente, asegurando así que el robot se desplace con precisión hacia las coordenadas deseadas.

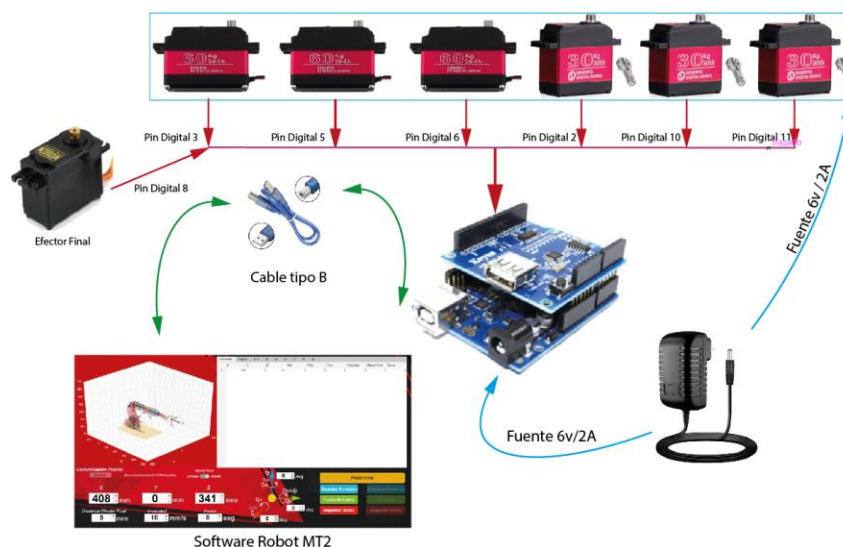


Imagen 29 - Circuito implementado para robot MT2



Softwares educativos

Se desarrollarán dos softwares especializados, cada uno enfocado en un aspecto clave de la robótica para facilitar la enseñanza y la experimentación con robots en tiempo real. El primer software se centrará en la cinemática directa, proporcionando una plataforma interactiva que permitirá explicar y visualizar los principios de la cinemática directa de manera dinámica. Este software permitirá a los usuarios comprender cómo las configuraciones articulares del robot se traducen en posiciones específicas en el espacio, todo esto con la ventaja de poder observar los movimientos del robot en tiempo real, lo que enriquecerá significativamente el proceso de aprendizaje.

El segundo software estará dedicado a la cinemática inversa y permitirá a los usuarios planificar trayectorias de manera precisa, punto por punto. Con este software, será posible diseñar una rutina completa de movimientos que puede ser simulada primero en un entorno virtual. Esta funcionalidad permite revisar y ajustar la trayectoria antes de ejecutar cualquier movimiento físico, garantizando que todo esté optimizado y funcionando correctamente. Una vez que la simulación haya sido verificada, el software permitirá conectar el robot y ejecutar la rutina planificada, replicando fielmente los movimientos diseñados en el entorno virtual. Este enfoque no solo facilita la creación y perfeccionamiento de trayectorias complejas, sino que también reduce el riesgo de errores durante la ejecución en el mundo real.

Generación de Trayectorias

La planificación de trayectorias en robótica implica el cálculo preciso del movimiento, teniendo en cuenta la posición, velocidad y aceleración de cada articulación. Este proceso abarca diversos métodos, destacando el control de trayectorias punto a punto, que se centra en especificar únicamente los puntos de partida y llegada sin considerar la trayectoria entre ellos, y el control de trayectorias continuas, donde se traza una ruta definida, ya sea lineal o circular, mediante una secuencia de puntos intermedios. En este contexto, se plantea la generación de una trayectoria pick and place (punto a punto) como prueba de concepto para validar el diseño mecánico previamente elaborado, con el fin de abordar los desafíos planteados y evaluar el desempeño de un robot antropomórfico con 6 grados de libertad.

La planificación de la trayectoria pick and place se basa en la aplicación de interpolación spline cúbico, la cual se caracteriza por un polinomio de tercer grado que genera una curva continua entre un punto de origen y otro de destino especificados. El análisis inicia con la formulación principal presentada en las siguientes ecuaciones.



Estas fórmulas se utilizan para calcular los coeficientes de un spline cúbico. En particular, el spline cúbico se usa comúnmente en la interpolación de curvas suaves entre dos puntos dados.

La matriz A representanta los coeficientes para el cálculo de los coeficientes del spline cúbico.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ T_f^3 & T_f^2 & T_f & 1 \\ 3T_f^2 & 2T_f & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

El vector columna B, representa los puntos iniciales y finales entre los cuales se desea interpolar.

$$B = \begin{bmatrix} P_i \\ 0 \\ P_f \\ 0 \end{bmatrix}$$

Como resultado se obtiene M que son los coeficientes del spline cúbico calculados mediante la multiplicación de la inversa de A con B.

$$M = A^{-1}B$$

La función f(t) representa una curva cúbica definida por los coeficientes a,b,c y d. Esta función es comúnmente utilizada en la interpolación de datos para generar curvas suaves entre puntos dados en el dominio del tiempo t. Determinando la forma específica de la curva cúbica, permitiendo ajustarla para adaptarse a diferentes conjuntos de datos o requisitos de diseño.



Ecuación Posición

$$f(t) = at^3 + bt^2 + ct + d$$

La función $v(t)$ describe la velocidad instantánea de un objeto en función del tiempo t . Esta ecuación representa una función cuadrática que modela la velocidad en términos de la aceleración constante a , la velocidad inicial b , y la constante c , que puede ser interpretada como la velocidad inicial o como un término de velocidad constante.

Ecuación Velocidad

$$v(t) = 3at^2 + 2bt + c$$

La función $a(t)$ describe la aceleración instantánea de un objeto en función del tiempo t . Esta ecuación representa una función lineal que modela la aceleración en términos de la aceleración constante a y la velocidad inicial b .

Ecuación Aceleración

$$a(t) = 6at + 2b$$

A continuación, se realiza una planificación de algunas trayectorias que se ingresaron en el software de forma aleatoria, obteniendo así el comportamiento de cada una de las articulaciones en las siguientes gráficas.

Una vez completados todos los análisis y cálculos necesarios, se está en condiciones de avanzar a la siguiente fase del desarrollo del robot. Asegurando que todas las especificaciones técnicas y funcionales definidas en la fase anteriores se integren correctamente. Al tener un fundamento sólido basado en los análisis previos, se minimizan los riesgos de fallos en las etapas posteriores del proyecto, lo que facilita una transición más fluida hacia la construcción y prueba del prototipo final.

3.3. Fase 2: Construcción del robot (OB2)

En esta segunda fase, se procederá al diseño detallado del robot, enfocado en facilitar la interacción y comprensión por parte de los estudiantes. Este diseño busca integrar características que permitan movimientos complejos y adaptativos, para mejorar la experiencia educativa.

Especificaciones de Diseño:

- **Requisitos Funcionales:** El robot deberá ser capaz de realizar movimientos, mover objetos precisos y fluidos. Además, deberá ser programable para ejecutar secuencias de movimientos personalizados en función de las necesidades educativas.
- **Requisitos No Funcionales:** Se priorizará la seguridad, accesibilidad, y facilidad de uso. El diseño considerará la estabilidad del robot para evitar caídas, el uso de materiales no tóxicos y la facilidad de mantenimiento y reparación.

SELECCIÓN DE MATERIAL Y CONSTRUCCIÓN

Entorno a la investigación, se revisa un video donde se ponen en práctica tres materiales diferentes: ABS, PETG y PLA. Estos materiales se imprimen con la misma forma, utilizando la misma impresora 3D y en la misma posición. El experimento consiste en anclar el objeto impreso en un extremo y aplicar peso progresivamente en el otro extremo hasta observar cuál de los tres materiales se rompe. Este enfoque permite evaluar y comparar la resistencia y el rendimiento de cada material bajo condiciones idénticas, proporcionando información valiosa sobre sus propiedades mecánicas y su comportamiento ante cargas.

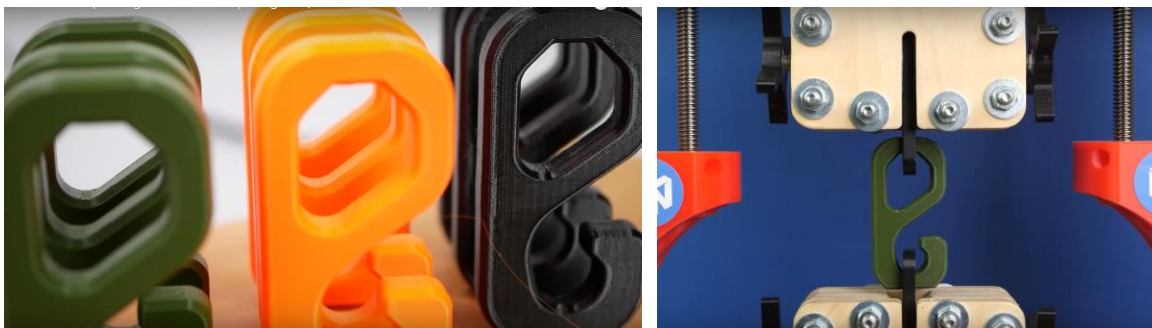


Imagen 30 - Prueba de resistencia en materiales PLA, PETG y ABS

Recuperado de:

https://www.youtube.com/watch?v=ycGDR752fT0&t=617s&ab_channel=CNCKitchen



Filamento	Resistencia Máxima	Módulo de Flexión	Fuerza de Impacto	Comentarios
PLA	70 kg	3300 MPa	5 kJ/m ²	Alta resistencia a la carga, pero frágil.
PETG	50 kg	2100 MPa	10 kJ/m ²	Buen equilibrio entre flexibilidad y resistencia.
ABS	60 kg	2700 MPa	15 kJ/m ²	Buena resistencia al impacto y durabilidad.

PLA (Ácido Poliláctico):

- **Ventajas:**
 - Fácil de imprimir: PLA tiene una baja temperatura de impresión y no requiere una cama caliente (aunque es recomendable).
 - Biodegradable: Está hecho de recursos renovables como el maíz o la caña de azúcar.
 - Buena calidad de impresión: Proporciona detalles nítidos y es menos propenso a deformarse.
 - Variedad de colores y acabados.
- **Desventajas:**
 - Baja resistencia al calor: Se deforma a temperaturas relativamente bajas (alrededor de 60°C).
 - Fragilidad: Aunque es fuerte, es más quebradizo que otros plásticos y no es adecuado para piezas que requieran flexibilidad o resistencia al impacto.
- **Uso recomendado:** Prototipos, objetos decorativos, piezas que no estarán expuestas a altas temperaturas o estrés mecánico.



CORHUILA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA
Vigilada Mineducación

INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR SUJETA A INSPECCIÓN
Y VIGILANCIA POR EL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL - SNIES 2828

PETG (Glicol de Tereftalato de Polietileno):

- **Ventajas:**
 - Buena resistencia al impacto: Es más flexible y menos quebradizo que el PLA.
 - Resistente al calor: Tiene una mayor resistencia térmica que el PLA (hasta unos 80 °C).
 - Resistente a productos químicos: PETG es resistente a ácidos y bases, lo que lo hace adecuado para aplicaciones industriales.
 - Fácil de imprimir: Combina la facilidad de impresión del PLA con algunas de las propiedades del ABS.
- **Desventajas:**
 - Mayor tendencia a crear hilos: Debido a su elasticidad, puede ser más difícil de imprimir sin que se formen hilos entre las piezas.
 - Menor rigidez que PLA.
- **Uso recomendado:** Piezas funcionales, componentes que requieren resistencia al impacto y resistencia química, y piezas que necesitan algo de flexibilidad.

ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno):

- **Ventajas:**
 - Alta resistencia al impacto: ABS es conocido por su durabilidad y resistencia.
 - Resistente al calor: Puede soportar temperaturas más altas que el PLA y el PETG (hasta unos 100 °C).
 - Se puede postprocesar fácilmente: Es fácil de lijar, pintar y puede ser alisado con vapor de acetona.
- **Desventajas:**
 - Difícil de imprimir: ABS tiende a deformarse y requiere una cama caliente y, preferiblemente, una impresora cerrada.
 - Emite vapores durante la impresión que pueden ser tóxicos y requieren buena ventilación.
 - Menor adherencia entre capas: Esto puede reducir la durabilidad de las piezas si no se imprime correctamente.
- **Uso recomendado:** Piezas funcionales que requieren alta resistencia mecánica, resistencia al calor, y para aplicaciones industriales.





CORHUILA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA
Vigilada Mineducación

INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR SUJETA A INSPECCIÓN
Y VIGILANCIA POR EL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL - SNIES 2828

De acuerdo con la información presentada anteriormente, se considera lo siguiente:

El material ABS debido a su complejidad al imprimir en 3D se descarta, ya que requiere condiciones estrictas de temperatura para una correcta adherencia a la superficie de impresión. Cualquier variación de temperatura en su base, puede provocar que la pieza se desprenda. Además, el ABS emite gases tóxicos durante el proceso de impresión, lo que representa un riesgo para la salud con exposición continua.

El material PETG, ofrece resistencia, buena flexibilidad, fácil adherencia a la placa de impresión y no emite gases tóxicos.

Una vez seleccionado el material para la prototipado del robot en la impresora 3D, optándose por el filamento PETG debido a sus excepcionales propiedades mecánicas y su alta resistencia, lo cual lo hace ideal para aplicaciones que requieren durabilidad y flexibilidad. Este filamento se maneja con éxito en una impresora 3D ENDER3, reconocida por su fiabilidad y versatilidad en el ámbito de la impresión 3D. Antes de proceder a la impresión, el diseño CAD de las piezas se realiza utilizando SolidWorks, un software que ofrece herramientas avanzadas para crear modelos tridimensionales precisos y detallados. Se realiza una verificación meticulosa de las dimensiones de cada componente para garantizar que coincidan perfectamente con las especificaciones deseadas, asegurando la precisión y calidad del producto final.

Para llevar a cabo el prototipado en una impresora 3D, es fundamental realizar un preprocesamiento conocido como *slicing* (segmentación), que consiste en convertir el diseño CAD a un formato que la impresora 3D pueda interpretar. Para este propósito, se emplea el software libre “Ultimaker Cura”.



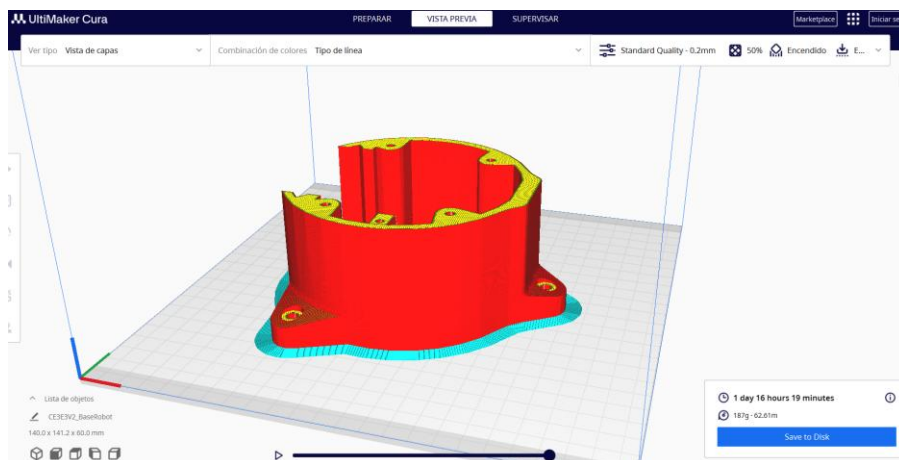


Imagen 31 - Tiempo y cantidad de material en Ultimaker Cura

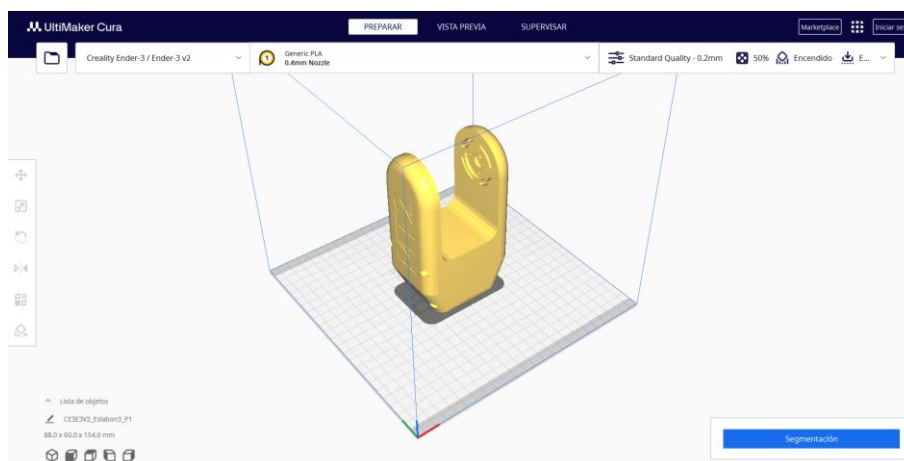


Imagen 32 - Uso de material y tiempo en 3D UltimakerCura

Después de finalizar la impresión 3D de todas las piezas, se procede al ensamblaje, donde se integran cuidadosamente los componentes electrónicos, los servomotores, y se fijan todas las conexiones con tuercas y tornillos. Este paso es esencial para asegurar que cada parte funcione correctamente y que el conjunto final cumpla con las especificaciones del diseño.

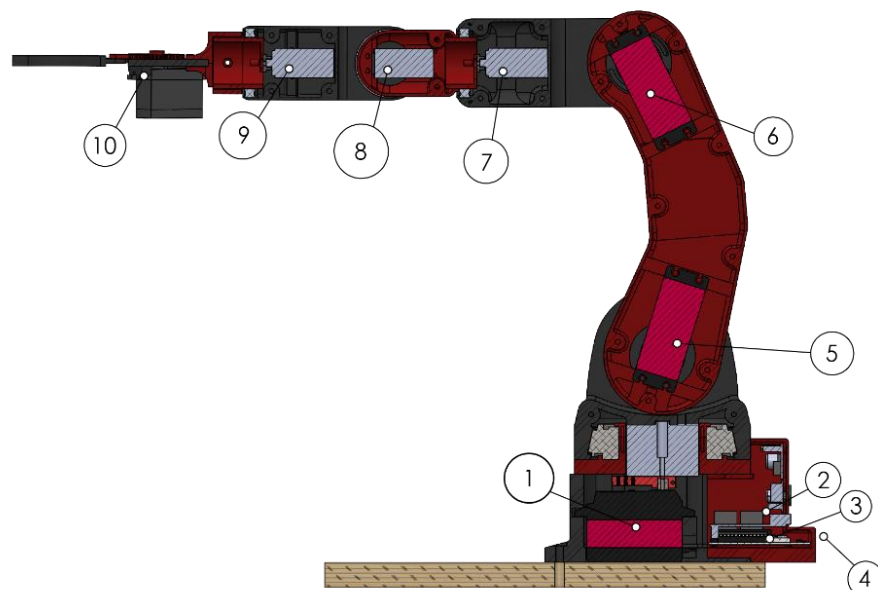


Imagen 33 - Componentes electrónicos en el Robot MT2

# Elemento	Nombre Elemento	Descripción
1	Servomotor 60 kg-cm - DS5160	Servo de metal digital, con potenciómetros precisos y torque variable (58-70 kg.cm) según voltaje. Equipado con engranajes de cobre y aluminio de alta resistencia y precisión.
2	Shield USB Host	Shield USB Host para Arduino, que facilita la interacción y control de dispositivos USB. Construido con el chip MAX3421E, proporciona la electrónica necesaria para estas conexiones.
3	Arduino UNO	Arduino UNO: Microcontrolador de código abierto con amplias capacidades de E/S, ideal para proyectos electrónicos y de prototipado rápido.
4	Adaptador 6V / 2A	Adaptador de corriente de 6V / 2A: Proporciona una fuente de alimentación estable de 6 voltios con una corriente máxima de 2 amperios, ideal para alimentar dispositivos electrónicos de baja potencia y proyectos de bricolaje.
5	Servomotor 60 kg-cm - DS5160	Servo de metal digital, con potenciómetros precisos y torque variable (58-70 kg.cm) según voltaje. Equipado con engranajes de cobre y aluminio de alta resistencia y precisión.
6	Servomotor 60 kg-cm - DS5160	Servo de metal digital, con potenciómetros precisos y torque variable (58-70 kg.cm) según voltaje. Equipado con engranajes de cobre y aluminio de alta resistencia y precisión.
7	Servomotor 30 kg-cm DS3230	Motor de alta precisión con engranajes de acero inoxidable y anodizado duro para mayor durabilidad. Velocidad de hasta 0,17 segundos/60 y eficiencia energética con motor sin núcleo.
8	Servomotor 30 kg-cm DS3230	Motor de alta precisión con engranajes de acero inoxidable y anodizado duro para mayor durabilidad. Velocidad de hasta 0,17 segundos/60 y eficiencia energética con motor sin núcleo.
9	Servomotor 30 kg-cm DS3230	Motor de alta precisión con engranajes de acero inoxidable y anodizado duro para mayor durabilidad. Velocidad de hasta 0,17 segundos/60 y eficiencia energética con motor sin núcleo.



3.4. Fase 3: Desarrollo de material educativo (OB3)

En un entorno educativo que incorpora un robot, es fundamental contar con guías de actividades bien estructuradas y recursos didácticos específicos para asegurar una integración efectiva del robot en los programas académicos. Por ello, se han diseñado tres guías de laboratorio cuidadosamente planificadas, que los estudiantes pueden seguir para desarrollar habilidades prácticas y teóricas. Estas guías no solo facilitan la comprensión de los conceptos robóticos, sino que también optimizan el uso del robot como herramienta de aprendizaje, alineándose con los objetivos educativos del curso. Las guías serán incluidas en la sección de anexos.

3.5. Fase 4: Implementación de pruebas piloto (OB4)

Con la construcción del robot y la elaboración del material educativo finalizados, es crucial llevar a cabo pruebas piloto en entornos educativos para evaluar su efectividad. En la ciudad de Neiva, la Corporación Universitaria del Huila (CORHUILA) se destaca como la única institución que ofrece un programa de ingeniería mecatrónica, el cual incluye en su pensum la asignatura de robótica. Esta asignatura representa el entorno ideal para realizar una prueba piloto exhaustiva, permitiendo no solo evaluar el rendimiento del robot, sino también la eficacia de los recursos didácticos asociados. La retroalimentación obtenida de estas pruebas será invaluable para realizar ajustes y optimizaciones antes de una implementación más amplia en otros programas académicos.

CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del diseño y construcción

Se logró desarrollar con éxito un modelo detallado que integra movimientos antropomórficos, optimizando la interacción y comprensión por parte de los estudiantes. Mediante una metodología de diseño que abordó de manera efectiva las restricciones operativas, el robot fue configurado para ser altamente funcional y accesible en un entorno educativo. Además, implementando tanto la cinemática directa como la inversa, se consiguió que el robot pueda replicar con precisión movimientos complejos, mejorando significativamente la versatilidad y exactitud de las tareas realizadas. Este enfoque permitió no solo cumplir con las expectativas técnicas, sino también alcanzar los objetivos pedagógicos al ofrecer una herramienta que facilita la comprensión de conceptos avanzados en robótica, asegurando así una experiencia de aprendizaje enriquecida y adaptada a las necesidades de los usuarios.

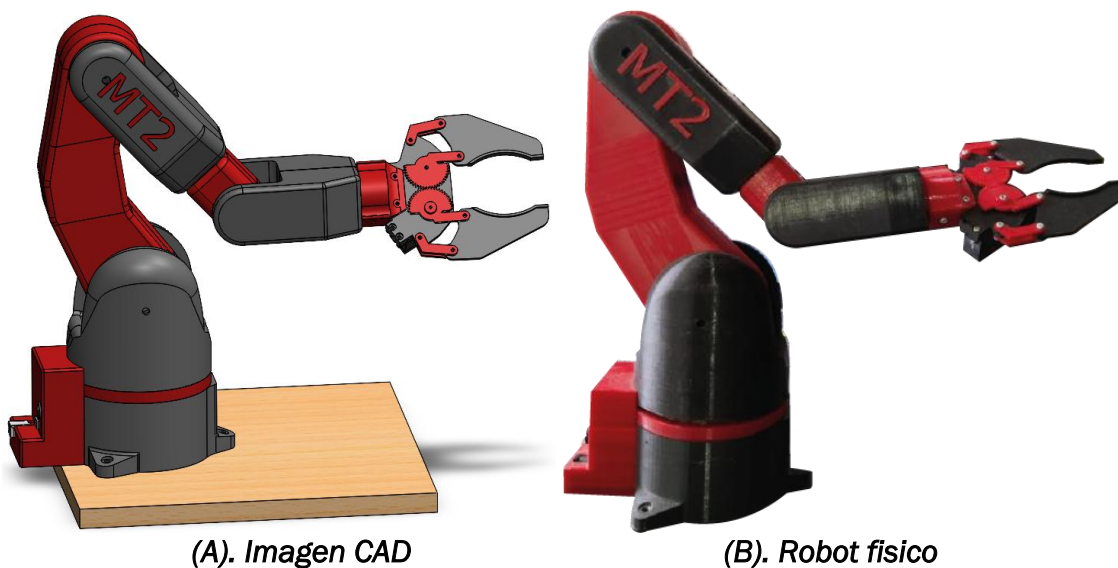


Imagen 34 - Robot MT2 construido con materiales seleccionado

Para el diseño del efector final, se ha decidido implementar una pinza como elemento principal. Sin embargo, este efector final ha sido concebido de manera modular, lo que permite reemplazar la pinza por otros dispositivos o configuraciones según las necesidades de futuras aplicaciones. Esta flexibilidad de diseño garantiza que el sistema pueda adaptarse a una amplia variedad de tareas. En la imagen 37 se muestra el sistema mecánico, el cual permite la apertura de la pinza mediante un movimiento angular de 75° . Este diseño versátil no solo maximiza la utilidad del robot, sino que también facilita su adaptación a distintos entornos operativos y desafíos técnicos.

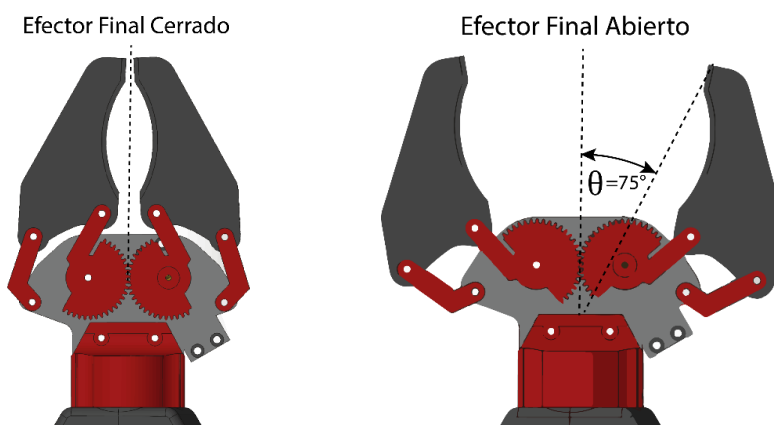


Imagen 35 - Diseño del Efector Final con Pinza Modular

4.2. Análisis del funcionamiento del robot

El robot dispone de un área de trabajo de 75 cm cuando se encuentra en su posición de máxima extensión. Este alcance se ha diseñado cuidadosamente para maximizar la eficiencia y versatilidad del robot en una amplia gama de aplicaciones. La extensión total permite al robot cubrir una superficie considerable, lo que facilita la manipulación de objetos y la realización de tareas en un espacio amplio y variado. Además, este rango de movimiento es ideal para escenarios donde se requiere un alcance prolongado sin sacrificar la precisión ni la estabilidad de las operaciones. La capacidad de operar en un área de trabajo tan extensa también contribuye a la flexibilidad del robot, permitiéndole adaptarse a diferentes entornos educativos o de investigación, donde la eficiencia en el uso del espacio y la capacidad de realizar tareas complejas son esenciales para su éxito y funcionalidad.

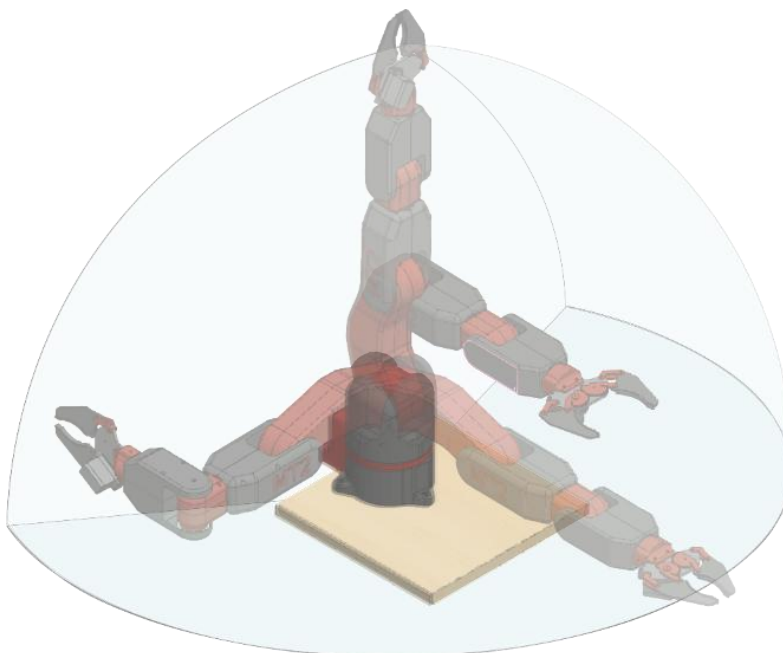


Imagen 36 - Área de trabajo del robot.

Creación del Software

Se ha desarrollado dos softwares específicos para el robot, que posibilita una interacción dinámica en tiempo real. Este software, diseñado para robots antropomórficos de 6 grados de libertad, facilita el aprendizaje de los estudiantes al proporcionarles una comprensión profunda del funcionamiento del robot. Permite a los estudiantes observar de manera práctica cómo el robot procesa y ejecuta cada orden recibida, lo que contribuye significativamente a su comprensión del tema.

El software inicial opera la cinemática directa del robot, permitiendo la entrada de datos mediante una tabla de Denavit-Hartenberg. Esto facilita la evaluación de la respuesta del robot a los parámetros especificados por el usuario. La configuración del robot permite seleccionar entre 3 y 6 grados de libertad, adaptándose así a diversas necesidades.

Una vez definidos los grados de libertad y la correspondiente tabla, se habilita la interactividad en tiempo real para el movimiento de cada articulación. Esto posibilita desplazar cada articulación desde su posición inicial (0°) hasta 90° o -90° , según sea necesario.

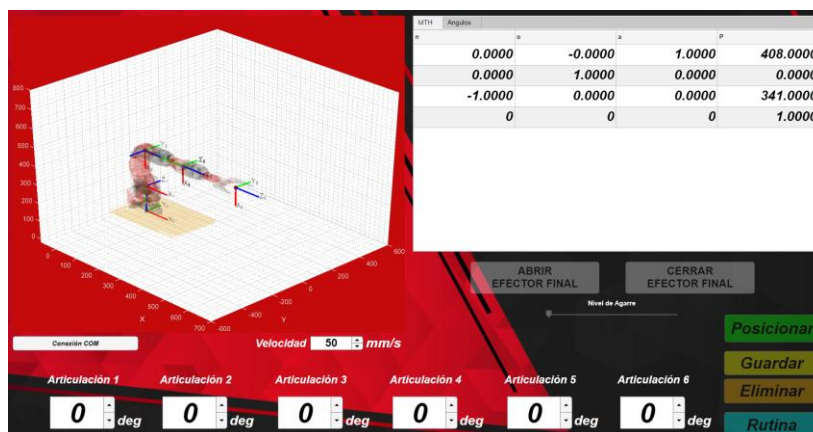


Imagen 37 - Software con Cinemática Directa

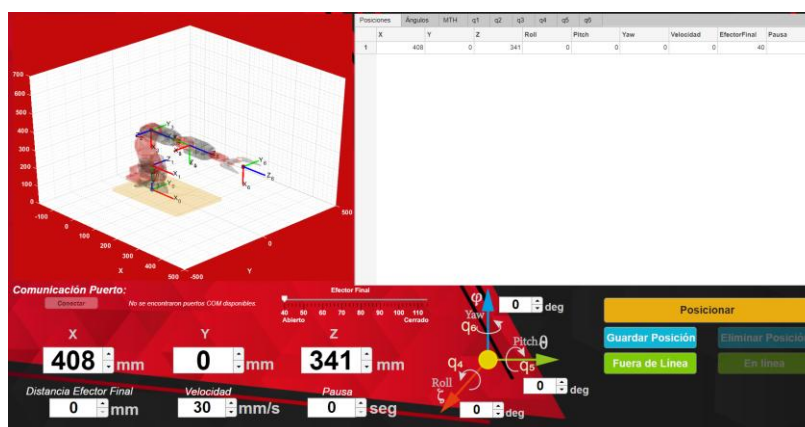


Imagen 38 - Software MT2 con Cinemática Inversa

El segundo software desarrollado se centra en la planificación de trayectorias mediante la implementación de la cinemática inversa. Su propósito es brindar al estudiante una comprensión detallada de cómo opera un robot en su programación interna, incluyendo la generación de diversas trayectorias. Además, permite entender cómo, a partir de coordenadas XYZ dadas, el robot se posiciona y orienta dentro de su espacio de trabajo.

La representación gráfica presenta exhaustivamente todos los módulos del software, concebido para abordar las dificultades que a menudo enfrentan los estudiantes al acceder al robot físico. Este software facilita el desarrollo "offline", lo que significa que no se requiere disponer del robot físico para visualizar cómo cada articulación se adapta a las coordenadas y orientaciones especificadas.

Asimismo, ofrece una interfaz para ingresar y visualizar una tabla que detalla las coordenadas, la velocidad deseada de la trayectoria, las pausas, la orientación del efector final y su estado (abierto o cerrado). Al cambiar a otra pestaña, se presentan los ángulos de cada articulación, los cuales se generan a partir de las coordenadas ingresadas.

Además, proporciona una representación visual de la matriz de transformación homogénea "noa", acompañada de su respectiva posición. Mientras el robot se muestra en movimiento, se puede acceder a esta pestaña para observar su rotación y posición dentro de la matriz de transformación homogénea.

Para completar, se incluye la visualización de la posición, velocidad y aceleración angular de cada articulación. Al activar el botón de simulación, se puede observar el movimiento de las gráficas en cada una de las pestañas, proporcionando así una comprensión dinámica y detallada del comportamiento del sistema.

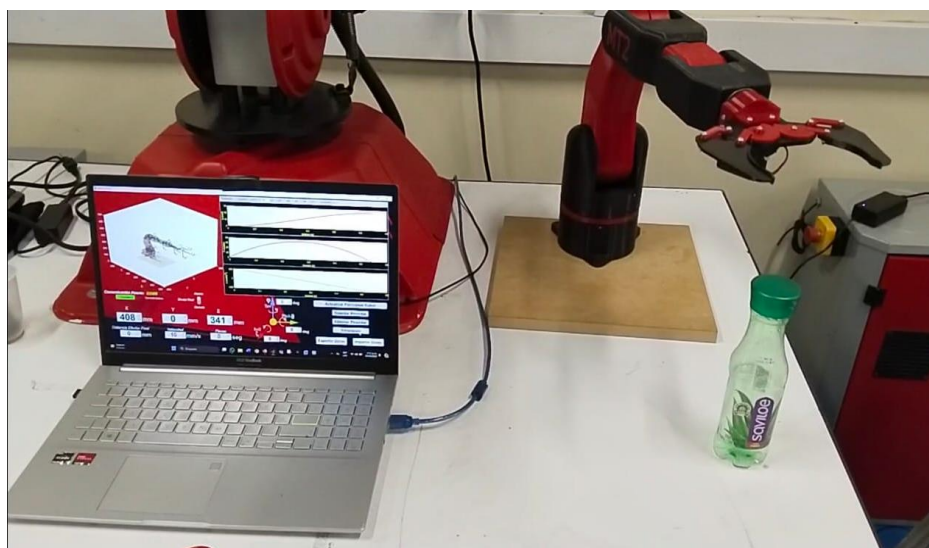


Imagen 39 - Interacción robot MT2 con softwares

El segundo software ofrece una visualización gráfica detallada de los datos relacionados con la posición, velocidad y aceleración de cada una de las articulaciones del robot. Esto se logra a través de la implementación de splines cúbicos, que permiten generar trayectorias suaves y continuas para cada movimiento del robot. A intervalos de tiempo determinados, el software calcula y traza estas trayectorias, reflejando cómo varían en función de la velocidad aplicada.

En las gráficas generadas por el software, se puede observar claramente cómo los cambios en la velocidad afectan el comportamiento del robot. Cuando se aplica una mayor velocidad, el tiempo necesario para completar una trayectoria se acorta, lo que se refleja en las gráficas como curvas más pronunciadas. Por el contrario, si la velocidad es menor, el tiempo se prolonga, resultando en curvas más suaves y extendidas. Esta capacidad de análisis gráfico no solo proporciona una comprensión profunda del movimiento del robot, sino que también permite realizar ajustes precisos en tiempo real para optimizar el rendimiento y la eficiencia del sistema.

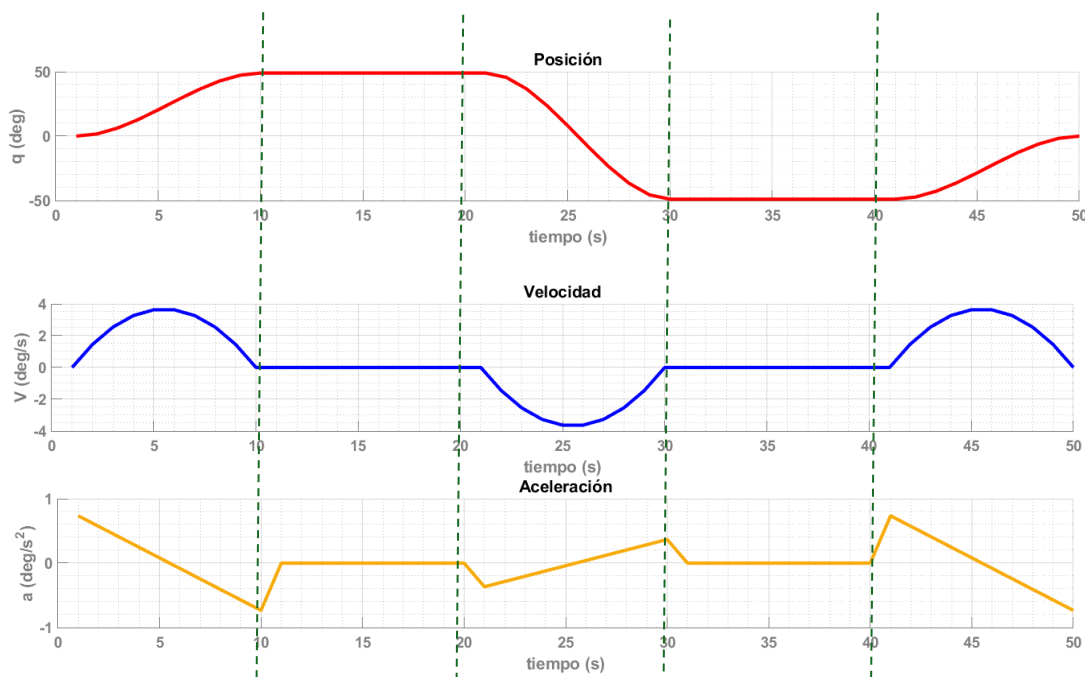


Imagen 40 - Comportamiento de la articulación q_1

En la imagen 40, se puede apreciar que cada trayectoria se ejecuta en un tiempo establecido de 10 segundos. Esta duración uniforme para todas las trayectorias permite una comparación clara y directa del comportamiento del robot a lo largo de diferentes movimientos. La consistencia en el tiempo de ejecución facilita el análisis de cómo las distintas trayectorias afectan el rendimiento del robot, proporcionando una base sólida para ajustar y optimizar tanto las velocidades como las posiciones en función de los requisitos específicos de cada tarea. Esta representación gráfica es clave para comprender cómo se comporta el sistema bajo condiciones controladas, y permite evaluar con precisión la eficiencia de las trayectorias planificadas.

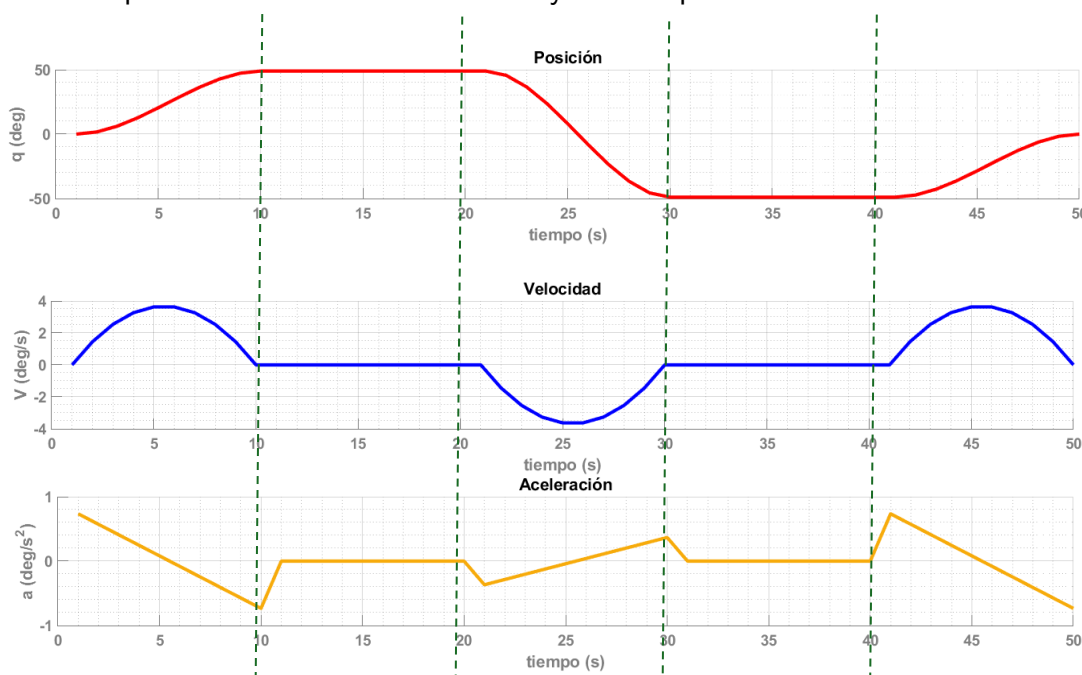


Imagen 41 - Comportamiento de la articulación q_1

En la imagen 41, se puede observar que la velocidad ha sido ajustada para cada punto o trayectoria, lo que resulta en tiempos de ejecución variables. Esta modificación permite analizar cómo diferentes velocidades afectan el tiempo necesario para completar cada trayectoria. Al variar la velocidad, se pueden ver diferencias significativas en los tiempos de ejecución, lo que se refleja claramente en la gráfica. Algunos movimientos se completan más rápidamente cuando se incrementa la velocidad, mientras que otros se prolongan cuando la velocidad es reducida. Este enfoque proporciona una valiosa perspectiva sobre el impacto de la velocidad en el rendimiento general del robot, permitiendo realizar ajustes precisos y optimizar las trayectorias según las necesidades específicas de la aplicación. La capacidad de visualizar estas variaciones en tiempo real es fundamental para mejorar la eficiencia y adaptabilidad del sistema en diferentes escenarios operativos.



CORHUILA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA
Vigilada Mineducación

INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR SUJETA A INSPECCIÓN
Y VIGILANCIA POR EL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL - SNIES 2828

En las siguientes graficas se observa el comportamiento de las demás articulaciones con la misma velocidad para cada una de las trayectorias.

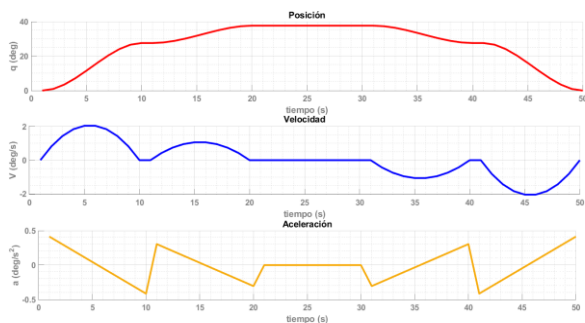


Imagen 42 - Comportamiento de la articulación q_2

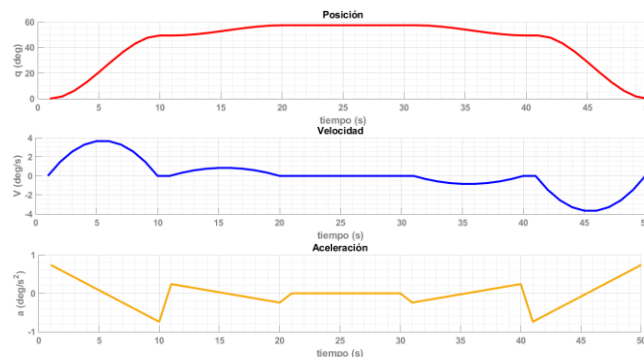


Imagen 45 - Comportamiento de la articulación q_5

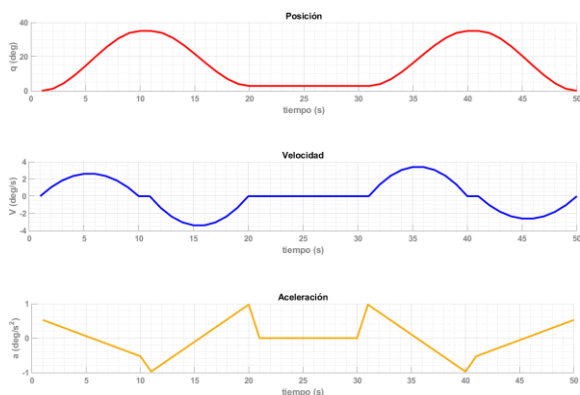


Imagen 43 - Comportamiento de la articulación q_3

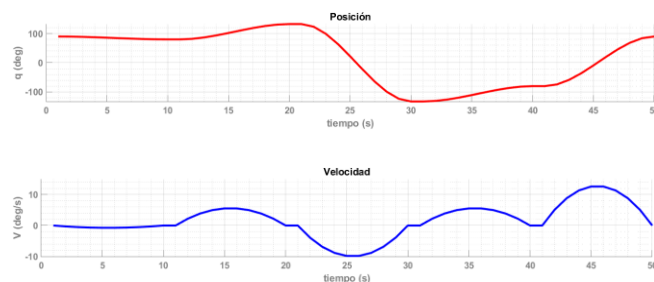


Imagen 46 - Comportamiento de la articulación q_6

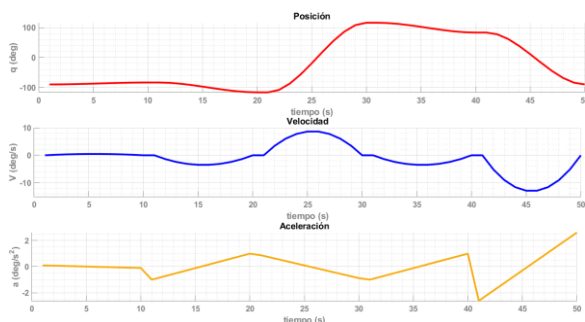


Imagen 44 - Comportamiento de la articulación q_4

Hasta este momento, se han logrado cumplir satisfactoriamente los dos primeros objetivos específicos del proyecto, alcanzando los hitos clave previstos en esta fase de desarrollo. Esto refleja un avance significativo y consolida la base sobre la cual se seguirá trabajando. Ahora, con estos logros en mano, se procede a abordar el tercer objetivo específico, que marca la siguiente etapa crucial en la evolución del proyecto. A continuación, se detallarán las acciones y estrategias que se implementaron para alcanzar este tercer objetivo. Este próximo paso es fundamental para completar el marco general del proyecto y avanzar hacia la fase final con confianza y claridad en las metas a alcanzar.

4.3. Evaluación de las pruebas piloto

Introducción a la robótica y manejo de software para la manipulación de robot

Antes de comenzar con el manejo del software, es esencial implementar una clase introductoria que explique tanto el funcionamiento de los programas como algunos conceptos básicos de robótica que serán útiles para los estudiantes. En esta sesión, se proporcionó una introducción fundamental a la robótica, cubriendo conceptos clave que ayudaron a reforzar los conocimientos previos o adquiridos durante el curso. Aunque no se profundizó en las teorías de robótica, se buscó consolidar estas bases para facilitar el uso del software destinado a la manipulación del robot. La explicación se centró en la configuración, programación y control de estos programas, con el objetivo de que los participantes puedan interactuar de manera más dinámica y eficiente con los sistemas robóticos. Esta clase introductoria está diseñada para hacer que el uso del software sea más intuitivo y accesible para los usuarios.

Para ilustrar el manejo del software, se llevó a cabo un breve ejemplo práctico utilizando la cinemática directa. Este ejercicio servirá como una demostración concreta de cómo aplicar los principios teóricos previamente discutidos en el contexto del control y la operación del Robot MT2.

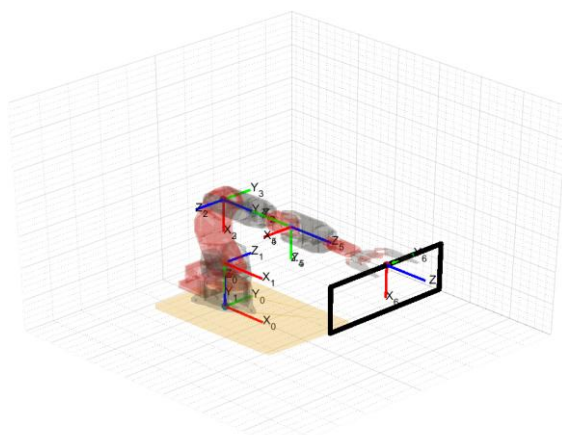


Imagen 47 - Simulación de trayectorias

Posiciones	Ángulos	MTH	q1	q2	q3	q4	q5	q6				
X	Y	Z	Roll	Pitch	Yaw	Velocidad	EfectorFinal	Pausa				
1	408	0	341	0	0	0	0	1	0			
2	408	200	341	0	0	0	10	1	0			
3	408	200	200	0	0	0	10	1	0			
4	408	-200	200	0	0	0	10	1	0			
5	408	-200	341	0	0	0	10	1	0			
6	408	0	341	0	0	0	10	1	0			

TABLA 2. Ingreso de datos de coordenadas de las trayectorias deseadas

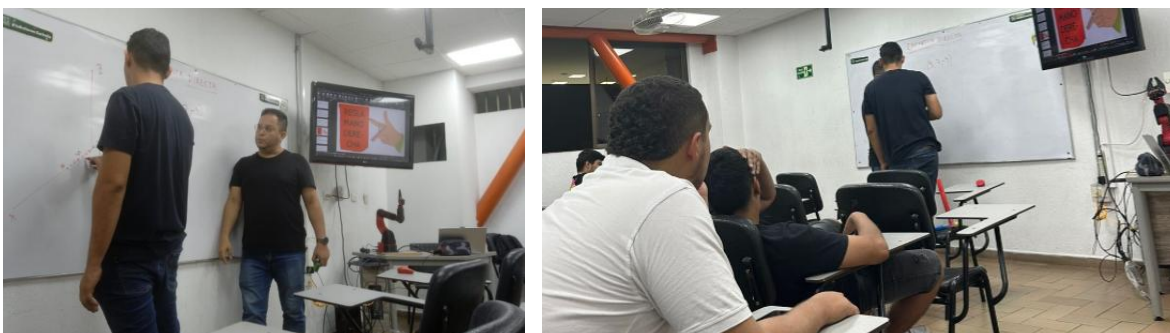


Imagen 48 - Primera capacitación de manejo de los softwares

En una segunda clase, se integran tres guías de laboratorio especializadas que se encuentran en los Anexos 1, 2, y 3 (ver Anexos 1, 2, y 3), diseñadas específicamente para la dinámica de los softwares con el robot MT2. Estas guías tienen como objetivo que los estudiantes comprendan cada uno de los conceptos de manera interactiva, permitiéndoles no solo aprender los principios teóricos, sino también entender cómo "piensa" un robot al ejecutar diferentes trayectorias. A través de estas actividades prácticas, se busca que los estudiantes adquieran una comprensión profunda y aplicable del funcionamiento del robot, facilitando su capacidad para programar y controlar las trayectorias de manera efectiva.



CORHUILA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA
Vigilada Mineducación

INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR SUJETA A INSPECCIÓN
Y VIGILANCIA POR EL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL - SNIES 2828



Imagen 49 - Segunda capacitación de manejo de los softwares

Al finalizar las capacitaciones, se solicitó a los estudiantes que completaran un formulario en línea diseñado para recopilar tanto datos cualitativos como cuantitativos sobre el proyecto. Este formulario fue desarrollado con el propósito de evaluar la efectividad de la formación, comprender mejor la experiencia de los participantes, y recoger comentarios sobre la aplicabilidad de los conceptos aprendidos. Los resultados obtenidos proporcionaron valiosa información que permitió analizar el impacto del proyecto, identificar áreas de mejora, y ajustar futuras capacitaciones para optimizar el aprendizaje y la interacción con los robots y los softwares utilizados. Estos resultados se presentan a continuación.



CORHUILA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA
Vigilada Mineducación

INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR SUJETA A INSPECCIÓN
Y VIGILANCIA POR EL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL - SNIES 2828

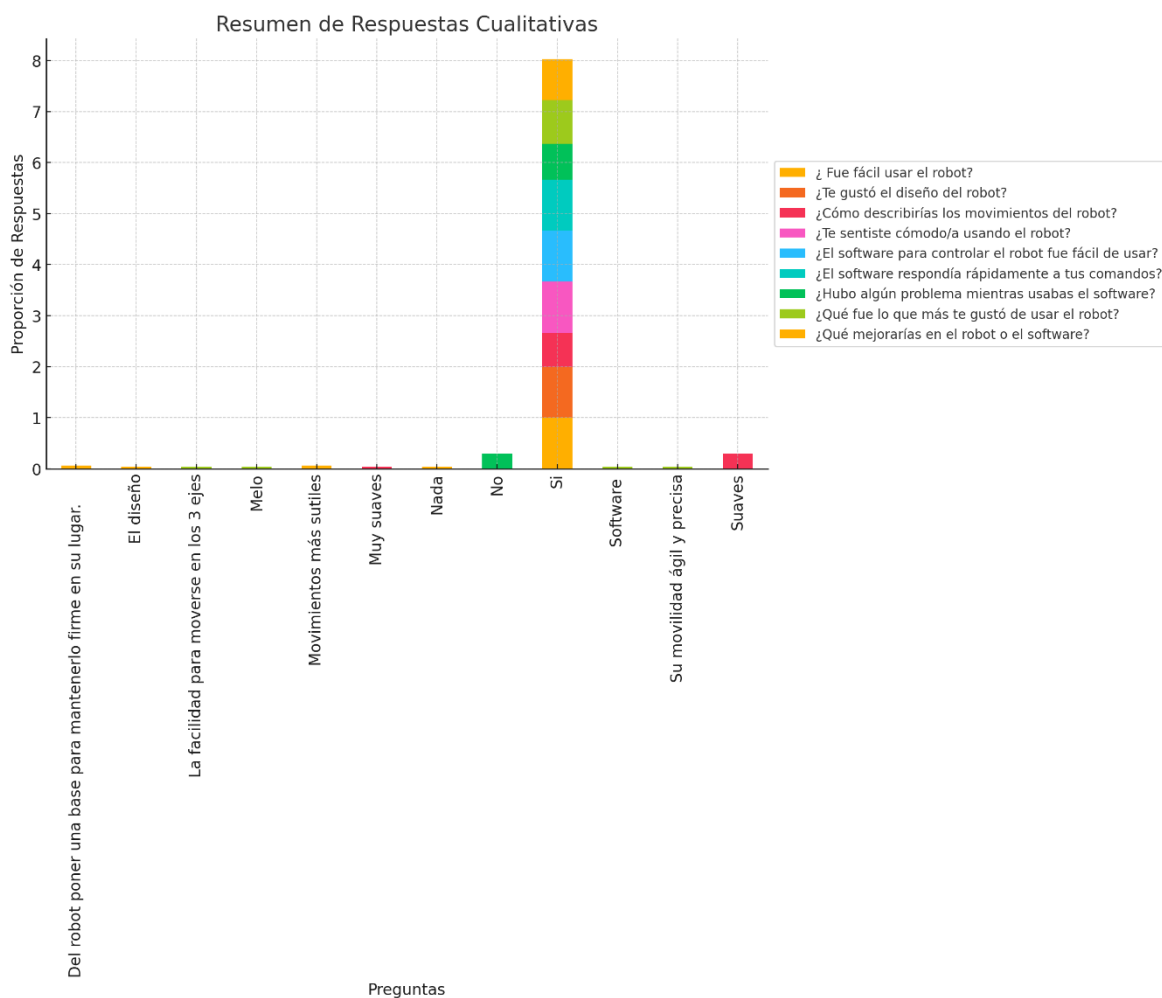


Imagen 50 - Resultados de datos cualitativos



CORHUILA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA
Vigilada Mineducación

INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR SUJETA A INSPECCIÓN
Y VIGILANCIA POR EL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL - SNIES 2828

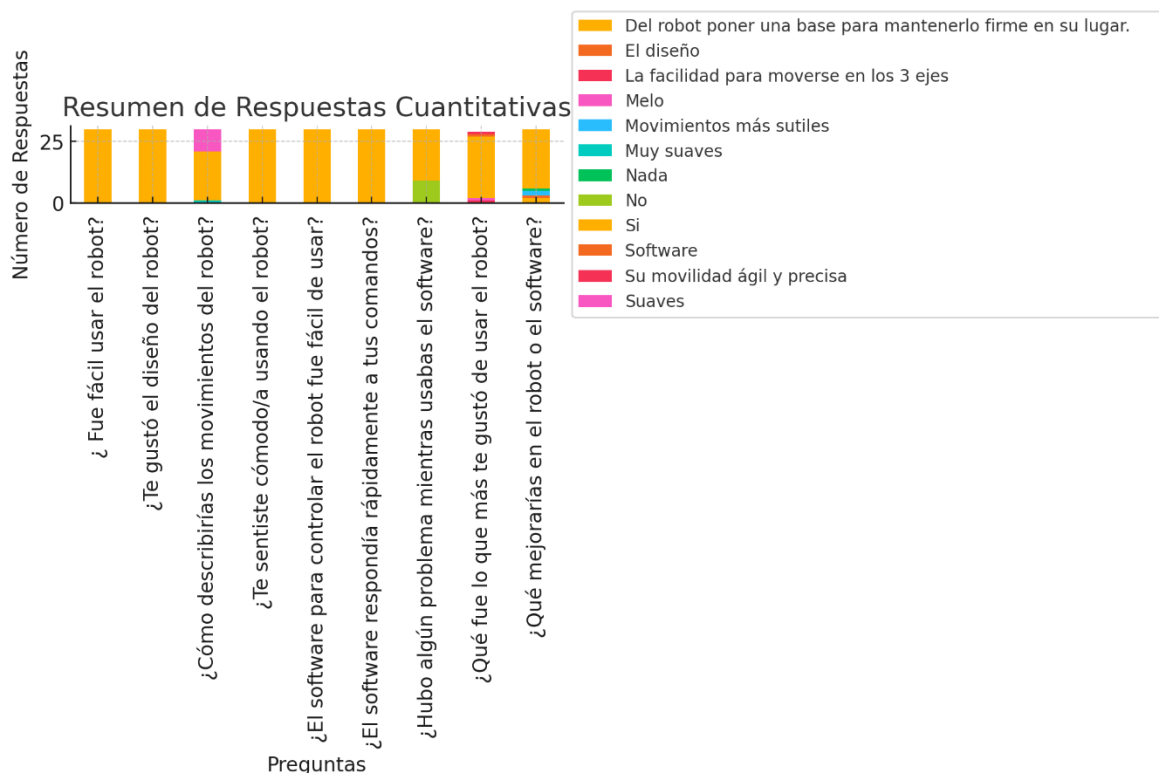


Imagen 51 - Resultados de datos cuantitativos

Hasta este punto, se han logrado completar exitosamente los cuatro objetivos específicos planteados en el proyecto. Estos objetivos han sido alcanzados de acuerdo con el plan inicial, siguiendo las metodologías establecidas, lo que ha permitido avanzar de manera significativa en la consecución de los resultados esperados. Cada uno de estos objetivos ha contribuido de manera fundamental al desarrollo integral del proyecto, asegurando que se cumplan los criterios de éxito previamente definidos. Esto marca un hito importante en el progreso del proyecto, sentando las bases para las etapas finales y la evaluación de este.



CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1. Conclusiones

El desarrollo del Robot MT2, un robot antropomórfico con 6 grados de libertad ha sido una respuesta integral a la necesidad de herramientas pedagógicas avanzadas en el campo de la robótica educativa. Este proyecto no solo se enfocó en la creación de una máquina capaz de replicar movimientos humanos, sino que también priorizó su integración como una herramienta pedagógica efectiva en diversos entornos educativos. El enfoque en la versatilidad del robot y su capacidad para simular movimientos humanos complejos ha permitido que este sea una valiosa adición a los programas académicos, brindando a estudiantes y educadores una plataforma interactiva y dinámica para explorar conceptos complejos de manera tangible.

Durante el desarrollo del proyecto, se llevaron a cabo pruebas piloto que demostraron la funcionalidad y eficacia del Robot MT2 en entornos educativos reales. Estas pruebas, realizadas en colaboración con estudiantes de la Corporación Universitaria del Huila, permitieron validar la capacidad del robot para integrarse de manera exitosa en actividades pedagógicas. Los estudiantes que participaron en las pruebas piloto mostraron un alto nivel de comprensión de los conceptos presentados, lo que evidencia la efectividad de las guías de laboratorio diseñadas. Cada cálculo de la cinemática del robot, esencial para garantizar su precisión y capacidad de movimiento, se cumplió a la perfección, lo que subraya la robustez del diseño y la calidad del trabajo realizado.

Además, las guías de laboratorio desarrolladas como parte del proyecto fueron evaluadas durante las pruebas piloto y se constató que son claras y comprensibles, facilitando a los estudiantes la realización de actividades prácticas y el entendimiento de los principios de la robótica. Esto es particularmente importante ya que asegura que el Robot MT2 no solo funcione correctamente desde un punto de vista técnico, sino que también cumpla con su propósito educativo de manera efectiva.

En cuanto a trabajos futuros, se considera vital realizar estudios empíricos adicionales para evaluar el impacto del Robot MT2 en el proceso de enseñanza y aprendizaje. Estos estudios podrían incluir la medición del progreso de los estudiantes en la comprensión de conceptos complejos antes y después de utilizar el robot como herramienta de aprendizaje. Asimismo, es fundamental explorar la adaptación del robot y su software para su uso en diferentes niveles educativos y en diversas áreas del conocimiento.



CORHUILA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA
Vigilada Mineducación

INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR SUJETA A INSPECCIÓN
Y VIGILANCIA POR EL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL - SNIES 2828

Otro aspecto importante para considerar en el trabajo futuro es la posibilidad de crear una comunidad en línea donde educadores y estudiantes puedan compartir experiencias, recursos, y mejores prácticas relacionadas con el uso del Robot MT2 en el aula. Esta comunidad podría convertirse en un recurso invaluable para la evolución continua del proyecto, permitiendo la retroalimentación constante y el intercambio de ideas que pueden contribuir a mejorar la funcionalidad y la aplicabilidad del robot en diversos contextos educativos.

Además, se debe continuar mejorando los recursos pedagógicos disponibles, como la creación de nuevas guías de actividades y materiales didácticos adaptados a diferentes edades y niveles de conocimiento.

Finalmente, la expansión del proyecto hacia otras áreas, como la educación inclusiva, podría ser otro camino para explorar. Adaptar el Robot MT2 para su uso con estudiantes con necesidades especiales podría abrir nuevas oportunidades para el aprendizaje personalizado y la integración de la tecnología robótica en entornos educativos diversos.

El Robot MT2 ha demostrado ser una herramienta pedagógica valiosa y con un enorme potencial para transformar la educación en robótica. El éxito de las pruebas piloto y la validación de cada componente del proyecto refuerzan la importancia de continuar explorando y expandiendo este enfoque. Los trabajos futuros, centrados en la evaluación continua, la adaptación a nuevos contextos, y la creación de comunidades de práctica, contribuirán a maximizar la utilidad y efectividad del Robot MT2 como un recurso educativo esencial en el siglo XXI.

5.2. Recomendaciones para trabajos futuros

El desarrollo del Robot MT2 ha abierto una amplia gama de posibilidades tanto en el ámbito educativo como en otros sectores, y existen varias direcciones prometedoras para futuros trabajos que podrían maximizar su impacto. A continuación, se detallan algunas recomendaciones claves que podrían guiar las investigaciones y desarrollos futuros.

Mejoras en la enseñanza de STEM

Una de las principales áreas de expansión para el Robot MT2 es la mejora continua de su capacidad para enseñar disciplinas STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas). Futuras investigaciones podrían centrarse en cómo hacer que el robot sea aún más interactivo y accesible para los estudiantes. Por ejemplo, el desarrollo de módulos de aprendizaje adicionales que permitan a los estudiantes explorar conceptos más avanzados de robótica, como el aprendizaje automático, la visión por computadora y la inteligencia artificial, podría ser muy beneficioso. Además, integrar el robot con otras tecnologías emergentes, como la realidad aumentada y la realidad virtual, podría ofrecer a los estudiantes una experiencia de aprendizaje aún más inmersiva y enriquecedora.





Personalización para diversos grupos de estudiantes

La personalización del Robot MT2 es otra área clave para futuros trabajos. Investigar cómo adaptar el robot para satisfacer las necesidades de diferentes grupos de estudiantes, incluidos aquellos con discapacidades físicas o cognitivas. Por ejemplo, desarrollar interfaces de usuario que sean más accesibles para estudiantes con discapacidades visuales o motrices podría hacer que el robot sea una herramienta educativa más inclusiva. Además, se podría investigar cómo personalizar las interacciones del robot para estudiantes de diferentes edades y niveles de habilidad, asegurando que sea un recurso valioso desde la educación primaria hasta la superior.

Integración en entornos de aprendizaje a distancia

Con el creciente enfoque en la educación a distancia, otro tema importante para futuras investigaciones es cómo el Robot MT2 puede ser utilizado en estos entornos. Se podrían desarrollar versiones del robot que permitan a los estudiantes interactuar de forma remota, utilizando plataformas en línea para programar y controlar el robot desde cualquier lugar. Esta capacidad no solo ampliaría el alcance del robot a estudiantes que no pueden asistir a clases presenciales, sino que también ofrecería una nueva forma de enseñanza colaborativa, donde estudiantes de diferentes lugares podrían trabajar juntos en proyectos de robótica.

Evaluación del impacto a largo plazo

La evaluación del impacto a largo plazo del uso del Robot MT2 en la educación es esencial para comprender su verdadero valor. Futuros estudios podrían centrarse en investigaciones longitudinales que sigan a los estudiantes a lo largo de su trayectoria educativa y profesional. Esto permitiría a los investigadores observar cómo la interacción con el robot influye en la elección de carrera de los estudiantes, su desempeño académico en disciplinas STEM, y su éxito en el mercado laboral. Estos estudios proporcionarían datos valiosos que podrían ser utilizados para mejorar el diseño y la implementación de robots educativos en el futuro.

Integración de sensores y aprendizaje automático

El futuro del Robot MT2 también podría incluir la integración de sensores adicionales y capacidades de aprendizaje automático, lo que permitiría al robot adaptarse y aprender de su entorno y de las interacciones con los usuarios. Por ejemplo, la adición de sensores de fuerza y tacto podría mejorar la capacidad del robot para realizar tareas delicadas o trabajar en entornos que requieren un alto grado de precisión. Además, la implementación de algoritmos de aprendizaje automático permitiría al robot mejorar su desempeño con el tiempo, aprendiendo de los errores y optimizando sus movimientos para ser más eficientes y precisos.



REFERENCIAS

Eguchi, A. (2020). Keeping students engaged in robotics creations while learning from the experience. En *Proceedings of the 11th International Conference on Robotics in Education*.

Atman Uslu, N., Martínez Ortiz, I., & Jara, C. (2022). The effects of educational robotics in STEM education: a multilevel meta-analysis. *International Journal of STEM Education*.

Xu, Z., & Ouyang, F. (2022). The effects of educational robotics in STEM education: A multilevel meta-analysis. *International Journal of STEM Education*.

Wang, J., Smith, L., & Brown, K. (2023). The effects of educational robotics in STEM education: A multilevel meta-analysis. *International Journal of STEM Education*.

Eguchi, A. (2020). Keeping students engaged in robotics creations while learning from the experience. In *Proceedings of the 11th International Conference on Robotics in Education*.

Sang, G. Y., Huang, L. Z., Li, S. H., & Guo, J. W. (2023). The effectiveness of educational robots in improving learning outcomes: A meta-analysis. *Sustainability*, 15(5), 4637.

Bellas, F., & Sousa, A. (2023). Editorial: Computational intelligence advances in educational robotics. *Frontiers in Robotics and AI*, 10.

Atman Uslu, N., Martínez Ortiz, I., & Jara, C. (2022). The effects of educational robotics in STEM education: A multilevel meta-analysis. *International Journal of STEM Education*.

McKenna, J. (2023). Why educational robotics is a critical STEM learning tool. *eSchool News*.

Ouyang, F., & Xu, W. (2024). The effects of educational robotics in STEM education: A multilevel meta-analysis. *International Journal of STEM Education*, 11(7).

Tselegkaridis, S., & Sapounidis, T. (2022). Exploring the features of educational robotics and STEM research in primary education: A systematic literature review. *Education Sciences*, 12(5), 305

Atman Uslu, N., Martínez Ortiz, I., & Jara, C. (2022). The effects of educational robotics in STEM education: A multilevel meta-analysis. *International Journal of STEM Education*.

Jung, S. E., & Won, E. S. (2023). Systematic review of research trends in robotics education for young children. *Sustainability*, 15(4), 905



Kyprianou, G., Karousou, A., Makris, N., Sarafis, I., Amanatiadis, A., & Chatzichristofis, S. A. (2023). Engaging learners in educational robotics: Uncovering students' expectations for an ideal robotic platform. *Electronics*, 12(13), 2865.

Ouyang, F., & Xu, W. (2024). The effects of educational robotics in STEM education: A multilevel meta-analysis. *International Journal of STEM Education*, 11(7).

Wang, J., Smith, L., & Brown, K. (2023). The effects of educational robotics in STEM education: A multilevel meta-analysis. *International Journal of STEM Education*.

JellyfishDotcom. (2022). "Agnes 6 DOF Robot: An anthropomorphic manipulator robot with a spherical wrist (6 DOF), simulated, programmed and controlled with Open Source tools from the Python environment."

Papadakis, S. (2020). The Use of Educational Robotics in Primary and Secondary Education: A Systematic Review. *Frontiers in Education*.

Benitti, F. B. V. (2019). Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review. *Computers & Education*.

Vollstedt, A., et al. (2020). The Role of Educational Robotics in Interactive Learning. *Journal of Educational Technology & Society*.

Zawieska, K., & Duffy, B. R. (2019). The role of robotics in sustainable development: A systematic review. *Technological Forecasting and Social Change*.

Alvarez, L., et al. (2021). Safety and Reliability in Educational Robotics. *Robotics and Autonomous Systems*.

Bers, M. U. (2020). Coding as a Playground: Programming and Computational Thinking in the Early Childhood Classroom. *Routledge*.

Sullivan, A., & Bers, M. U. (2019). Robotics in the early childhood classroom: Learning outcomes from an 8-week robotics curriculum in pre-kindergarten through second grade. *International Journal of Technology and Design Education*.

AMFG. (2024). FDM 3D Printing: Where Are We Today?.

AMFG. (2024). FDM 3D Printing: Comparing ASA, PETG, and PC Filaments.

3DSourced. (2024). Fused Deposition Modeling: Everything You Need To Know About FDM 3D Printing.

Formlabs. (2024). FDM vs. SLA vs. SLS: 3D Printing Technology Comparison.



- Carolo, L. (2024, February 15). What Is FDM 3D Printing? – Simply Explained. All3DP.
- 3DSourced. (2024). How Strong Are 3D Printed Parts? (PLA, ABS, PETG & More).
- All3DP. (2023). PLA vs ABS vs PETG: The Main Differences.
- All3DP. (2023). PETG vs PLA Filament: The Main Differences.
- Wevolver. (2023). PLA vs ABS vs PETG: A Comparison of 3D Printing Filaments.
- HVH Industrial. (2023). *History and Advancements of Servomotors in Industrial Applications*.
- MRO Electric. (2023). *Demystifying the Magic: How Servo Motors Work*.
- RealPars. (2023). *What is a Servo Motor and How it Works?*.
- Yaskawa Global. (2023). *History of Servo motors*.
- Arduino.cc. (2023). *Arduino USB Host Shield*.
- Tinkersphere. (2024). *USB Host Shield for Arduino*.
- Arduino Forum. (2023). *Reading USB data (streaming serial) from a device using an Arduino - USB Host Shield*.
- GlobalData. (2023). *Robotics in the Automotive Industry: Innovations, Patents, and Trends*.
- Jazar, R. N. (2019). *Theory of Applied Robotics: Kinematics, Dynamics, and Control*. Springer.
- Robotiq. (2023). *Kinematics: Why Robots Move Like They Do*.
- Küpper, D., Lorenz, M., Knizek, C., Kuhlmann, K., Maue, A., Lässig, R., & Buchner, T. (2019). *Advanced Robotics in the Factory of the Future*. Boston Consulting Group.
- McKinsey & Company. (2023). *Automation, robotics, and the factory of the future*.
- Subačiūtė-Žemaitienė, J., Šutinys, E., Samukaitė-Bubnienė, U., & Bučinskas, V. (2022). *Advanced Applications of Industrial Robotics: New Trends and Possibilities*. Applied Sciences, 12(1), 135.



Qian, L., Wu, J. Y., DiMaio, S. P., Navab, N., & Kazanzides, P. (2020). A review of augmented reality in robotic-assisted surgery. *IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics*, 2(1), 1-16.

Mohan, A., Wara, U. U., Shaikh, M. T. A., Rahman, R. M., & Zaidi, Z. A. (2021). Telesurgery and robotics: an improved and efficient era. *Cureus*, 13(3), e14124.

Mayo Clinic. (2021). Robot-assisted spinal surgery shows promising initial results.

Tang, L., Huang, J., Zhu, L., et al. (2019). Path tracking of a cable-driven snake robot with a two-level motion planning method. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 24(3), 935–946.

Xu, K., Simaan, N. (2019). Analytic formulation for kinematics, statics, and shape restoration of multibackbone continuum robots via elliptic integrals. *Journal of Mechanisms and Robotics*, 2(1), 13.

Garriga-Casanovas, A., Rodriguez, Y., Baena, F. (2020). Kinematics of continuum robots with constant curvature bending and extension capabilities. *Journal of Mechanisms and Robotics*, 11(1), 011010.

Bieze, T.M., Kruszewski, A., Carrez, B., et al. (2020). Design, implementation, and control of a deformable manipulator robot based on a compliant spine. *International Journal of Robotics Research*, 39(14), 1604–1619.

Kinova. (2023). *Innovative, Ultra-Light Robotic Arms for Research and Education*.

WLKATA. (2023). *WLKATA Robotics Arm: Desktop Educational Robotics Solutions*.

Trends and Research Foci of Robotics-Based STEM Education. (2022). *International Journal of STEM Education*.

García, J., Torres, A., & Ramírez, P. (2021). Use of robotic arms in STEM education: Applications and benefits. *International Journal of Engineering Education*, 37(5), 1234-1245.

MathWorks. (2022). *Derive and Apply Inverse Kinematics to Two-Link Robot Arm*.

Lestari, I. F., & Muhajir, S. N. (2022). Hydraulic robotic arms as STEM-based learning media for physics education. *Journal of Educational Research and Practice*, 12(3), 202-215.

Nguyen-Tuong, D., & Peters, J. (2021). Model learning for robot control: a survey. *Cognitive Processing*, 12(3), 319-340.



CORHUILA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA
Vigilada Mineducación

INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR SUJETA A INSPECCIÓN
Y VIGILANCIA POR EL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL - SNIES 2828

Jazar, R. N. (2022). *Theory of Applied Robotics: Kinematics, Dynamics, and Control*. Springer.

Koubâa, A., et al. (2019). Wheeled Mobile Robots: State of the Art Overview and Kinematic Comparison Among Three Omnidirectional Locomotion Strategies. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*.

RoboDK. (2023). Inverse Kinematics in Robotics: What You Need to Know.

Huang, J., Junginger, S., Liu, H., & Thurow, K. (2023). Indoor Positioning Systems of Mobile Robots: A Review. *Robotics*, 12(2), 47.

Bucinskas, V., Dziedzickis, A., Virzonis, D., & Morkvenaite-Vilkonciene, I. (2022). Deep Q-Learning in Robotics: Improvement of Accuracy and Repeatability. *Sensors*, 22(10), 3911.

Orlosky, J., Kiyokawa, K., & Takemura, H. (2018). Teleoperation: Advances in Technologies, Ethics, and Applications. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 48(5), 459-469.

Go Roboted. (2023). Types Of Controllers In Robotics: Discover The Secrets.

Brau-Avila, A., Acero, R., Santolaria, J., Valenzuela-Galvan, M., & Icasio-Hernández, O. (2019). Kinematic parameter identification procedure of an articulated arm coordinate measuring machine based on a metrology platform. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 104(1-4), 1027-1040.

Faria, C., Vilaça, J. L., Monteiro, S., Erlhagen, W., & Bicho, E. (2019). Automatic Denavit-Hartenberg parameter identification for serial manipulators. En *IECON 2019 - 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society* (pp. 610-617).



CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA - CORHUILA
"Diseño y prestación de servicios de docencia, investigación y extensión de programas de pregrado, aplicando todos los requisitos de las normas ISO implementadas en sus sedes Neiva y Pitalito"



ANEXOS 1

GUÍA #1 – GENERACIÓN DE TRAYECTORIAS CINEMÁTICA DIRECTA CON ROBOT MT2 DE 6 GDL	
Fecha:	Asignatura:
Profesor(a):	
Estudiante(s):	

OBJETIVOS
Aplicar la cinemática directa para posicionar el robot en configuraciones específicas: Los estudiantes aprenderán a utilizar el software enfocado en la cinemática directa para posicionar el robot conforme a imágenes de referencia. Mediante la manipulación de los ángulos de las articulaciones, colocarán el efector final del robot en la posición exacta mostrada en las imágenes proporcionadas. Este ejercicio reforzará su comprensión de cómo las configuraciones articulares afectan la ubicación y orientación del efector final en el espacio tridimensional. Ejecutar tareas de manipulación mediante el control de las articulaciones del robot: En la segunda actividad, los estudiantes aplicarán sus conocimientos de cinemática directa para recoger un objeto y reubicarlo en otro punto especificado. Controlarán de forma precisa los ángulos de cada articulación para guiar al robot a través de este proceso de manipulación, comprendiendo cómo ajustar estos parámetros para realizar tareas prácticas y complejas. Desarrollar habilidades en la programación y control de robots para tareas específicas: A lo largo de las actividades, los estudiantes desarrollarán habilidades esenciales en la programación y control de robots, enfocándose en cómo las variaciones en los ángulos de las articulaciones afectan el movimiento y la posición del efector final. Este objetivo se centra en capacitar a los estudiantes para que puedan planificar y ejecutar tareas con precisión, utilizando principios de la cinemática directa para resolver problemas de manipulación en aplicaciones reales.

INTRODUCCIÓN
El software especializado en el control de un robot con múltiples grados de libertad, que permite el movimiento de sus articulaciones en un rango de -90° a 90°, proporciona a los estudiantes una plataforma interactiva y práctica para la manipulación precisa del robot mediante cinemática directa. Los estudiantes pueden ajustar los ángulos de cada articulación para experimentar cómo estos movimientos afectan la posición y orientación del efector final del robot en un espacio tridimensional. A través de una interfaz intuitiva y responsiva, el software calcula y muestra en tiempo real la posición y orientación resultantes del efector final en función de los ángulos configurados, facilitando la comprensión de cómo la configuración de las articulaciones se traduce en movimientos precisos. Esta herramienta permite tanto la operación en un entorno virtual simulado como en un entorno físico real, ofreciendo una experiencia completa que integra teoría y práctica. Además, el software posibilita la planificación de trayectorias y la ejecución de tareas, permitiendo a los estudiantes programar y simular trayectorias complejas, evaluando cómo cada ajuste angular contribuye al desempeño del robot en tiempo real. Esta capacidad de control y simulación es esencial para la planificación y la ejecución eficiente de movimientos, proporcionando una valiosa experiencia práctica en el ámbito de la robótica.

MATERIALES
- ROBOT MT2 - SOFTWARE DE TRAYECTORIAS MT2 - GRANOS (arroz, frijoles, azúcar, café, etc) (Prohibido líquidos) - 2 VASOS DE PLÁSTICO
PROCEDIMIENTO
Paso #1 Conectar cable de datos tipo B del Robot MT2 a la computadora Conectar fuente de alimentación al Robot MT2 Paso #2 Ejecutar software y dar clic en conectar El botón "Conectar" debe de estar en color verde indicando que ya se ha realizado la conexión Actividad 1 Utiliza el software de control de robot: Abre el software especializado que permite controlar el robot de 6 grados de libertad, ajustando cada articulación dentro del rango de -90° a 90°. Configura las articulaciones: Ajusta los ángulos de las articulaciones del robot paso a paso mediante la cinemática directa para posicionar el efector final en la ubicación deseada sobre el vaso que contiene los granos seleccionados. Vierte los granos: Una vez posicionado correctamente, programa el robot para que vierta los granos desde el vaso seleccionado al vaso vacío. Simula y verifica: Utiliza la capacidad del software para simular el movimiento del robot y verificar que la tarea se pueda realizar correctamente tanto en el entorno virtual como en el físico. Optimiza y ajusta: Ajusta los ángulos de las articulaciones según sea necesario para optimizar el vertido de los granos y asegurar una ejecución precisa y eficiente de la tarea.

ANÁLISIS Y RESULTADOS																																																																																										
Debes listar cada una de las articulaciones y anotar visualmente su posición, indicando los ángulos específicos de orientación para Roll (inclinación lateral), Pitch (inclinación hacia adelante/atrás) y Yaw (giro horizontal) de cada una.																																																																																										
<table border="1"><thead><tr><th>q₁</th><th>q₂</th><th>q₃</th><th>q₄</th><th>q₅</th><th>q₆</th><th>X</th><th>Y</th><th>Z</th></tr></thead><tbody><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></tbody></table>	q ₁	q ₂	q ₃	q ₄	q ₅	q ₆	X	Y	Z																																																																																	
q ₁	q ₂	q ₃	q ₄	q ₅	q ₆	X	Y	Z																																																																																		
Escoge las gráficas (posición, velocidad, aceleración), de una articulación, dibuja y realiza un análisis del comportamiento de dicha articulación.																																																																																										
Posición Velocidad Aceleración																																																																																										
Análisis:																																																																																										

PREGUNTAS DE DISCUSIÓN
¿Cómo ayuda la cinemática directa a los estudiantes a comprender el impacto de cada ángulo articular en la posición final del efector? ¿Qué ventajas educativas tiene la cinemática directa sobre la cinemática inversa en la programación y control de robots?

CONCLUSIONES
Realiza mínimo 3 conclusiones

REFERENCIAS
- Libro Fundamentos de Robótica Antonio Barrientos - Robótica: Control de Robots Manipuladores - Fernando Reyes Cortes

ANEXOS 2

GUÍA #2 – GENERACIÓN DE TRAYECTORIAS CON ROBOT MT2 DE 6 GDL

Fecha:	Asignatura:
Profesor(a):	
Estudiante(s):	

OBJETIVOS

- **Observar y analizar la cinemática de un robot en un espacio tridimensional**
El estudiante será capaz de identificar y analizar el comportamiento de un robot al especificar coordenadas en un espacio de trabajo tridimensional. Esto incluye la comprensión de cómo se posicionan y mueven los distintos componentes del robot dentro de este entorno.
- **Entender la cinemática inversa de un robot**
El estudiante comprenderá que, además de la posición en el espacio, es crucial especificar la orientación de la muñeca del robot. Este conocimiento es esencial para tareas de manipulación precisas y control efectivo del robot.
- **Desarrollar una comprensión integral del funcionamiento paso a paso de un robot**
Al concluir el laboratorio, el estudiante habrá adquirido una comprensión detallada y paso a paso de un robot. Esta comprensión se abarca desde los principios básicos de su movimiento hasta los aspectos complejos de su programación y control en diversas aplicaciones.

INTRODUCCIÓN

La guía que acompaña al software MT2, especializado en el control en tiempo real del Robot MT2 de 6 grados de libertad, ofrece a los estudiantes una plataforma interactiva para la manipulación directa del robot. A través de coordenadas espaciales X, Y, Z , los estudiantes pueden establecer el entorno de trabajo del robot de manera precisa. Este software permite la introducción secuencial de coordenadas, su grabación y la simulación del movimiento del robot conforme a las coordenadas indicadas, tanto en el entorno virtual como en el físico. La capacidad de simular el comportamiento del robot en tiempo real es esencial para la planificación y ejecución de rutinas, proporcionar a los estudiantes una valiosa experiencia de aprendizaje. El software MT2 ofrece a los estudiantes un entorno de software MT2, maximizando sus funcionalidades para una educación efectiva y práctica en robótica.

MATERIALES

- ROBOT MT2
- SOFTWARE DE TRAYECTORIAS MT2
- GRANOS (arroz, frijoles, azúcar, café, etc) (Prohibido líquidos)
- 2 VASOS DE PLASTICO

PROCEDIMIENTO

Paso #1

Conectar cable de datos tipo B del Robot MT2 a la computadora

Conectar fuente de alimentación al Robot MT2



Paso #2

Ejecutar software y dar clic en conectar

El botón "Conectar" debe de estar en color verde indicando que ya se ha realizado la conexión



Paso #3

- Llena un vaso de plástico con el grano seleccionado.
- Ingrese las coordenadas para posicionar el efector final del robot sobre el vaso con el grano. Ajuste la velocidad, el tiempo de pausa en cada coordenada y active el efector final. Recuerde guardar cada coordenada después de su ingreso.
- Dirija con suavidad el efector final del robot hacia el vaso vacío.
- Utilizando los ángulos de Roll, Pitch y Yaw, oriente el efector final para transferir el contenido de un vaso a otro.
- Una vez que el vaso esté vacío, guíelo de regreso a su posición inicial y asegúrese de posicionar el brazo en su ubicación inicial.

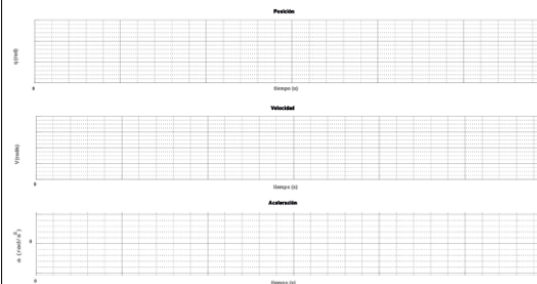


ANÁLISIS Y RESULTADOS

- Escribe cada una de las coordenadas de la trayectoria

[illegible]

- Escoge las gráficas (posición, velocidad, aceleración), de una articulación, dibuja y realiza un análisis del comportamiento de dicha articulación.



Análisis:

PREGUNTAS DE DISCUSIÓN

1. ¿Cómo afecta la especificación precisa de coordenadas a la eficiencia del movimiento del robot en un espacio tridimensional?
2. En un escenario práctico, ¿qué tipo de errores podrían surgir al especificar coordenadas para un robot y cómo podrías corregirlos?

CONCLUSIONES

- Realiza mínimo 3 conclusiones

REFERENCIAS

- Libro Fundamentos de Robótica Antonio Barrientos
- Robótica: Control de Robots Manipuladores – Fernando Reyes Cortes

ANEXO 3

GUÍA #3 - CREACIÓN DE FIGURAS EN ESPACIO DE TRABAJO CON ROBOT MT2 DE 6 GDL

Fecha:	Asignatura:
Profesor(a):	
Estudiante(s):	

OBJETIVOS

- **Desarrollar la capacidad para generar y programar trayectorias en un robot:** El estudiante aprenderá a diseñar y programar trayectorias específicas para el robot, siguiendo las figuras predefinidas en el procedimiento del laboratorio. Esto incluye la habilidad de determinar y configurar con precisión las posiciones y orientaciones necesarias para que el robot siga una trayectoria específica de manera efectiva.
- **Fomentar la creatividad y habilidad en la creación de figuras personalizadas:** El estudiante utilizará sus conocimientos para diseñar y programar una figura libre, explorando su capacidad de manipulación del robot en un entorno tridimensional. Este ejercicio permitirá a los estudiantes aplicar conceptos de cinemática para crear trayectorias únicas, evaluando su precisión y control sobre el robot.
- **Analizar y comprender el comportamiento dinámico del robot a través de la gráfica de posición, velocidad y aceleración:** Al analizar y analizar datos sobre la posición, la velocidad y la aceleración de las trayectorias generadas, el estudiante adquirirá una comprensión profunda del comportamiento dinámico del robot. Esto incluye la capacidad de interpretar gráficas de movimiento y realizar un análisis crítico sobre cómo estos parámetros influyen en el rendimiento y la eficiencia del robot en la ejecución de las tareas programadas.

INTRODUCCIÓN

La guía que acompaña al software MT2, especializado en el control en tiempo real del Robot MT2 de 6 grados de libertad, ofrece a los estudiantes una plataforma interactiva para la manipulación directa del robot. A través de coordenadas espaciales X, Y, Z , donde estudiantes pueden establecer el entorno del trabajo del robot de manera precisa. Este software permite la introducción secuencial de coordenadas, su grabación y la simulación del movimiento del robot conforme a las coordenadas indicadas, tanto en el entorno virtual como en el físico. La capacidad de simular el comportamiento del robot en tiempo real es esencial para la planificación y ejecución de rutinas, proporcionando a los estudiantes una valiosa experiencia práctica. El software MT2, desarrollado en el lenguaje de programación de alto nivel del software MT2, maximizando sus funcionalidades para una educación efectiva y práctica en robótica.

MATERIALES

- ROBOT MT2
- SOFTWARE DE TRAYECTORIAS MT2
- Software MATLAB

PROCEDIMIENTO

Paso #1

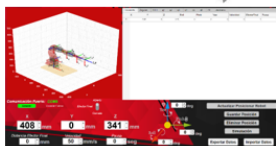
Conectar cable de datos tipo B del Robot MT2 a la computadora

Conectar fuente de alimentación al Robot MT2



Paso #2

Ejecutar software y dar clic en conectar

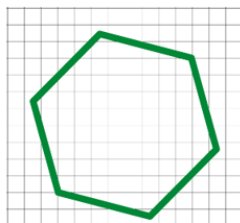
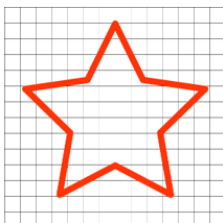


El botón "Conectar" debe de estar en color verde indicando que ya se ha realizado la conexión

Actividad 1

- Una vez entendido las instrucciones de uso del robot y del software por parte del docente, realizar las siguientes figuras con el robot MT2, teniendo en cuenta la distancia que desean mantener.

Sugerencia: Las figuras están sobre cuadrículas, las cuales se pueden utilizar marcando la posición de cada punto, facilitando su ingreso en el software. Recuerda que las medidas son en mm.



Actividad 2

Dibuja una figura libre en el plano que prefieras y luego selecciona las gráficas de Posición, Velocidad y Aceleración de la articulación q6. Registra los puntos utilizados para tu figura en la tabla de Análisis de Datos.

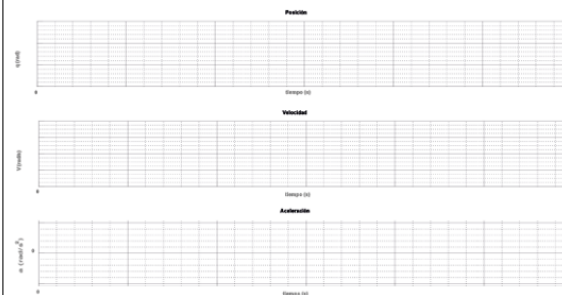


ANÁLISIS Y RESULTADOS

- Escribe cada una de las coordenadas de la trayectoria

[illegible]

- Escoge las gráficas (posición, velocidad, aceleración), de una articulación, dibuja y realiza un análisis del comportamiento de dicha articulación.



ANÁLISIS:

PREGUNTAS DE DISCUSIÓN

1. ¿Experimentaron alguna discrepancia entre los datos ingresados y los resultados observados en la simulación o durante la ejecución práctica?
2. ¿Por qué eligieron ese plano específico para dibujar la figura y qué ventajas presenta en relación con la tarea que debe realizar el robot?



CORHUILA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA
Vigilada Mineducación

INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR SUJETA A INSPECCIÓN
Y VIGILANCIA POR EL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL - SNIES 2828

CONCLUSIONES

- Realiza mínimo 3 conclusiones

REFERENCIAS

- Libro Fundamentos de Robótica Antonio Barrientos
- Robótica: Control de Robots Manipuladores - Fernando Reyes Cortes

