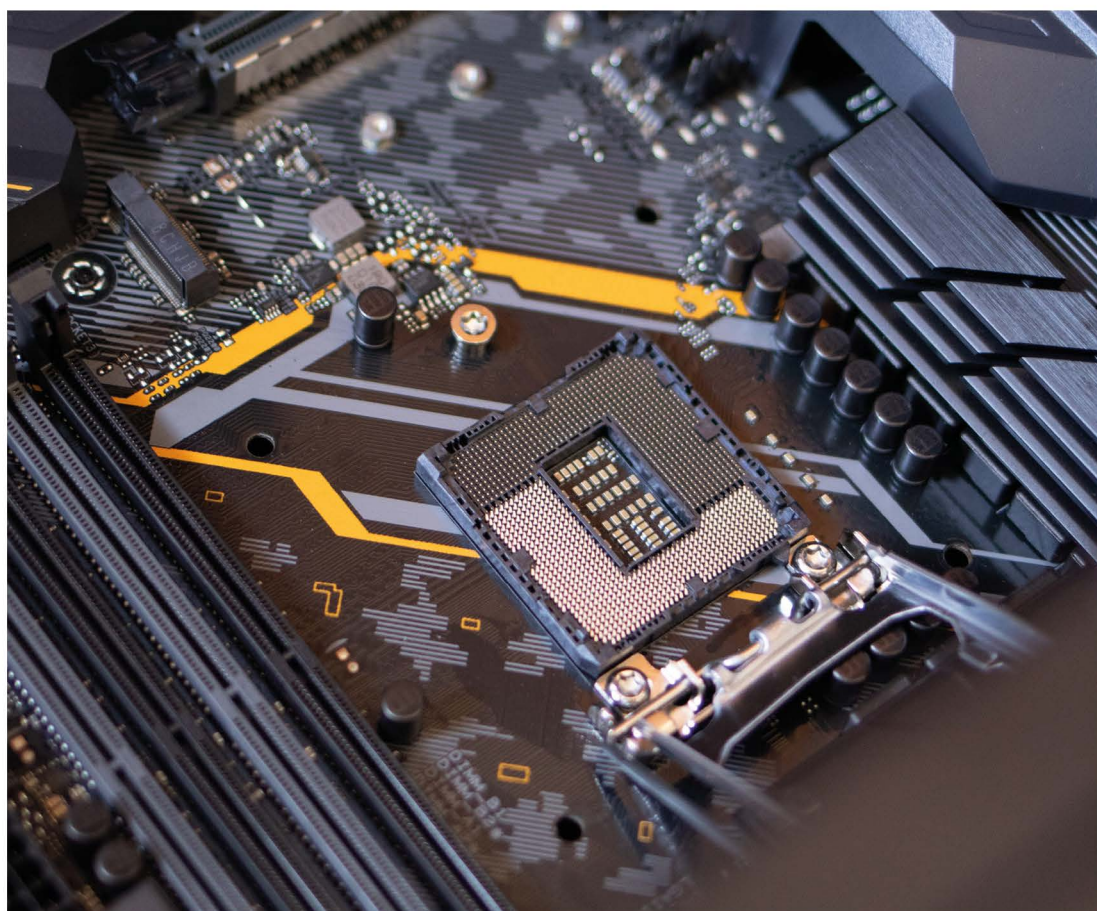


GUÍA PARA EL PROCESO DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA DE ROBÓTICA PRIMERA PARTE



COLECCIÓN MATERIAL DOCENTE INGENIERÍAS



Saúl Eduardo Ruiz Sarzosa.
Docente del programa de
Ingeniería Mecatrónica de
Unicomfauca en la ciudad
de Popayán. Ingeniero en
Automática Industrial y Magister
en Automática Industrial de
la Universidad del Cauca.



Clara Lucía Burbano Gonzalez.
Ingeniera de Sistemas y
Telemática, Magister en
Educación de la Universidad
Santiago de Cali y Doctora en
Educación de la Universidad
San Buenaventura Sede Cali.

GUÍA PARA EL PROCESO DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA DE ROBÓTICA – PRIMERA PARTE

Saúl Eduardo Ruiz Sarzosa
Clara Lucia Burbano González



Catalogación en la publicación – Biblioteca Nacional de Colombia

Ruiz Sarzosa, Saúl Eduardo. Burbano González, Clara Lucia.

Guía para el proceso de aprendizaje de la asignatura de robótica – primera parte / Saúl Eduardo Ruiz Sarzosa y Clara Lucia Burbano González. ----1ª ed.--- Popayán: Sello editorial Unicomfacaucá, 2022.

p. 68

Contiene datos de los autores.

ISBN (Digital): 978-628-95397-0-7

Guía para el proceso de aprendizaje de la asignatura de robótica – primera parte

© Corporación Universitaria Comfacaucá – Unicomfacaucá

© Autores: Saúl Eduardo Ruiz Sarzosa, Clara Lucia Burbano González

Primera edición en español

Sello Editorial Unicomfacaucá, septiembre de 2022

ISBN Digital: 978-628-95397-0-7

Diseño Editorial: Sello Editorial Unicomfacaucá – Corporación

Universitaria Comfacaucá - Unicomfacaucá

Corrección de Estilo: La Peregrina Estudio – larailustracion@gmail.com

Diagramación: La Peregrina Estudio – larailustracion@gmail.com

Editor General de Publicaciones: Julio Eduardo Mejía Manzano

Sello Editorial Unicomfacaucá

Calle 4ta # 8-30 Centro Histórico

Popayán, Colombia

Teléfono: 602 8386000 Ext. 118

www.unicomfacaucá.edu.co/investigacion/sello-editorial/



Licencia Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5 CO)

Contenido

Resumen	9
Introducción	10
Fundamentación teórica	11
Fundamentación metodológica	13
· Estrategia Metodológica	13
Fundamentación curricular y didáctica	21
Capítulo 1: Introducción al modelado de robots industriales tipo serie: transformaciones homogéneas	24
· Representación de un punto en coordenadas homogéneas	25
· Ejercicio de evaluación 1.a. Transformación de coordenadas	27
· Ejercicio práctico 1.a. Transformación de coordenadas	30
· Ejercicio de evaluación 1.b. Transformación de coordenadas con ángulos determinados	31
· Ejercicio práctico 1.b. Transformación de coordenadas	31
· Transformación de coordenadas a partir de la rotación de dos ejes	31
· Ejercicio de evaluación 1.c. Transformación de coordenadas con rotación de dos ejes	32
· Ejercicio práctico 1.c. Transformación de coordenadas con rotación de dos ejes	34
· Transformación de coordenadas a partir de la rotación de tres ejes	34
· Ejercicio de evaluación 1.d. Transformación de coordenadas con rotación de tres ejes	35
· Ejercicio práctico 1.d. Transformación de coordenadas con rotación de tres ejes	36
· Cambio de posición a partir de un nuevo vector de coordenadas	36
· Ejercicio de evaluación 1.e. Transformación de coordenadas en r_{xyz} a partir de un vector de coordenadas r_{uvw}	36
· Ejercicio práctico 1.e. Transformación de coordenadas en r_{xyz} a partir de un vector de coordenadas r_{uvw}	37
· Componentes y características básicas de los robots industriales	37
· Brazo mecánico	37
· Grado de libertad	39
· Actuadores	39
· Neumáticos	40
· Controladores	41
· Referencia o consigna	42
· Efecto final, herramienta u órgano terminal	42
· Sensores	42

· Morfología de los robots industriales tipo serie	42
· Robot portador esférico	43
· Robot tipo tórico	43
· Robot cilíndrico	43
· Robot cartesiano	43
· Robot antropomórfico	43
· Robot tipo SCARA	44
· Espacio articular	44
· Espacio operacional	45
Capítulo 2: El modelo geométrico	46
· Cálculo de los parámetros geométricos de un robot tipo serie	47
· Ejercicio de evaluación 2.a. Cálculo de los parámetros geométricos de robots tipo serie	47
· Ejercicio práctico 2.a. Tabla de parámetros geométricos de robots tipo serie	53
· Modelo geométrico directo	53
· Ejercicio de evaluación 2b. Cálculo del modelo geométrico directo	53
· Ejercicio práctico 2.b. El modelo geométrico directo de robots tipo serie	56
Capítulo 3: El modelo cinemático	58
· El modelo cinemático directo	58
· Ejercicio de evaluación 3. Cálculo del modelo cinemático directo	59
· Modelo cinemático inverso	61
· Ejercicio práctico 3. Cálculo del modelo cinemático directo	62
Glosario	63
Referencias	64

RESUMEN

El desarrollo de esta Guía de aprendizaje comprende la integración de recursos de información y comunicación (RIC), en relación con procesos de mediación pedagógica y tecnológica (MPT), para el aprendizaje de la Robótica y la Estructuración de un Objeto virtual (OV) denominado 'RobotsLearning'. En este sentido, la estructura del recurso didáctico está definida de la siguiente manera: 1) elementos teóricos, que brindan la información necesaria para dar inicio a la construcción de bases sólidas de aprendizaje en el área de Robótica; 2) unir la experiencia práctica, mediante modelar geométrica y cinemáticamente robots industriales tipo serie; 3) la evaluación, realizada en procesos sincrónicos como ejercicios en clase y asincrónicos como el OV RobotsLearning, evidenciando los procesos de retroalimentación en el aprendizaje específico; y 4) los componentes de trabajo colaborativo, como talleres prácticos.

Adaptar un entorno computacional como el OV RobotsLearning, con características pedagógicas establecidas por el currículo, a los elementos metodológicos diseñados por el docente guía de la asignatura que generalmente se dan de forma tradicional o con herramientas muy básicas, implica que el docente genere una transición a la innovación apoyado en la orientación del proceso de aprendizaje, integrando procesos de motivación para el estudiante y generando confianza en el uso de tecnologías digitales educativas.

Generar una interacción entre una asignatura específica como la Robótica con una asignatura de corte electivo general como es la Gestión del conocimiento en contextos Globales y Locales, permite que diferentes estudiantes integren perspectivas de saberes relacionados con la temática de Robótica y cuenten con habilidades cognitivas, comunicativas y tecnológicas requeridas para desarrollar un aprendizaje inteligente en relación con tendencias tecnológicas.

Palabras clave: mediación tecnológica (MT); objeto virtual (OV); alfabetización digital (AD); transformaciones homogéneas; modelo geométrico; modelo cinemático; robot serie.

INTRODUCCIÓN

La presente guía se ha desarrollado para estudiantes de la Facultad de Ingeniería y describe el proceso de aprendizaje mediado por el uso de tecnologías emergentes como el desarrollo de Objetos virtuales (OV). Con el objetivo de ejemplificar conocimientos, prácticas, didácticas y métodos utilizados por autores como: Khalil & Dombre (2002), Siciliano & Khatib (2008) y Vivas (2010) en relación con el modelado de recursos como “Robots industriales” de tipo serie.

En el proceso de formación de Ingenieros Mecatrónicos existe la asignatura de “Robótica”, del programa de Ingeniería Mecatrónica en la Corporación Universitaria ComfacaUCA -UNICOMFACAUCA, la cual es impartida en dos semestres y se estructura en dos componentes. La primera parte comprende el ‘modelado geométrico y cinemático de un robot tipo serie’ y la segunda parte se fundamenta en el principio del ‘modelo dinámico’, necesario para la construcción del control y su simulación. La temática se ha pensado como un proceso de mediación y alfabetización en la asignatura de Electiva General II Gestión del conocimiento en contextos globales y locales, la cual evidencia las ‘tendencias tecnológicas’ relacionadas con las necesidades de la ‘sociedad de la información’, adaptadas a procesos de globalización, como un componente de formación para profesionales de la ingeniería.

La guía está estructurada en dos componentes, primero la necesidad de conceptos en relación con la práctica, donde se estudian mediáticas desde la integración de modelos como: geométrico y cinemático de un “Robot tipo serie de cuatro grados de libertad”, y pretende que el estudiante pueda analizar y comprender desde una forma lúdica ejercicios y dinámicas de aprendizaje relacionados con procesos de: aprendizaje inteligente, colaborativo y cooperativo, para reforzar la praxis del concepto de robot. Segundo, se espera que mediante la intervención con recursos de información y comunicación (RIC) como el desarrollo de una didáctica de un objeto virtual (OV RobotsLearning), mediado por una plataforma LMS, para el desarrollo de actividades de aprendizaje que refieren ejemplos y ejercicios propuestos en tiempos sincrónicos de clase y asincrónicos fuera del aula de clase, el estudiante pueda incentivar y organizar sus habilidades de pensamiento crítico reflexivo como: interpretación, inferencia, evaluación, análisis y explicación para aprehender y comprender los conceptos teórico-prácticos de la asignatura de Robótica.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Las tecnologías del aprendizaje y comunicación juegan un rol determinante en la formación de profesionales de Ingeniería Mecatrónica. Son esenciales para lograr la transferencia del conocimiento tecnológico en la sociedad, y permiten el desarrollo de habilidades mediante el análisis, comprensión y reflexión para abordar el desarrollo de competencias en un entorno de pedagogías emergentes. Todo esto cumpliendo con los retos enmarcados en procesos de investigación aplicada al conocimiento en la temática de Robótica. En este sentido, el OV RobotsLearning se centró en el proceso de formación de los estudiantes, sus ventajas son expuestas por autores como (Feria y Zúñiga, 2016) y consisten en lograr un aprendizaje situado, donde el estudiante se identifica por la toma de decisiones, y puede seleccionar lo que quiere ver y aprender. Según Molano y compañía (2018), estos factores favorecen la participación directa de los procesos de retroalimentación, descubrimiento y aprovechamiento de los contenidos para aprender nuevas temáticas. Además, estos recursos resultan ser llamativos para los estudiantes y fortalecen la motivación, lo que los convierte en elementos para el éxito educativo.

Durante el proceso, diseño e implementación de la guía de aprendizaje se identificaron cuatro factores teniendo en cuenta los estados de trasmisión de conocimiento: 1) sociedad del conocimiento, 2) sociedad de la información, 3) sociedad red y 4) sociedad del aprendizaje. El proceso transformador de los contextos, sociales, culturales y económicos hace pertinente observar cómo las primeras tres sociedades han permeado el proceso de transmisión y transformación de la información, desde emisor hasta receptor para llegar a una sociedad del aprendizaje.

De esta forma los procesos educativos deben ser sistémicos, reflexivos, críticos, en busca de nuevos conocimientos o soluciones a inconvenientes y necesidades de la sociedad. Esto permite desarrollar procesos de pensamiento en las personas al igual que promover la comprensión básica del mundo (Zubiría, 2001), con la facilidad de procesar y de difundir información.

Es necesario ***formar para construir conocimiento y responder a los retos de la sociedad***. Se trata de comprender y reconocer que el recurso más valioso de las organizaciones es el conocimiento. Esta apropiación del conocimiento y la generación del mismo no será posible si no se desarrolla la investigación; las organizaciones y sociedades deben adoptar políticas y estrategias que permitan avanzar en procesos investigativos de desarrollo; se trata de la creación de un nuevo contexto científico - tecnológico que genere. [...]

Principalmente en esta sociedad actual, los procesos educativos no sólo deben limitarse a transmitir el conocimiento a base del “estar informado”, es decir considerar todo lo que conlleva la transmisión de información. Estos procesos educativos deben modificar su accionar, hacia un cambio de mentalidad y actitud frente a las nuevas circunstancias que se vayan presentando, igualmente contribuir de manera innovadora a cualquier escenario.

La educación, en todos sus ámbitos y contextos está en el desafío de apoyar la formación de individuos competentes, que sepan integrar las tres dimensiones del saber: 1. Saber conocer: que se refiere a manejar procesos cognoscitivos, integrar y sistematizar conocimientos, teorías, constructos y de ese modo poder administrar

la información. Es importante que, en esta dimensión, se promueva el estudio y generación de teorías en conjunción con la investigación 2. Saber hacer: que significa enfrentarse y manejar procesos, métodos y procedimientos, de tal forma que se manifiesten en estrategias de aplicación al contexto y desarrollo de la sociedad, así mismo debe ser capaz de instruir y formalizar la dimensión de la competencia en este campo de aplicación y 3. Saber ser: dimensión asociada a la formación en actitudes y valores; actitudes en el sentido de generar disposiciones de ánimo proactivas, no reactivas, que permitan crear en las personas visiones transformadoras de bienestar y calidad de vida para el ser humano; valores en el sentido de propiciar principios espirituales y de ética que promuevan el accionar de servicio y de amor del ser humano hacia Dios, la sociedad y su entorno (Terrazas y Silva, 2013, pp. 156-159).

Sin duda alguna, el sujeto debe pasar por una formación integral, que incluya el componente ético y humano, así como el intelectual. Por ello habilidades como la interpretación son de gran relevancia, porque de esto depende la capacidad de leer críticamente, reconocer la realidad y el contexto que lo rodea.

En consecuencia, una mala lectura induce a generar errores de apreciación, cambiando el sentido de la actuación, lo que implica equivocarnos en cada toma de decisiones. Lo anterior plantea una serie de atributos que

apuntan a caracterizar un sistema educacional transformador y significativo, que pretenda un campo de acción más beneficioso para el hombre, en el sentido de actuar en el contexto mundano, con más sabiduría. Todo este planteamiento, para continuar con una perspectiva integral, no puede prescindir de la unidad y diversidad, en el sentido de que los seres humanos deben ser capaces de actuar conjuntamente y además respetar también las múltiples manifestaciones de pensamiento y capacidad que se dan en cada uno de nosotros (Terrazas y Silva, 2013, p. 162).

La robótica cumple un papel trascendental en el mundo contemporáneo. Desde sus inicios, su principal objetivo ha sido servir al ser humano. Hoy en día, esto se manifiesta mediante la realización de trabajos de alto riesgo o actividades repetitivas que afectan la salud de los trabajadores en la industria y en general. En la actualidad, la robótica cumple un papel supremamente importante en diversas áreas del conocimiento, en infinidad de aplicaciones que van desde la robótica médica, aeroespacial, entretenimiento, educación, entre otras. Sin embargo, es la robótica industrial la que ha impulsado desde sus inicios toda la gama de aplicaciones que existen actualmente. Por lo tanto, es de vital importancia para el proceso de formación del Ingeniero en Mecatrónica de UNICOMFACAUCA estudiar y apropiarse las bases de la robótica industrial, los modelos y procedimientos que llevan a la simulación y posterior implementación de robots tipo serie.

FUNDAMENTACIÓN METODOLÓGICA

La perspectiva epistemológica del diseño metodológico de la guía se orienta hacia la formación de las habilidades cognitivas, comunicativas y tecnológicas en los ingenieros mecatrónicos de la Corporación por medio del desarrollo del OV RobotsLearning. Está fundamentada desde las mediaciones tecnológicas en relación con la aplicación del B-Learning que se asocia a una teoría de aprendizaje inteligente concebido desde cinco dimensiones, según Galvis Panqueva (2008): 1) productividad individual, 2) interacción con otros individuos, 3) objetos de estudio, 4) labores educativas, y, 5) acervo cultural, científico y tecnológico. Todas ellas permiten la transformación pedagógica y fomentan el desarrollo de una ruta de aprendizaje en el Curso de Robótica orientado desde las tecnologías del aprendizaje y conocimiento (TAC). A continuación, se la estrategia metodológica en la construcción de la guía.

Estrategia metodológica

La estrategia metodológica es un conjunto de actividades, didácticas y recursos de información y comunicación, para facilitar el desarrollo de un aprendizaje situado (AS) que integre los referentes y principios pedagógicos de la formación orientada al desarrollo de competencias. Lo anterior lleva a los estudiantes del Programa de Ingeniería Mecatrónica a lograr un desarrollo cognitivo en la adquisición, interpretación y procesamiento de la información para la utilización y generación de nuevos aprendizajes al establecer un significado en el saber de la Robótica.

En este sentido, es importante considerar el proceso de la didáctica desde seis elementos fundamentales como lo son: el alumno, los objetivos, el profesor, la materia, las técnicas de enseñanza, y el contexto (Nérci, 1973), donde las técnicas de enseñanza abarcan las estrategias didácticas por los cuales el docente y los estudiantes, organizan una serie de acciones “para construir y lograr metas previstas e imprevistas en el proceso enseñanza y aprendizaje” (Feo, 2010, p. 222). Estas estrategias generalmente se dividen en estrategias de enseñanza y estrategias del aprendizaje. No obstante, Feo (2009) las clasifica en: estrategias de enseñanza; estrategias instruccionales; estrategias de aprendizaje; y estrategias de evaluación. Las estrategias instruccionales se caracterizan por una interrelación presencial entre el docente y el estudiante, donde el docente elabora materiales impresos, o recursos instruccionales tecnológicos (OV RobotsLearning) con el fin de que el estudiante tome conciencia de los procedimientos necesarios en la construcción del saber (Feo, 2010).

Lo anterior nos lleva a considerar el uso de una estrategia didáctica en el proceso de formación de la temática de robótica que ayude a fortalecer la educación de estudiantes de ingeniería y su relación en la educación superior.

La estrategia permite generar una respuesta a las inquietudes que los estudiantes describen al momento de aprender y se adapta a una estrategia mediada por tecnologías que integren el uso de recursos tecnológicos de manera lúdica. Así, pueden fortalecer el aprendizaje situado, inteligente y colaborativo desde una visión de estrategias didácticas, para mejorar un aprendizaje inteligente en el aula, con las cuales se integran dinámicas y se favorece el desarrollo de habilidades y actitudes como el pensamiento crítico – reflexivo - creativo, bajo una responsabilidad, organización, autorreflexión en relación al uso de didácticas tecnológicas, orientadas a competencias cognitivas, comunicativas del saber específico en el tema de Robótica.

En consecuencia, la creación de la Guía Didáctica tiene en cuenta el desarrollo de estrategias pedagógicas, metodológicas y didácticas, para generar un aprendizaje en el aula mediado con tecnologías y pedagogías emergentes que cuentan con criterios de evaluación para enriquecer el proceso de aprendizaje de una manera lúdica en la temática de Robótica. Como se establece en la Tabla 1.

Criterios de comparación	Aprendizaje basado en Problemas (ABP)	Método de Caso (MC)	Aprendizaje basado en Investigación (ABI)	Aprendizaje basado en Proyectos (ABPro)	Aprendizaje de Servicio (A+S)	Aprendizaje basado en Desafíos (ABD)	Prácticas Externas (PE)
Rol del estudiante	Buscar y ampliar la información por medio de preguntas que direccionan, la búsqueda de la Información, que define la situación Problemática.	Preparan el caso por medio de la Lectura, de los temas relacionados, compartiendo análisis individuales, para anticiparse a una discusión (Colaborativa). Permite generar preguntas relevantes en busca de la solución al caso.	Se analizan las problemáticas en la temática, para ser integradas desde la investigación y la producción de la información / conocimiento.	Se define un plan de acción (actividades individuales y grupales), permitiendo analizar la información y generar un cumplimiento, con el requerimiento por medio de la búsqueda de una solución.	Se diagnostica la necesidad, con el grupo de estudiantes, en el contexto de las competencias desarrolladas, se integra una planificación, e implementa un servicio – Solución.	Se analiza la temática propuesta, definiendo los desafíos a abordar (ejercicios), desde las competencias desarrolladas. Se define el plan de trabajo, e implementa una propuesta de respuesta.	Desempeño en el contexto profesional, como una práctica, para integrarse al mundo laboral – Contexto.
Etapas	Diseño del problema. Lectura y análisis del problema Formulación de hipótesis Brecha de Aprendizaje Definición del problema Obtención de información Resultados	Elaboración o selección del caso. Preliminar Exposición de ideas Análisis Conceptualización Evaluación	Secuencia Didáctica	Planificación del proyecto Desarrollo del proceso Evaluación	Diagnóstico participativo Diseño y planificación del proyecto (A+S) Alianzas y recursos Implementación y gestión del proyecto (A+S) Retroalimentación de la información e integración de Tecnología Didáctica.	Generación del Desafío Búsqueda y análisis de la Información Generación de propuestas de Información Implementación de la Solución Difusión de la información Creación de objeto virtual de aprendizaje	Planificación Implementación Seguimiento Evaluación

Tabla 1
Estrategias didácticas para mejorar el aprendizaje en el aula.
Fuente: elaboración propia.

La guía permite realizar una integración de aprendizaje utilizando la metodología de método de caso (MC) y el aprendizaje basado en desafíos (ABDe). Para ello se concluyó que la integración del mejor recurso tecnológico era la utilización de objetos virtuales (OV), teniendo en cuenta que la organización de contenido educativo en la forma de objetos de aprendizaje mediados por la virtualidad es una de las propuestas internacionales en este momento, pues “son un medio que debido a su estructura y características permite alcanzar el desarrollo de las competencias” (Osorio *et al.*, 2007a, p. 1) como se puede ver en la Figura 1.

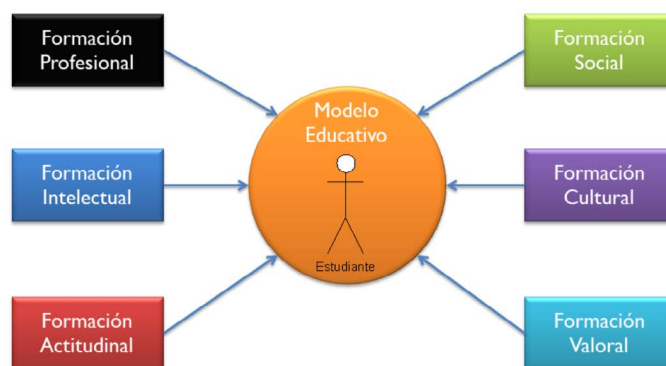


Figura 1
Integración de OV, en el área de la Educación Superior
Fuente: elaborado a partir de Osorio *et al.* (2007a, p.2).

En la Figura 1 se observa las relaciones con las que cuenta el estudiante para integrar componentes como lo son: formación profesional, formación intelectual, formación actitudinal, formación en valores, formación cultural y una formación social, necesario para participar en una sociedad del conocimiento. Todo esto se observa desde la perspectiva que integra el modelo para la construcción de conocimiento con responsabilidad social, acompañada desde la estructura del docente como un guía orientador en el proceso de recontextualizar el conocimiento, para nuestro caso el saber de la Robótica, desde una perspectiva de tecnologías en la visión de la Electiva General II.

Para nuestro caso, el objeto virtual (OV RobotsLearning), llamado objetivación (Chan, 2004), es la relación mediada por:

- Una organización interna
- La identificación y selección de las competencias a desarrollar
- Las dimensiones del aprendizaje o tipos de actividades cognitivas

Junto con la información y las instrucciones, armarán en su conjunto al nuevo objeto de aprendizaje, representado en el recurso tecnológico Objeto Virtual **RobotsLearning**. Así, el estudiante podrá relacionar actividades, saberes y una retroalimentación que ayude a comprender el tema de la Robótica en la formación del ingeniero mecatrónico, que propende por comprender las tecnologías con una postura crítica con relación a las necesidades del contexto.

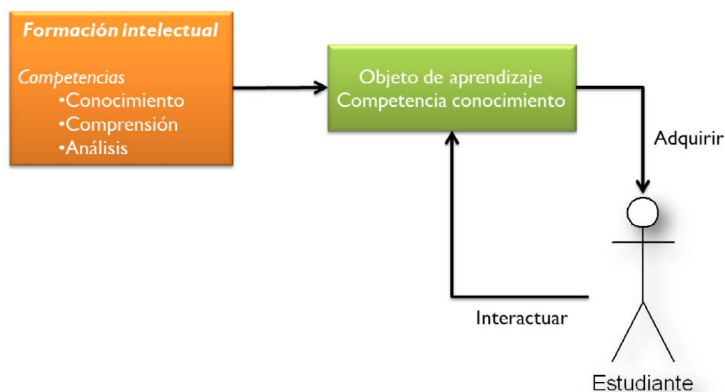


Figura 2
Integración de OV, en el área de la Educación Superior
Fuente: elaborado a partir de Osorio et al. (2007a, p.2).

En este sentido, la producción y uso de los objetos virtuales por la comunidad educativa es una alternativa innovadora para apoyar el modelo educativo institucional, dado que el uso de patrones de OV, posibilita el diseño de un objeto de aprendizaje dentro del curso de Robótica, todo un programa formativo que comparte problemáticas afines abordadas desde una visión multidisciplinar.

Además, permite que tanto el docente como los estudiantes de séptimo semestre del programa de Ingeniería Mecatrónica de la Corporación Universitaria ComfacaUCA UNICOMFACAUCA adquieran las siguientes habilidades, siguiendo a Osorio y compañía (2007a):

• Profesor

- El uso del OV RobotsLearning, fomenta el uso creativo de los medios tecnológicos (videos, talleres y presentaciones) que facilitan y apoyan el aprendizaje inteligente.
- Facilita retroalimentar el progreso de los estudiantes (por medio de una barra de aprendizaje ubicada en el OV RobotsLearning).
- Facilita acompañar el trabajo colaborativo de los alumnos (por medio de un espacio en el OV RobotsLearning para la consigna de talleres).
- Permite capacitar en el uso de nuevas tecnologías de información (Matlab®)

• Estudiantes

- Capacidad de reflexión y crítica
- Capacidad de interactuar con los contenidos de aprendizaje y lograr los objetivos de manera exitosa
- Capacidad de asumir de manera progresiva y responsable la dirección y control de su aprendizaje
- Constructores de su propio conocimiento, al seleccionar, elaborar, organizar, utilizar y dar significado a la información
- Responder favorablemente hacia el trabajo colaborativo (Osorio et al., 2007a, p. 10)

Como lo afirman autores como Velázquez *et al.* (2011) y Afanador y Pineda (2016), es necesario que la calidad de los objetos virtuales se debe centrar en formar la identidad, diversidad y la variedad de maneras como aprende el estudiante.

A continuación, en la Figura 3 se puede evidenciar el campo de registro para el acceso al OV RobotsLearning como herramienta para la integración de la asignatura de Robótica, el cual se encuentra ingresando a través de <https://www.solucionesedutic.com/moodle/>.

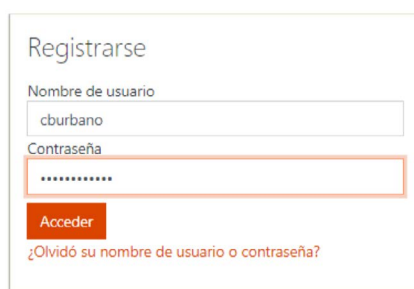


Figura 3

Registro de la plataforma LMS Moodle para acceder al OV RobotsLearning

Fuente: elaboración propia.

La Figura 4 corresponde al OV RobotsLearning desde el ambiente virtual de aprendizaje (AVA), es decir, la plataforma LMS Moodle.



Figura 4

Plataforma OV RobotsLearning

Fuente: elaboración propia.

En el entorno virtual se evidencia la estructura en relación con las temáticas, actividades y seguimiento abordados en el tema de Robótica, como se observa en la Figura 5.

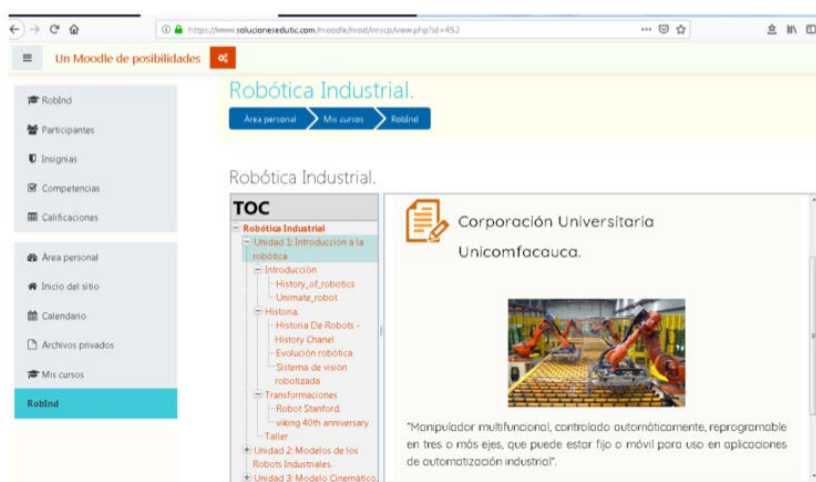


Figura 5
Temáticas, actividades y seguimiento en la plataforma OV RobotsLearning para el tema de Robótica
Fuente: elaboración propia.

A continuación, se puede evidenciar la introducción dentro del OV RobotsLearning para iniciar las unidades 1. Introducción a la robótica, 2. Modelos de los robots industriales, y, 3. Modelo cinemático, propuestas, como se observa en la Figura 6.

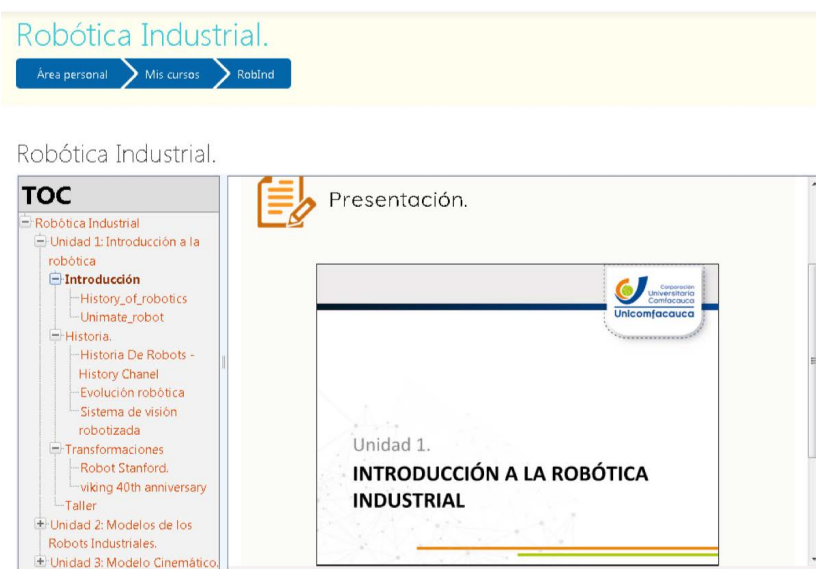


Figura 5
Introducción a la robótica industrial dentro del OV RobotsLearning
Fuente: elaboración propia.

Lo anterior refleja la necesidad de adaptar OV RobotsLearning para adoptar tecnologías emergentes y comprender el significado de las tecnologías del aprendizaje y conocimiento (TAC) en la educación superior y su desarrollo en relación con la didáctica y la evolución de este concepto iniciando con la definición de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC). De acuerdo con Sánchez (2008), las TIC son tecnologías utilizadas para gestionar la información de manera que se pueda crear, modificar, almacenar, proteger y recuperar por medio del uso de ordenadores; sin embargo, el mismo autor aclara que no solo las tecnologías modernas hacen parte de las TIC, también están los medios de comunicación convencionales como radio, televisión y telefonía.

Desde su surgimiento, las TIC han evolucionado hasta convertirse en herramientas de uso diario o habitual, y han logrado transformar la sociedad. De esta manera, las TIC han establecido un acercamiento al conocimiento e incluso han logrado gestionarlo; es precisamente de esta forma como surge el concepto de tecnologías del aprendizaje y el conocimiento (TAC) (Moya, 2013). Las TAC explican las nuevas posibilidades que la tecnología abre en la educación. Dicho de otra manera, estas se entienden como la adecuación de las TIC a entornos educativos (OV RobotsLearning). Por tanto, ellas van más allá de la mera disponibilidad de las tecnologías, y hacen hincapié en su uso, potenciando el aprendizaje inteligente. En este sentido, cuando estas dejan de usarse como un elemento meramente instrumental y vuelven más eficiente el modelo educativo, adquieren una nueva función: la de posibilitar y apoyar la transposición del conocimiento, permitiendo la apropiación de la información (Moya, 2013).

Como lo dice Lozano, “Las TAC tratan de orientar las TIC hacia unos usos más formativos” (2011, p. 45), por esto cada día se utilizan más los recursos tecnológicos en la educación. Para Aguilar (2012), las TIC pueden ser instrumentos útiles para mejorar la enseñanza-aprendizaje de los procesos educativos, todo con ayuda de entornos o recursos tecnológicos que mejoran la creatividad y la innovación en los estudiantes, en relación con el desarrollo del concepto de mediaciones tecnológicas en procesos de aprendizaje inteligente, como se describe a continuación.

Las investigaciones tomadas en cuenta en los últimos cinco años en los contextos nacional e internacional, relacionadas con el concepto de mediaciones tecnológicas en la educación se pueden observar a continuación:

- Pérez y Castillo (1996) refieren apuntes para una educación a distancia. Los autores muestran la diferencia entre un modelo pedagógico que tiene como fin educar y un modelo temático con el fin de enseñar, dos conceptos que van de la mano al momento de hablar de autoaprendizaje didáctico, pues resulta complejo pensar en una educación a distancia que se da a través de una mediación pedagógica guiada por textos y otros materiales. De acuerdo con esto el estudiante es autónomo de generar su aprendizaje, y es ahí donde el concepto de mediación pedagógica tiene una concepción opuesta a los sistemas instruccionales, donde la enseñanza se basa en un simple trasaso de información, pero no como un tratamiento de contenidos logrando crear en el estudiante un aprendizaje más significativo donde pueda expresar todas las habilidades y destrezas que tenga. “el proceso mediante el cual el estudiante a distancia puede lograr una mayor independencia o autonomía en el manejo de su situación de aprendizaje” (Bermúdez, 1990 citado en Delgado *et al.*, 2016).
- Ricardo Enrique Sandoval Barros en el año 2011 realiza una investigación con respecto a las mediaciones tecnológicas en el campo educativo. Él plantea varias

soluciones con respecto a las desigualdades que existen en el ámbito educativo, su intención es que la población juvenil no sea marginada de la cultura por no tener acceso a la tecnología. Sandoval recoge los planteamientos de autores como Zammit y Cabero quienes resaltan el significado en el proceso de aprendizaje de incorporar herramientas tecnológicas en el currículum de clase, esto permite que la educación tenga instrumentos para mejorar el aprendizaje en los estudiantes, ayudando a reforzar la investigación y formación de docentes de las instituciones educativas.

- De igual manera, el estudio realizado por Edgar Diego Erazo y Germán Muñoz en el año 2007, pretende identificar cómo se lleva el proceso de mediaciones tecnológicas en el departamento de Pereira municipio de Dosquebradas Colombia. Se trata de una investigación fenomenológica que tiende a entender cómo es la relación entre las mediaciones tecnológicas y procesos de subjetivación juvenil, donde estos procesos fueron llamados por los investigadores como “subjetivaciones tecno juveniles”, es decir, observar cuáles son los fenómenos que existen cuando los jóvenes interactúan con la tecnología, según los autores mencionados anteriormente

“Cuando nos preguntamos si ellos y ellas ‘conforman’ las mediaciones tecnológicas, estamos suponiendo su capacidad creativa, es decir, intuimos que no solo ‘consumen’ tecnologías y las implicaciones que éstas comportan, sino que también están en posibilidad de crearlas, de darles forma” (Erazo y Muñoz, 2016, p.727). Esa es la gran pregunta, los jóvenes están listos para crear tecnología, donde la creación de contenidos digitales motiva a los estudiantes a generar un aprendizaje más significativo de igual manera “La comunicación sincrónica y asincrónica, y la ausencia de barreras espacio-temporales configuran nuevos escenarios y espacios aprendizaje” (Henao, 2004, p. 12).

- Al querer integrar la tecnología en la educación es muy importante tener en cuenta el trabajo de investigación del autor Henry Alfonso Muñoz Rojas (2016), quien busca explicar cómo es la transformación de las prácticas pedagógicas las cuales pueden llegar a crear nuevos escenarios educativos. A nivel de integración TAC en la educación en los años 1990 y 2010, Muñoz encuentra poca apropiación de tecnología o casi nula, pero en año 2011 se vio un gran avance con respecto al uso de plataformas como LMS, apoyadas generalmente en la modalidad presencial.

Asumir las nuevas tecnologías en el quehacer de cada día tiene una serie de consecuencias en la investigación. Se identificó que crear nuevos espacios de aprendizaje genera nuevas formas de aprendizaje, esto quiere decir que el reto es mayor debido a que construir los contenidos no solamente es montar en la plataforma las temáticas del currículum, si no que entra en juego, la identificación del mejor recurso educativo apoyado en la pedagogía, buscar cómo se genera el aprendizaje con el uso de la mediación tecnológica y la transformación de la práctica pedagógica del maestro. Vista desde diferentes perspectivas las cuales vuelven a la tecnología en componentes mediáticos que facilitan la comunicación, interacción y la transposición del conocimiento a sus estudiantes.

Lo mencionado muestra a las sociedades articuladas expresando las ideas, guías, tecnologías y métodos para observar una comunidad estudiantil que se retroalimenta de la información, marcando nuevos retos y oportunidades en cuanto al desarrollo de su aprendizaje. Por tal motivo ser partícipes de las sociedades alrededor de estos requisitos, constituyó una ardua tarea, dado que los aspectos socioeconómicos y tecnológicos impactarán el enfoque de las sociedades al momento de intervenir en el desarrollo estudiantil.

FUNDAMENTACIÓN CURRICULAR Y DIDÁCTICA

En este sentido, la integración de estrategias didácticas en el aula de clase de manera tradicional con integración de tecnologías del aprendizaje y comunicación (TAC), con enfoque práctico y orientado al desarrollo de competencias comunicativas, cognitivas y tecnológicas, permite incluir una mediación pedagógica al combinar un proceso de formación para lograr la formación del pensamiento crítico, en relación con la tecnología ubicua (TU). Esto implica actividades como:

- Pensamiento de alto orden que proporciona los RIC: uso de lenguaje, proceso de interiorización, abstracción, descontextualización y formación de conceptos, mediados por tecnologías de la información en el aprendizaje.
- Interacción de tecnologías (IT)
- Mediaciones tecnológicas (MT)
- Entornos personales de aprendizaje (PLE)

Lo anterior permite que el docente integre conocimientos desde su saber específico de formación en el desarrollo de su praxis pedagógica e incluya estrategias didácticas y comunicativas para fortalecer el proceso de aprendizaje y poder disminuir la deserción y el desinterés del estudiante. Todo ello en temas de tecnologías emergentes relacionadas con tendencias en el saber de la robótica como:

a. **Entrega de componentes cognitivos en el tema de robótica**, mediante la inclusión de tendencias tecnológicas, mediadas por didácticas para la formación de estudiantes de Ingeniería, orientadas al fortalecimiento de competencias.

b. **Integrar recursos de información y comunicación (RIC)**, pertinentes en el aula como estrategias didácticas en programas de Ingeniería Mecatrónica y Sistemas para las asignaturas de Robótica y la Electiva General II, utilizando el tema de aprendizaje inteligente cooperativo para la apropiación de conocimiento, en la sociedad del conocimiento. Lo anterior nos lleva a realizar la siguiente pregunta: ¿cuáles son los conceptos clave en la implementación de una estrategia didáctica?

Es importante generar una reflexión desde la integración de la didáctica en el concepto de competencia, y cómo esta es representada en el desarrollo y evolución del concepto de tecnología. Esto por medio de las TAC, y mediada por recursos de información y comunicación (RIC), como un proceso mediático de modalidades, tanto la presencial con apoyo de Tecnologías, B-Learning y como del ubicuo.

Autores como Evans (2013-2014) y Adell (2014) hablan de la “apropiación de recursos tecnológicos”, y la relación de competencias “digitales”, para una formación que permita aprehender:

- Técnicas de computación
- Herramientas de análisis
- Capacidad de enfocar (saber mediado por tecnología)
- Tecnologías con visión social
- Transformación de soluciones tradicionales e innovadoras.

Lo anterior nos lleva a considerar los atributos de la competencia en relación con los saberes teóricos de las asignaturas de Robótica y la Electiva General II. Esto permite integrar estrategias didácticas con: técnicas, actividades y recursos tecnológicos, para crear una estrategia metodológica que ayude a integrar y comprender una transformación en el modelo pedagógico. Esto ayudará a fomentar escenarios autónomos en el proceso de aprendizaje en el aula que propicien nuevos lenguajes y formas de comunicación, representados en propuestas didácticas. Los autores Coll, Mauri y Onrubia (2006) proponen el uso y conocimiento de recursos TIC. Teniendo esto en cuenta, se desarrolló el OV RobotsLearning, que cumple con las características mencionadas a continuación:

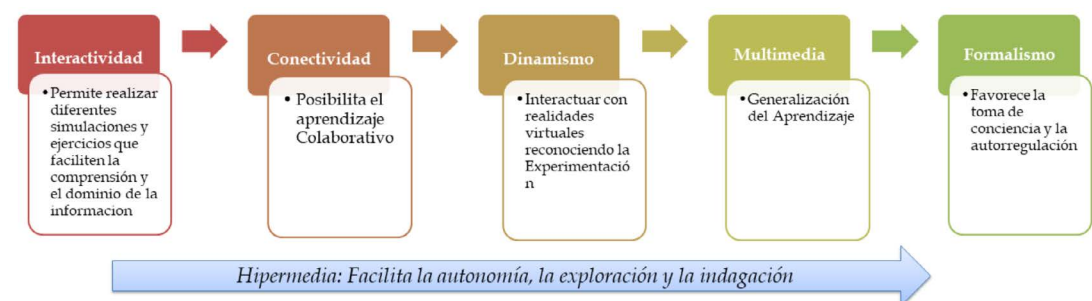


Figura 7
Características de OV RobotsLearning – Didáctico
Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la Figura 7, la integración de características como: interactividad, conectividad, dinamismo, multimedia y formalismo permite entender la dirección de la temática de Robótica hacia comprender el aprendizaje inteligente en relación con una mediación desde el concepto de hipermedia. Esto facilita la autonomía, la exploración y la indagación en los estudiantes, que son recurrentes al interactuar con tecnologías emergentes, permitiendo comprender el concepto de Robot Autónomo en cuanto al uso de la multimedia como apoyo al proceso de aprendizaje en el aula.

Uno de los componentes en el desarrollo del OV RobotsLearning es la interactividad. En la introducción a la robótica y los antecedentes más relevantes, el objetivo es comprender la habilidad tecnológica en relación con la práctica desde la lúdica, como se evidencia en la Figura 8.

ROBOTICA INDUSTRIAL

« Anterior Siguiete »

Robótica Industrial

Unidad 1: Introducción a la robótica

Introducción

History_of_robotics

Unimate_robot

Historia.

Transformaciones

Taller

Unidad 2: Modelos de los Robots Industriales.

Unidad 3: Modelo Cinemático.

Introducción

Presentación.



Unidad 1.
INTRODUCCIÓN A LA ROBÓTICA INDUSTRIAL

Diapositiva 2

Figura 8
Introducción a la robótica
Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO 1: Introducción al modelado de robots industriales tipo serie: transformaciones homogéneas

En los últimos años han surgido diferentes métodos para situar un punto en el espacio cartesiano combinando rotación y desplazamiento. No obstante, las transformaciones homogéneas continúan siendo el método vigente más utilizado a nivel mundial debido a la facilidad de su implementación. Este método radica en la interacción entre dos elementos:

- El vector de posición de dimensión 1×4 , necesario para representar un punto en el espacio. Los tres primeros valores de este vector describen las coordenadas cartesianas X, Y, Z con respecto al origen, y el cuarto valor es un factor de escalamiento unitario que concatena con la matriz de orientación para formar una de dimensión 4×4 denominada matriz de transformación.
- La matriz de orientación de dimensión 4×3 , necesaria para representar la rotación del punto final en X, Y, Z , respecto a los ejes X, Y, Z originales. Los tres primeros elementos son vectores de dimensión 3×1 , los cuales representan la rotación del punto final y se complementa con un cero para equilibrar la matriz de transformación final.

Una transformación homogénea es un conjunto de parámetros dispuestos en una matriz para representar la ubicación y orientación de un objeto cuando ha sufrido un cambio de posición con respecto a su plano de referencia. En Figura 9 se puede observar la dependencia y los elementos que conforman una transformación homogénea:

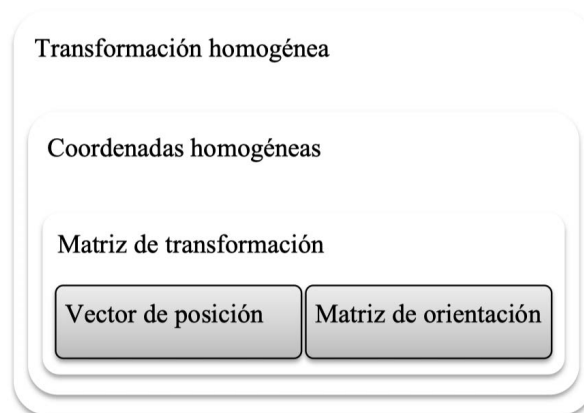


Figura 9
Dependencia y elementos que conforman una transformación homogénea
Fuente: elaboración propia.

A continuación, se introduce el tema y se explica cada uno de los elementos de una transformación homogénea a través de algunos ejemplos prácticos y ejercicios propuestos.

Representación de un punto en coordenadas homogéneas

Esta representación consiste en la ubicación de las coordenadas cartesianas, al agregar el factor de escalamiento unitario, como se muestra a continuación:

$$P = [P_x \ P_y \ P_z \ 1]^T \quad (1)$$

En la Figura 10 se muestra la ubicación de un punto en el espacio con coordenadas cartesianas.

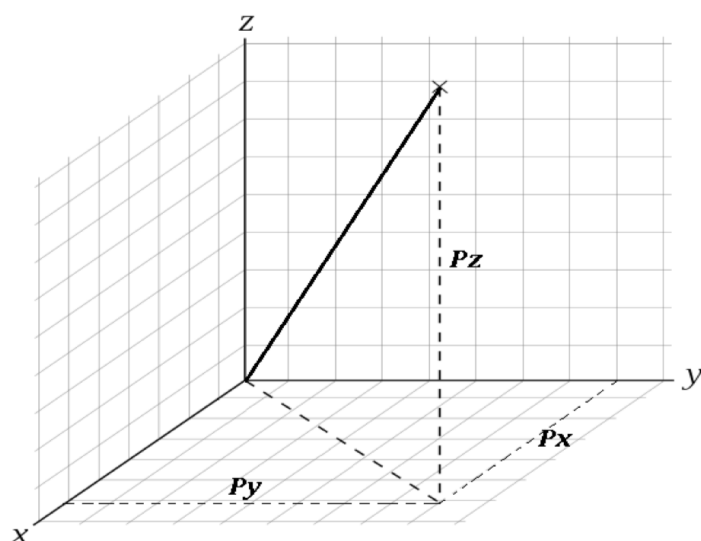


Figura 10

Ubicación de un punto en el espacio con coordenadas homogéneas.

Fuente: elaboración propia.

Para representar la dirección, en términos de orientación, es necesario construir una matriz de dimensión 3x3 mediante tres vectores columna concatenados, cada uno de dimensiones 3x1, que especifiquen las rotaciones en X, Y, Z actuales con respecto a los ejes X, Y, Z anteriores, es decir,

- Rotación del eje X actual respecto al eje X anterior
- Rotación del eje X actual respecto al eje Y anterior
- Rotación del eje X actual respecto al eje Z anterior
- Rotación del eje Y actual respecto al eje X anterior
- Rotación del eje Y actual respecto al eje Y anterior
- Rotación del eje Y actual respecto al eje Z anterior
- Rotación del eje Z actual respecto al eje X anterior
- Rotación del eje Z actual respecto al eje Y anterior
- Rotación del eje Z actual respecto al eje Z anterior

Por lo tanto, la matriz de orientación quedará constituida de la siguiente manera:

$$u = \begin{bmatrix} s_x & n_x & a_x & s_y & n_y & a_y & s_z & n_z & a_z \end{bmatrix} \quad (2)$$

Donde,

s_x , s_y y s_z representan la rotación del eje X actual con respecto a X, Y, Z anteriores.

n_x , n_y y n_z representan la rotación del eje Y actual con respecto a X, Y, Z anteriores.

a_x , a_y y a_z representan la rotación del eje Z actual con respecto a X, Y, Z anteriores.

Finalmente, en la Figura 11 se aprecia una transformación de coordenadas, obtenida al concatenar el vector de posición con la matriz de orientación, a través de factores de escalamiento, formando la siguiente matriz cuadrada de 4x4:

$${}^i T_j = \begin{bmatrix} s_x & s_y & s_z & 0 & n_x & n_y & n_z & 0 & a_x & a_y & a_z & 0 & P_x & P_y & P_z & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

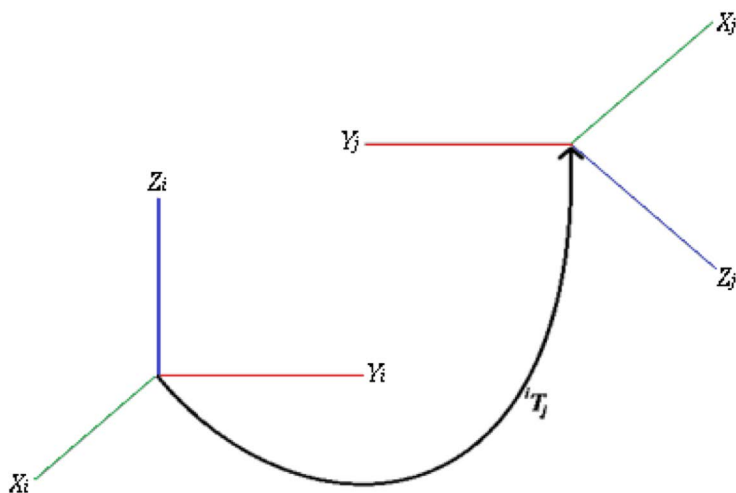


Figura 11
Transformación de coordenadas
Fuente: elaboración propia.

Note que hay desplazamiento del punto de coordenadas y rotación de los ejes cartesianos. A este proceso se le conoce con el nombre de transformación de coordenadas.

En la plataforma OV RobotsLearning se encuentra el taller como ejercicio de evaluación en el tema de transformaciones homogéneas, como se evidencia en la Figura 12.

ROBOTICA INDUSTRIAL
« Anterior Siguiete »

Robótica Industrial
 Unidad 1: Introducción a la robótica
 Introducción
 Historia.
 Transformaciones
Taller
 Unidad 2: Modelos de los Robots Industriales.
 Unidad 3: Modelo Cinemático.

Taller

Presentación.

Figura 12

Taller como ejercicio de evaluación en el tema de transformaciones homogéneas de coordenadas
 Fuente: elaboración propia.

Ejercicio de evaluación 1.a. Transformación de coordenadas

A continuación, se presenta un ejemplo de transformación de coordenadas, partiendo de un sistema en el origen cartesiano.

a) Determine la matriz de transformación con un desplazamiento de (3, 7, 4) a partir del origen (0, 0, 0), y rotación de 90° en los ejes X y Z con respecto al eje Y.

Solución ejercicio de evaluación 1.a.

El primer paso es ubicar el nuevo punto de coordenadas (3, 7, 4), partiendo del origen, es decir, se mueve 3 unidades en X, 7 unidades en Y, y 4 unidades en Z, respecto al origen de coordenadas (0, 0, 0) como se observa en la Figura 13. a. Posteriormente, se ubican los nuevos ejes tomando como base a Y, teniendo en cuenta que será el eje sobre el cual roten los ejes X y Z, como se observa en la Figura 13. b. Observe que, tanto X como Z rotaron 90° alrededor del eje Y.

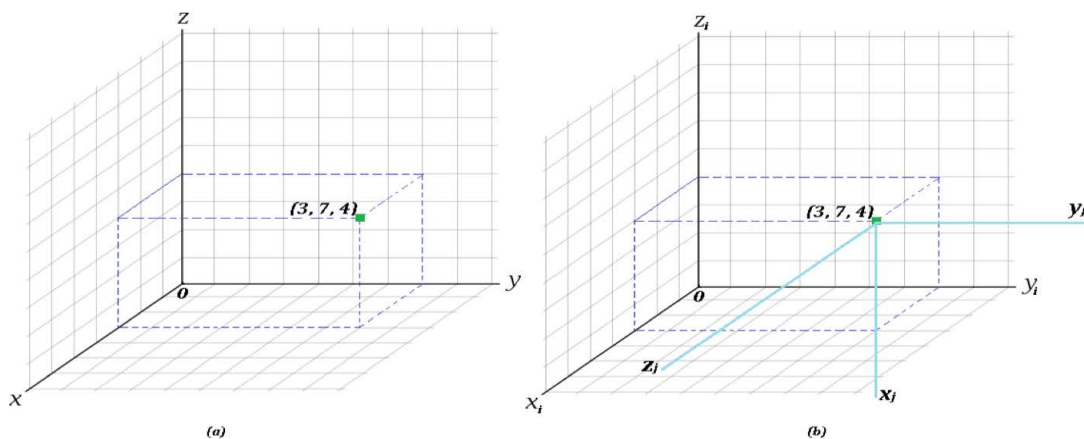


Figura 13

a) Ubicación del nuevo punto de coordenadas.

b) Ubicación de los nuevos ejes cartesianos

Fuente: elaboración propia.

De esta manera, la matriz de transformación (3) se construye observando la dirección de los nuevos ejes cartesianos respecto a los ejes originales, teniendo en cuenta que tomará valor de 1 si el nuevo eje presenta la misma dirección que alguno de sus antecesores, -1 si presenta dirección contraria y 0 si permanece perpendicular. Recuerde que s_x , s_y y s_z representan la rotación del eje X actual con respecto a X, Y, Z anteriores. n_x , n_y y n_z representan la rotación del eje Y actual con respecto a X, Y, Z anteriores. a_x , a_y y a_z representan la rotación del eje Z actual con respecto a X, Y, Z anteriores.

Ahora bien, partiendo de la matriz (3), se tiene que s_x es 0 ya que el eje X final es perpendicular al eje X inicial; s_y es 0 ya que el eje X final es perpendicular al eje Y inicial; s_z será -1 teniendo en cuenta que el eje X final es perpendicular al eje Z inicial. Asimismo, n_x es 0 puesto que el eje Y final es perpendicular al eje X inicial; n_y es 1 ya que el eje Y final es perpendicular al eje Y inicial; n_z es 0 teniendo en cuenta que el eje Y final es perpendicular al eje Z inicial. Finalmente, a_x es 1 teniendo en cuenta que el eje Z final es perpendicular al eje X inicial; a_y es 0 teniendo en cuenta que el eje Z final es perpendicular al eje Y inicial; a_z es 0 teniendo en cuenta que el eje Z final es perpendicular al eje Z inicial. Los valores de P_x , P_y y P_z equivalen directamente al punto de coordenadas finales, es decir: 3 para X, 7 para Y, y 4 para Z. Por lo tanto, la matriz de transformación queda constituida de la siguiente manera:

$$iT_j = [00 -10 \ 0100 \ 1000 \ 3741]$$

b) Determine la matriz de transformación con un desplazamiento de (-5, 2, -7) a partir del origen (0, 0, 0), y rotación de -90° en los ejes Y y Z con respecto al eje X.

Se ubica el nuevo punto de coordenadas (-5, 2, -7), partiendo del origen, es decir, se mueve -5 unidades en X, 2 unidades en Y, y -7 unidades en Z, respecto al origen de coordenadas (0, 0, 0) como se observa en la Figura 14. Posteriormente, se ubican los nuevos ejes tomando como

base a X , teniendo en cuenta que será el eje sobre el cual roten los ejes Y y Z . Observe que, el eje z_j queda ahora en la dirección de y_i , a su vez, y_j queda en la dirección de $-z_i$, teniendo en cuenta que hubo rotación de Y y Z alrededor del eje X .

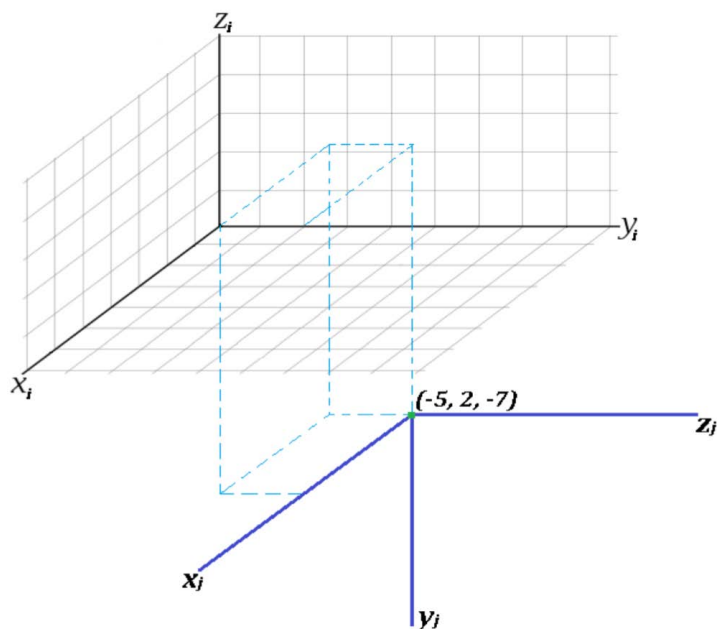


Figura 14

Ubicación del nuevo punto de coordenadas y de los nuevos ejes cartesianos.

Fuente: elaboración propia.

Ahora bien, s_x será 1 teniendo en cuenta que el eje X final quedó en la misma dirección del eje X inicial; s_y y s_z serán 0 ya que el eje X final es perpendicular a los ejes Y, Z iniciales. n_x y n_y serán 0 ya que el eje Y final es perpendicular a los ejes X, Y iniciales, por su parte, n_z es -1 teniendo en cuenta que el eje Y final quedó en dirección contraria al eje Z inicial. Finalmente, a_x y a_z serán 0 teniendo en cuenta que el eje Z final es perpendicular a los ejes X, Z iniciales, por su parte, a_y será 1 teniendo en cuenta que el eje Z final es perpendicular al eje Y inicial. Los valores de P_x , P_y y P_z equivalen directamente al punto de coordenadas finales, es decir: -5 para X , 2 para Y , y -7 para Z . Por lo tanto, la matriz de transformación queda constituida de la siguiente manera:

$$iT_j = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -5 & 2 & -7 \end{bmatrix}$$

Los ejemplos anteriores se resuelven de manera práctica, teniendo en cuenta que los giros son ángulos rectos, es decir, de 90° o -90° . Veamos ahora qué sucede cuando el ángulo de giro no es un ángulo recto. En la Figura 15 se aprecia la forma en que los ejes giran alrededor de cada eje en cuestión.

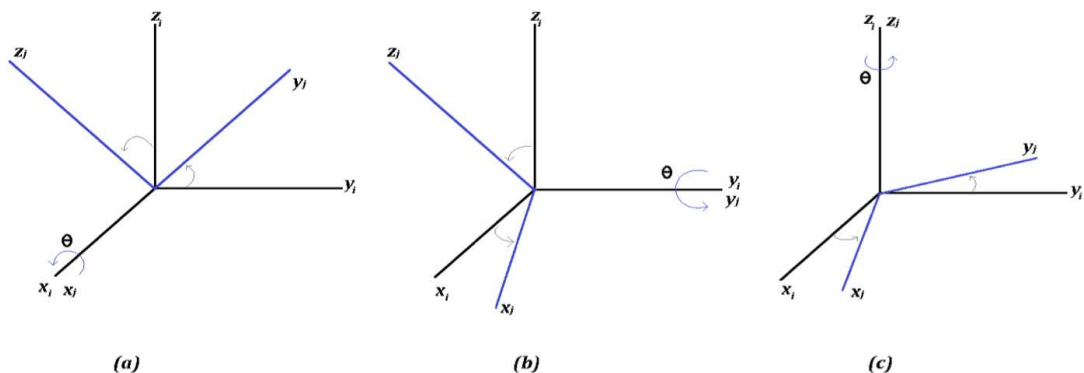


Figura 15

- a) Rotación de los ejes Y, Z alrededor del eje X.
b) Rotación de los ejes X, Z alrededor del eje Y.
c) Rotación de los ejes X, Y alrededor del eje Z.
Fuente: elaboración propia.

Cuando se presenta rotación de los ejes Y, Z alrededor del eje X, se tiene la siguiente matriz de transformación:

$$iT_j = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & \cos \theta & \sin \theta & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Cuando se presenta rotación de los ejes X, Z alrededor del eje Y, se tiene la siguiente matriz de transformación:

$$iT_j = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Cuando se presenta rotación de los ejes X, Y alrededor del eje Z, se tiene la siguiente matriz de transformación:

$$iT_j = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Ejercicio práctico 1.a. Transformación de coordenadas

Dibujar las rotaciones y translaciones representadas por las siguientes matrices de transformación:

- a) $iT_j = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 4 & 6 & 1 \end{bmatrix}$;
b) $iT_j = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 8 & -1 & 3 & 1 \end{bmatrix}$;
c) $iT_j = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 5 & -5 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

Ejercicio de evaluación 1.b. Transformación de coordenadas con ángulos determinados

A continuación, se presenta un ejemplo de transformación de coordenadas, partiendo de un sistema en el origen cartesiano, teniendo en cuenta las matrices (4), (5) y (6) cuando el ángulo de giro no es recto.

a. Determine la matriz de transformación a partir del origen (0, 0, 0) cuando se presenta una rotación de 50° en los ejes Y y Z con respecto al eje X.

Solución ejercicio de evaluación 1.b.

Partiendo de la matriz de transformación (4), se reemplaza el ángulo en cada valor pertinente, así:

$$iT_j = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ \cos \cos 50^\circ \ \sin \sin 50^\circ \ 0 \ 0 \ 50^\circ \ \cos \cos 50^\circ \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \]$$

De esta manera, se obtiene la siguiente matriz de transformación:

$$iT_j = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0.6428 \ 0.766 \ 0 \ 0 \ -0.766 \ 0.6428 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \]$$

b) Determine la matriz de transformación a partir del origen (0, 0, 0) cuando se presenta una rotación de -38° en los ejes X, Y con respecto al eje Z.

Partiendo de la matriz de transformación (6), se tiene:

$$iT_j = [\cos \cos (-38^\circ) \ \sin \sin (-38^\circ) \ 0 \ 0 \ -\sin \sin (-38^\circ) \\ \cos \cos (-38^\circ) \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \]$$

De esta manera, se obtiene la siguiente matriz de transformación:

$$iT_j = [0.788 \ 0.6156 \ 0 \ 0 \ 0.6156 \ 0.788 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \]$$

Ejercicio práctico 1.b. Transformación de coordenadas

Determine la matriz de transformación a partir del origen para cada caso:

- a) Cuando se presenta una rotación de 76° en los ejes X, Z con respecto al eje Y.
- b) Cuando se presenta una rotación de 30° en los ejes X, Y con respecto al eje Z.

Transformación de coordenadas a partir de la rotación de dos ejes

En los casos anteriores se presentó la transformación de coordenadas cuando hay rotación sobre uno solo de los ejes. Ahora se considera la rotación alrededor de dos, simultáneamente. Para esta transformación se consideran las siguientes matrices:

$$T(x, \alpha) = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ \cos \cos \alpha \ \sin \sin \alpha \ 0 \ 0 \ 0 \ \cos \cos \alpha \ 0 \ 0 \ 1 \] \quad (7)$$

$$T(y, \varphi) = \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin \varphi & 0 & -\cos \varphi & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$T(z, \theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin \theta & 0 & -\cos \theta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$T(p) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & P_x & 0 & 1 & 0 & P_y & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & P_z & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Observe que las matrices (7), (8) y (9) son equivalentes a las matrices (4), (5) y (6) respectivamente, la matriz (10) es llamada la matriz punto, equivalente a la concatenación de la matriz identidad con el vector de posición. Haciendo uso de estas matrices se construye la matriz de transformación definitiva, multiplicándolas en un orden determinado el cual será explicado a continuación. Los parámetros T_α , T_φ y T_θ hacen referencia a la transformación que se desea realizar, asimismo, el eje en el cual se desea que el cuerpo del robot termine, es decir, T_α hace alusión a una transformación en el eje X, con base en su ángulo específico de rotación α ; T_φ será una transformación en el eje Y, con base en su ángulo específico de rotación φ , y T_θ será una transformación en el eje Z, con base en su ángulo específico de rotación θ . Ahora bien, el orden estará determinado por las siguientes condiciones:

· Transformación en X

$$T_\alpha = T(y, \varphi) * T(x, \alpha) * T(p) \quad (11)$$

· Transformación en Y

$$T_\varphi = T(x, \alpha) * T(y, \varphi) * T(p) \quad (12)$$

· Transformación en Z

$$T_\theta = T(x, \alpha) * T(z, \theta) * T(p) \quad (13)$$

Observe que en todos los casos, la multiplicación de matrices termina con la matriz de transformación específica, seguida de la matriz punto $T(p)$, es decir, si se requiere una transformación en X, la operación terminará con la multiplicación entre la matriz (7) y la (10); si se requiere una transformación en Y, la operación terminará con la multiplicación entre la matriz (8) y la (10); si se requiere una transformación en Z, la operación terminará con la multiplicación entre la matriz (9) y la (10). Por otra parte, la matriz con la que inicie la multiplicación será la restante. Para comprender mejor el procedimiento ver el Ejercicio de evaluación 1.c.

Ejercicio de evaluación 1.c. Transformación de coordenadas con rotación de dos ejes

a) Obtener la matriz de transformación T_α que representa las siguientes transformaciones sobre un sistema fijo en el origen: Traslación de un vector $P_{xyz}(-3, 10, 10)$, giro de -90° sobre el eje X, y giro de 90° sobre el eje Y.

Solución ejercicio de evaluación 1.c.

En primera instancia, se debe tener en cuenta la rotación correspondiente al eje donde se requiere que termine el cuerpo del robot. En este caso, al hacer referencia a la transformación T_α , se desea que termine en el sentido proporcionado por el eje X debido a la nomenclatura de la matriz (7) donde el ángulo α es usado para realizar la rotación correspondiente. Por lo tanto, la operación de matrices quedará de la forma (11). Ahora se procede a reemplazar los valores y las matrices correspondientes:

$$T_\alpha = \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -\sin \varphi & 0 & 0 & 0 & \cos \varphi & 0 & 0 & 1 \\ \sin \varphi & 0 & \cos \varphi & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sin \alpha & 0 & \cos \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & P_X & 0 & 1 & 0 & P_Y & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & P_Z & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_\alpha = \begin{bmatrix} \cos 90^\circ & 0 & \sin 90^\circ & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -\sin 90^\circ & 0 & 0 & 0 & \cos 90^\circ & 0 & 0 & 1 \\ \sin 90^\circ & 0 & \cos 90^\circ & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sin (-90^\circ) & 0 & \cos (-90^\circ) & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cos (-90^\circ) & (-90^\circ) & 0 & 0 & 0 & \sin (-90^\circ) & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \cos (-90^\circ) & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Haciendo uso de una herramienta software como Matlab® o Maple® se procede a multiplicar las matrices. Tenga en cuenta que Matlab –por defecto– toma los números como radianes, por lo tanto, se debe realizar la respectiva conversión de grados a radianes, si es el caso. A continuación, se obtiene la siguiente matriz de transformación y su correspondiente gráfica (Figura 16):

$$T_\alpha = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 10 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

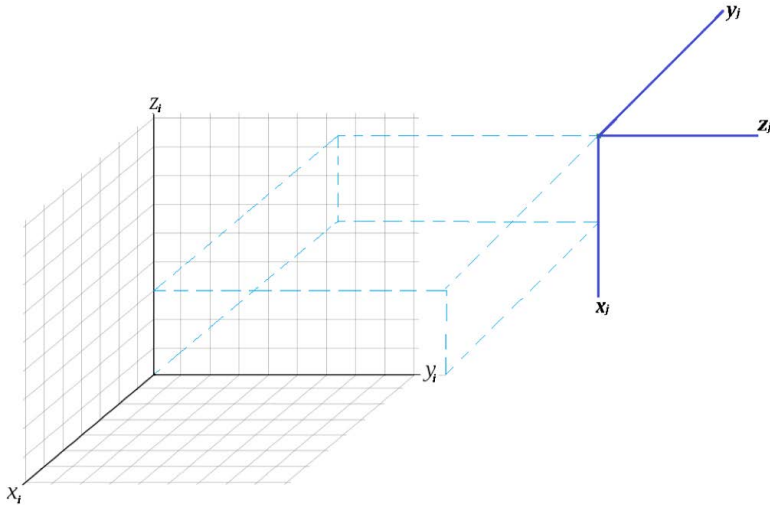


Figura 16
Transformación T_α
Fuente: elaboración propia.

b) Obtener la matriz de transformación T_θ que representa las siguientes transformaciones sobre un sistema fijo en el origen: Traslación de un vector $P_{xyz}(6, -1, -2)$, giro de 34° sobre el eje Z, y giro de 65° sobre el eje X.

En este caso, al hacer referencia a la transformación T_θ , se desea que termine en el sentido proporcionado por el eje Z, por lo tanto, la operación de matrices quedará de igual forma que la ecuación (13). Ahora se procede a reemplazar los valores y las matrices correspondientes:

$$\begin{aligned}
 T_\theta &= [1 \ 0 \ 0 \quad 0 \ 0 \ 0 \quad \cos \cos \alpha \ \alpha \ 0 \ 0 \ 0 \quad \sin \sin \alpha \ 0 \quad \cos \cos \alpha \ 0 \ 0 \ 1] \\
 &\quad * [\cos \cos \theta \quad -\sin \sin \theta \ 0 \ 0 \quad \sin \sin \theta \\
 &\quad \cos \cos \theta \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1] \\
 &\quad * [1 \ 0 \ 0 \ P_x \ 0 \ 1 \ 0 \ P_y \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ P_z \ 1] \\
 T_\theta &= [1 \ 0 \ 0 \quad 0 \ 0 \ 0 \quad \cos \cos 65^\circ \ 65^\circ \ 0 \ 0 \ 0 \quad \sin \sin 65^\circ \ 0 \quad \cos \cos 65^\circ \ 0 \ 0 \ 1] \\
 &\quad * [\cos \cos 34^\circ \quad -\sin \sin 34^\circ \ 0 \ 0 \quad \sin \sin 34^\circ \\
 &\quad \cos \cos 34^\circ \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1] \\
 &\quad * [1 \ 0 \ 0 \ P_x \ 0 \ 1 \ 0 \ P_y \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ P_z \ 1]
 \end{aligned}$$

Finalmente, se obtiene la matriz de transformación:

$$\begin{aligned}
 T_\theta &= [0.8290 \quad -0.5592 \ 0 \quad -8.0790 \ 0.2363 \ 0.3504 \quad -0.9063 \\
 &\quad -6.2683 \ 0.5068 \ 0 \ 0.7514 \ 0 \ 0.4226 \ 0 \ 10.2194 \ 1]
 \end{aligned}$$

Representar gráficamente una transformación cuando los ángulos no son rectos es algo muy complejo, por lo tanto, solo se determina matemáticamente.

Ejercicio práctico 1.c. Transformación de coordenadas con rotación de dos ejes

Obtener las matrices que representan las siguientes transformaciones sobre un sistema fijo en el origen:

a) T_ϕ con Traslación de un vector $P_{xyz}(20, -12, 14)$, giro de 60° sobre el eje Y, y giro de -30° sobre el eje Z.

b) T_α con Traslación de un vector $P_{xyz}(-8, -2, -1)$, giro de -12° sobre el eje X, y giro de 110° sobre el eje Y.

Transformación de coordenadas a partir de la rotación de tres ejes

En el ejemplo anterior se realizó la transformación de coordenadas cuando hay rotación de dos ejes, ahora se considera la rotación alrededor de tres ejes simultáneamente, algo que se asemeja más a la realidad en la dinámica de los robots tipo serie. De igual forma se consideran las matrices (7) a (10), y el orden de multiplicación siguiente:

· Transformación en X

$$T_\alpha = T(y, \phi) * T(z, \theta) * T(x, \alpha) * T(p) \quad (14)$$

· Transformación en Y

$$T_{\varphi} = T(x, \alpha) * T(z, \theta) * T(y, \varphi) * T(p) \quad (15)$$

· Transformación en Z

$$T_{\theta} = T(x, \alpha) * T(y, \varphi) * T(z, \theta) * T(p) \quad (16)$$

Como en el caso anterior, la multiplicación de matrices termina con la matriz de transformación específica, seguida de la matriz punto $T(p)$. Por otra parte, procurar mantener el orden alfabético para operar de izquierda a derecha las matrices restantes. Para comprender mejor este procedimiento ver el Ejercicio de evaluación 1.d.

Ejercicio de evaluación 1.d. Transformación de coordenadas con rotación de tres ejes

a) Obtener la matriz de Transformación T_{φ} que representa las siguientes transformaciones sobre un sistema en el origen: Traslación de un vector (4, -14, -5), giro de 40° sobre el eje Y, giro de -31° sobre el eje Z y giro de -56° sobre el eje X.

Solución ejercicio de evaluación 1.d.

En este caso, al hacer referencia a la transformación T_{φ} , se desea que termine en el sentido proporcionado por el eje Y, por lo tanto, la operación de matrices quedará de igual forma que la ecuación (15). Ahora se procede a reemplazar los valores y las matrices correspondientes:

$$\begin{aligned} T_{\varphi} = & [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ \cos \cos \alpha \ \alpha \ 0 \ 0 \ 0 \ \sin \sin \alpha \ 0 \ \cos \cos \alpha \ 0 \ 0 \ 1 \] \\ & * [\cos \cos \theta \ -\sin \sin \theta \ 0 \ 0 \ \sin \sin \theta \ \cos \cos \theta \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \] \\ & * [\cos \cos \varphi \ 0 \ \sin \sin \varphi \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ -\sin \sin \varphi \ 0 \ 0 \ 0 \ \cos \cos \varphi \ 0 \ 0 \ 1 \] \\ & * [1 \ 0 \ 0 \ P_X \ 0 \ 1 \ 0 \ P_Y \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ P_Z \ 1 \] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{\varphi} = & [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ \cos \cos (-56^\circ) \ (-56^\circ) \ 0 \ 0 \ 0 \ \sin \sin (-56^\circ) \ 0 \ \cos \cos (-56^\circ) \ 0 \ 0 \ 1 \] \\ & * [\cos \cos (-31^\circ) \ -\sin \sin (-31^\circ) \ 0 \ 0 \ \sin \sin (-31^\circ) \ \cos \cos (-31^\circ) \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \] \\ & * [\cos \cos 40^\circ \ 0 \ \sin \sin 40^\circ \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ -\sin \sin 40^\circ \ 0 \ 0 \ 0 \ \cos \cos 40^\circ \ 0 \ 0 \ 1 \] \\ & * [1 \ 0 \ 0 \ P_X \ 0 \ 1 \ 0 \ P_Y \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ P_Z \ 1 \] \end{aligned}$$

Finalmente, la transformación en Y queda así:

$$T_{\varphi} = [0.6566 \ 0.5150 \ 0.5510 \ 8.6903 \ -0.7535 \ 0.4793 \ 0.4500 \ 11.5533 \ -0.0324 \ 0 \\ -0.7106 \ 0 \ 0.7028 \ 0 \ 0.0191 \ 1 \]$$

b) Obtener la matriz de transformación T_{α} que representa las siguientes transformaciones sobre un sistema en el origen: Traslación de un vector P_{xyz} (-10, 5, 14), giro de -112° sobre el eje X, giro de -49° sobre el eje Z, y giro de 90° sobre el eje Y.

En este caso, la transformación será X, por lo tanto, la operación de matrices tendrá la forma de la ecuación (14). Ahora se procede a reemplazar los valores y las matrices correspondientes:

$$T_{\alpha} = \begin{bmatrix} \cos \cos \varphi & 0 & \sin \sin \varphi & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -\sin \sin \varphi & 0 & 0 & 0 & \cos \cos \varphi & 0 & 0 & 1 \\ * & [\cos \cos \theta & -\sin \sin \theta & 0 & 0 & \sin \sin \theta & \cos \cos \theta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1] \\ * & [1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cos \cos \alpha & \alpha & 0 & 0 & 0 & \sin \sin \alpha & 0 & \cos \cos \alpha & 0 & 0 & 1] \\ * & [1 & 0 & 0 & P_X & 0 & 1 & 0 & P_Y & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & P_Z & 1] \end{bmatrix}$$

$$T_{\alpha} = \begin{bmatrix} \cos \cos 90^{\circ} & 0 & \sin \sin 90^{\circ} & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -\sin \sin 90^{\circ} & 0 & 0 & 0 & \cos \cos \varphi 90^{\circ} & 0 & 0 & 1 \\ * & [\cos \cos (-49^{\circ}) & -\sin \sin (-49^{\circ}) & 0 & 0 & \sin \sin (-49^{\circ}) & \cos \cos (-49^{\circ}) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1] \\ * & [1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cos \cos (-112^{\circ}) & (-112^{\circ}) & 0 & 0 & 0 & \sin \sin (-112^{\circ}) & 0 & \cos \cos (-112^{\circ}) & 0 & 0 & 1] \\ * & [1 & 0 & 0 & P_X & 0 & 1 & 0 & P_Y & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & P_Z & 1] \end{bmatrix}$$

Finalmente, la transformación en X queda así:

$$T_{\alpha} = \begin{bmatrix} 0 & -0.9272 & -0.3746 & -13.0179 & -0.7547 & -0.2458 & 0.6083 & 5.8894 \\ & -0.6561 & 0 & -0.2827 & 0 & -0.6998 & 0 & -2.2021 \\ & & & & & & 1 & \end{bmatrix}$$

Ejercicio práctico 1.d. Transformación de coordenadas con rotación de tres

- a) T_{θ} con Traslación de un vector P_{xyz} (-10, 4, 15), giro de 65° sobre el eje X, giro de 70° sobre el eje Y, y giro de 21° sobre el eje Z.
- b) T_{φ} con Traslación de un vector P_{xyz} (30, -12, -7), giro de 24° sobre el eje X, giro de 50° sobre el eje Y, y giro de -122° sobre el eje Z.

Cambio de posición a partir de un nuevo vector de coordenadas

Es posible aplicar las transformaciones halladas a un vector de coordenadas específico y obtener nuevas coordenadas de ubicación. Este vector es de la forma:

$$r_i = [u \ v \ w \ 1]^T \quad (17)$$

Para obtener las nuevas coordenadas se debe multiplicar la matriz de transformación específica con el vector (17), como se muestra en el Ejercicio de evaluación 1.e.

$$r_{xyz} = [x \ y \ z \ 1] = \begin{bmatrix} s_x & s_y & s_z & 0 & n_x & n_y & n_z & 0 & a_x & a_y & a_z & 0 & p_x & p_y & p_z & 1 \end{bmatrix} * [u \ v \ w \ 1] \quad (18)$$

Ejercicio de evaluación 1.e. Transformación de coordenadas en r_{xyz} a partir de un vector de coordenadas r_{uvw}

- a) Aplicar la transformación $\mathbf{T}_\theta$, hallada en el Ejercicio de evaluación 1.c, a un vector con coordenadas $r_{UVW} (2, 2, 2)$, y obtener las coordenadas resultantes.

Solución ejercicio de evaluación 1.e.

Se reemplaza la matriz de transformación y el vector con las nuevas coordenadas en la ecuación (18), así:

$$\begin{aligned} r_{xyz} &= [0.8290 \quad -0.5592 \quad 0 \quad -8.0790 \quad 0.2363 \quad 0.3504 \quad -0.9063 \\ &\quad -6.2683 \quad 0.5068 \quad 0 \quad 0.7514 \quad 0 \quad 0.4226 \quad 0 \quad 10.2194 \quad 1] * [2 \quad 2 \quad 2 \quad 1] \\ r_{xyz} &= [-7.5394 \quad -6.9075 \quad 13.5810 \quad 1] \end{aligned}$$

De esta manera, la posición final se actualiza a las coordenadas en r_{xyz} .

b) Aplicar la transformación T_ϕ hallada en el Ejercicio de evaluación 1.d, a un vector con coordenadas $r_{uvw}(-7, 4, -1)$, y obtener las coordenadas resultantes.

$$\begin{aligned} r_{xyz} &= [0.6566 \quad 0.5150 \quad 0.5510 \quad 8.6903 \quad -0.7535 \quad 0.4793 \quad 0.4500 \quad 11.5533 \\ &\quad -0.0324 \quad 0 \quad -0.7106 \quad 0 \quad 0.7028 \quad 0 \quad 0.0191 \quad 1] * [7 \quad 4 \quad -1 \quad 1] \\ &= [14.7955 \quad 7.7480 \quad -3.7529 \quad 1] \end{aligned}$$

Ejercicio práctico 1.e. Transformación de coordenadas en r_{xyz} a partir de un vector de coordenadas r_{uvw}

Aplicar las transformaciones obtenidas en los Ejercicios prácticos 1.c y 1.d a los siguientes vectores para obtener nuevas coordenadas de ubicación.

- a) $r_{uvw}(-4, -3, 11)$
- b) $r_{opq}(8, 14, -1)$

Componentes y características básicas de los robots industriales

Aplicar los conocimientos de las transformaciones homogéneas es esencial para el cálculo de los modelos geométrico y cinemático, los cuales serán estudiados más adelante. Estos sirven para: describir la tipología de los robots con base en un sistema de coordenadas propio de cada articulación, y describir las velocidades de las articulaciones del robot en el plano cartesiano, respectivamente. Lo primero que se requiere es conocer la nomenclatura y las partes que conforman los robots industriales tipo serie con el objetivo de entender los conceptos y el enfoque que se le da a este estudio.

Brazo mecánico

Inspirado en el brazo humano, este mecanismo está conformado por eslabones conectados en serie que asemejan la función de los huesos y articulaciones accionadas por motores, las cuales unen dichos eslabones. Es parte o la totalidad de la estructura que conforma un robot industrial.

· Articulaciones

Básicamente hay cinco clases: prismática, rotacional, esférica, planar y cilíndrica. Las más comunes son las rotacionales y prismáticas, por lo tanto, en este curso únicamente se trabajará con estas dos.

· Articulación rotacional o rotoide

En la Figura 17 está representada una articulación rotacional, la cual cumple la función de eje accionado por un motor, generalmente de tipo eléctrico, que hace girar uno o ambos eslabones conectados por esta articulación.

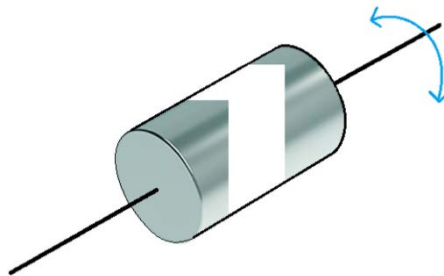


Figura 17
Articulación rotacional o rotoide
Fuente: elaboración propia.

· Articulación prismática o traslacional

En la Figura 18 está representada una articulación prismática que conecta dos eslabones y permite el movimiento relativo de desplazamiento lineal de una o ambas juntas a lo largo del eje común de la articulación.

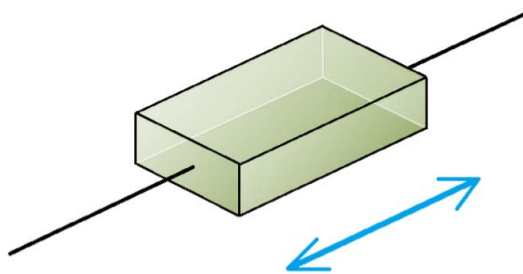


Figura 18
Articulación prismática o traslacional
Fuente: elaboración propia.

Grado de libertad

Cada grado de libertad hace referencia a un tipo de movimiento en particular que cada articulación provee a los eslabones del brazo mecánico.

Actuadores

Son mecanismos capaces de convertir energía, por lo general, eléctrica en energía mecánica con el objetivo de transmitir movimiento a las articulaciones del robot. Las clases de actuadores más comunes son:

· Eléctricos

Son motores o servomotores propulsados generalmente por corriente continua, aunque también se pueden encontrar de corriente alterna para aplicaciones a gran escala. En la Figura 19 se puede observar un actuador eléctrico para robots industriales de tipo serial.

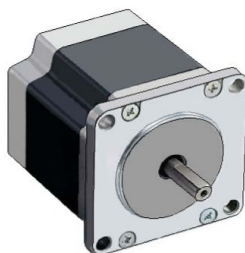


Figura 19
Actuador eléctrico
Fuente: elaboración propia.

· Hidráulicos

Son actuadores alimentados con un fluido a presión, por lo general aceite, con el objetivo de obtener determinado movimiento o desplazamiento. Este desplazamiento puede ser:

· Cilíndrico

Desplazamiento de tipo lineal medido en metros (m). En la Figura 20 se puede observar la sección transversal de un actuador hidráulico de tipo cilíndrico.

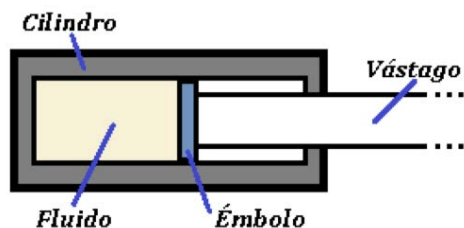


Figura 20
Actuador hidráulico de tipo cilíndrico.
Fuente: elaboración propia.

Desplazamiento angular medido en grados o en radianes. En la Figura 21 se puede observar la sección transversal de un actuador hidráulico de tipo rotativo.

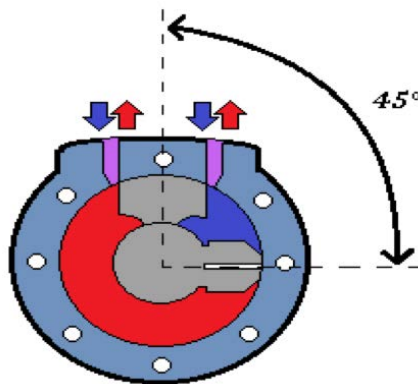


Figura 21
Sección transversal de un actuador hidráulico de tipo rotativo.
Fuente: elaboración propia.

Neumáticos

Son actuadores alimentados con aire a presión, con el objetivo de obtener determinado movimiento o desplazamiento. Pueden clasificarse en cilindros o motores neumáticos:

· Cilindro neumático

Desplazamiento de tipo lineal medido en metros (m). En la Figura 22 se puede observar la sección transversal de un actuador neumático de tipo lineal.

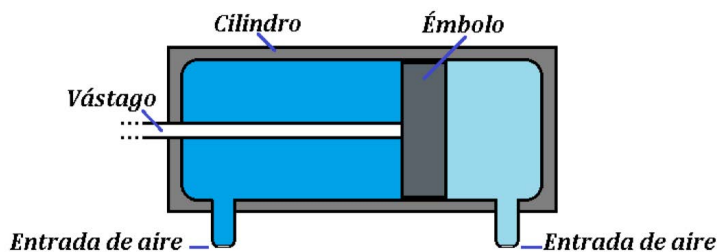


Figura 22
Actuador neumático de tipo cilíndrico.
Fuente: elaboración propia.

· Motor neumático

Desplazamiento angular medido en grados o en radianes. En la Figura 23 se puede observar la sección transversal de un motor neumático.

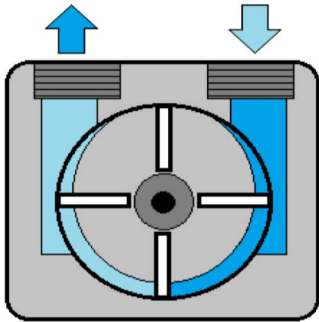


Figura 23
Sección transversal de un motor neumático
Fuente: elaboración propia.

Ventajas y desventajas de los actuadores

En la Tabla 2 se realiza la comparación entre los diferentes actuadores para robots industriales de tipo serial, teniendo en cuenta las ventajas y desventajas de su aplicación.

Actuador	Ventajas	Desventajas
Eléctrico	· Gran precisión · Nivel alto de confiabilidad · Poco ruidoso · Fácil control · Fácil instalación · Requieren poco mantenimiento	· Potencia relativamente baja para motores de corriente continua · Para motores de corrientes alterna se hace complejo el proceso de portabilidad
Hidráulico	· Respuesta rápida · Capacidad de carga elevada · Muy estables frente a cargas estáticas	· Elevado costo de instalación · Alta complejidad de instalación · Mantenimiento complejo
Neumático	· Bajo costo · Respuesta rápida · Baja complejidad de instalación · Robustos	· Contaminación ambiental alta · Contaminación auditiva alta · Alta complejidad de instalación

Tabla 2
Ventajas y desventajas entre actuadores
Fuente: elaboración propia.

Controladores

El controlador es en esencia el cerebro del robot, ahí se generan las órdenes de movimiento y desplazamiento de acuerdo con la referencia o consigna que el usuario programe con antelación. Estas órdenes van a los actuadores ubicados en las articulaciones del robot para que realicen la función de rotar o trasladar los eslabones del mismo.

Referencia o consigna

Es la función o labor para desempeñar por el efector final del robot. Es una función del tiempo que coordina posición, velocidad y aceleración. Es la razón por la cual está diseñado el robot. En la práctica se deben considerar dos clases de consignas:

Consigna articular

Son muy utilizadas para probar o experimentar trayectorias de un robot, también para trayectorias básicas de movimiento suave y continuo, por ejemplo, figuras geométricas elementales o trayectorias lineales.

Consigna cartesiana

Son trayectorias especiales para exigencias industriales en las que se requieren más de dos grados de libertad para que el robot sea capaz de ejecutarlas. Por lo general son de tipo polinómico.

Efector final, herramienta u órgano terminal

Básicamente es la mano del robot, capaz de desempeñar funciones programadas, como: taladrar, soldar, calar, fresar, atornillar, entre otras, o simplemente agarrar piezas u objetos y colocarlas en nuevas ubicaciones, la mayoría de veces de forma más eficiente que un humano, lo que aumenta las tasas de producción industrial. A estos robots se les conoce como 'Pick and place'.

Sensores

Un sensor es un componente capaz de reaccionar ante una señal del entorno (magnitud física o química) e interpretarla para transmitirla a un controlador con el objetivo de que este tome decisiones comparando lo captado por el sensor y las condiciones actuales de su acción de control. Por lo general, los sensores robóticos ya vienen con su etapa de transducción, lo que les permite transformar el tipo de señal captada en un tipo de señal eléctrica e interpretable por el controlador.

Morfología de los robots industriales tipo serie

Hay un sinnúmero de combinaciones que se podrían realizar en un robot, teniendo en cuenta el número de grados de libertad que posee. Se dice que un robot es redundante si posee más grados de libertad de los requeridos para realizar una tarea (Kern et al., 2014). Para ubicar el órgano terminal del robot en cualquier punto del plano cartesiano tridimensional de su espacio operacional, con una determinada orientación y sin restricciones, se requieren de al menos seis grados de libertad. A continuación, en las Figuras 24-29 se pueden observar algunas de las morfologías posibles de robots tipo serie aplicando diferentes combinaciones de articulaciones:

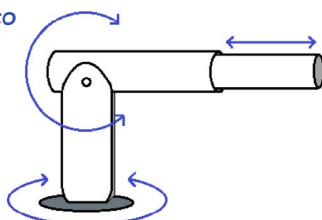
Robot portador esférico

Figura 24
Morfología de un robot portador esférico
Fuente: elaborado a partir de Vivas (2010).

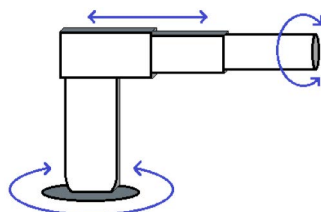
Robot tipo tórico

Figura 25
Morfología de un robot tórico
Fuente: elaborado a partir de Vivas (2010).

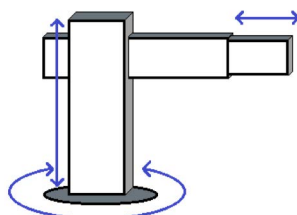
Robot cilíndrico

Figura 26
Morfología de un robot cilíndrico
Fuente: elaborado a partir de Vivas (2010).

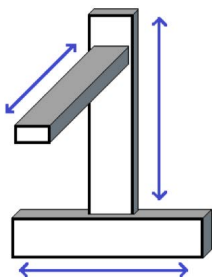
Robot cartesiano

Figura 27
Morfología de un robot cartesiano
Fuente: elaborado a partir de Vivas (2010).

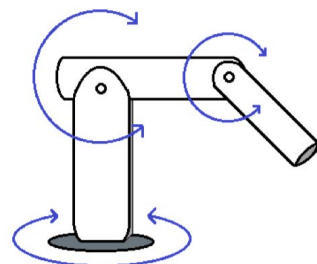
Robot antropomórfico

Figura 28
Morfología de un robot antropomórfico
Fuente: elaborado a partir de Vivas (2010).

Robot tipo SCARA

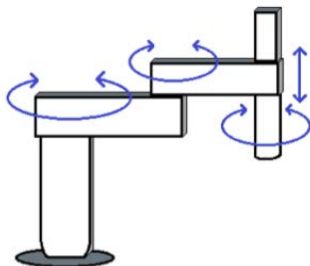


Figura 29
Morfología de un robot tipo SCARA
Fuente: elaborado a partir de Vivas (2010).

En la Unidad 1 del OV RobotsLearning se encuentran los hitos más importantes en la historia de la robótica, al igual que videos complementarios sobre la evolución de la robótica, tal como se aprecia en la Figura 30.



Figura 30
Historia de la robótica e hitos más importantes
Fuente: elaboración propia.

Espacio articular

Es el espacio en donde se diseña el robot, el cual expresa la ubicación del conjunto de eslabones que conforman el brazo mecánico en función de las articulaciones (rotacionales y/o traslacionales). Su dimensión dependerá del número de articulaciones que posea, en otras palabras, dependerá del número de grados de libertad del robot.

Espacio operacional

También conocido como: espacio de trabajo efectivo (Cao et al., 2011) es el espacio o conjunto de puntos que puede ser alcanzado por el efector final, y donde este se desempeña. Cabe destacar que cuando el órgano terminal está sobre el límite de su espacio operacional, el robot puede caer en una configuración singular. Este fenómeno será abordado más adelante, en el estudio del modelo cinemático. En la Figura 31 se presenta la vista superior de la trayectoria del espacio de trabajo efectivo de un robot SCARA. El órgano terminal del robot podrá alcanzar cualquier punto dentro de esta zona.

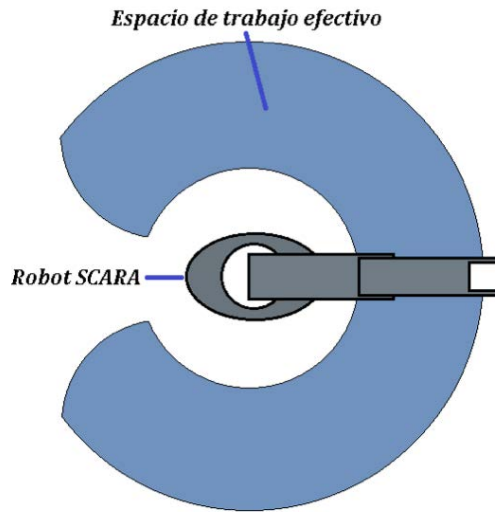


Figura 31
Vista superior del espacio de trabajo efectivo del robot SCARA
Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO 2: El modelo geométrico

El modelo geométrico corresponde al cálculo de la posición y orientación del órgano terminal con respecto a la base del robot sin la necesidad de tener un sistema de visión de máquina. Permite conocer la situación de cada eslabón con respecto a los demás, dadas las posiciones articulares, situadas en un sistema de referencia propio. En otras palabras, el modelo geométrico contiene la información referente a la geometría de los cuerpos del robot, ubicados en el espacio articular, y teniendo en cuenta el tipo de articulación, referencia cada una de estas en un plano cartesiano propio con el objetivo de determinar unos parámetros que caracterizarán su geometría.

Para el cálculo del modelo geométrico, en esta guía se aplica el método propuesto por Wisama Khalil & J. F. Kleinfinger (1986), quienes utilizan una notación geométrica universal, sin limitaciones por morfologías de robots complejos. Este modelo está dividido en dos:

1. El modelo geométrico directo, el cual permite que la base del robot obtenga la posición y orientación del efector final en cada instante, referente al tiempo de muestreo.
2. El modelo geométrico inverso, donde, a través de las ecuaciones obtenidas en el modelo geométrico directo, es posible determinar la posición de cada articulación del robot con el fin de ubicar el efector final en la situación de referencia deseada.

De esta manera, el modelo geométrico directo corresponde a la situación del órgano terminal con respecto a la base del robot. Por su parte, el modelo geométrico inverso especifica la relación existente entre la posición de cada articulación y el órgano terminal. En la Figura 32 se representa la relación entre las dos partes del modelo geométrico.

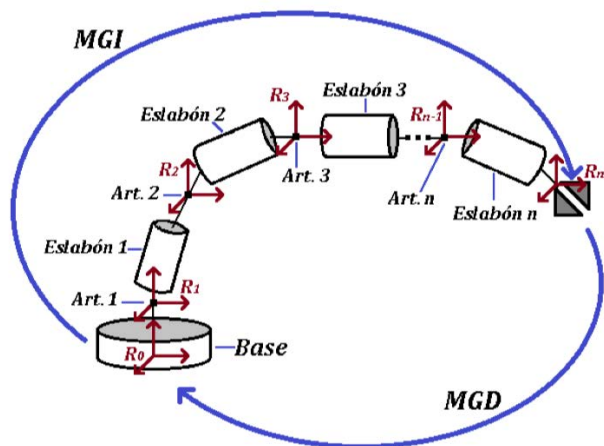


Figura 32
Relación entre modelo geométrico directo e inverso.
Fuente: elaborado a partir de Vivas (2010).

En la Unidad 2 del OV RobotsLearning se encuentran los componentes del modelo geométrico, al igual que videos complementarios, tal como se aprecia en la Figura 33.

« Anterior
Siguiente »»

ROBOTICA INDUSTRIAL

Robótica Industrial

Unidad 1: Introducción a la robótica

Unidad 2: Modelos de los Robots Industriales.

Taller 2

Unidad 3: Modelo Cinemático.

Unidad 2: Modelos de los Robots Industriales.



Modelos.

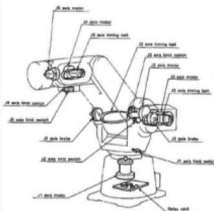


Figura 33
Unidad 2. El modelo geométrico
Fuente: elaboración propia.

Como se mencionó, lo primero que se requiere es determinar una serie de parámetros que servirán para construir el modelo geométrico directo. A este grupo de parámetros se le conoce con el nombre de parámetros geométricos.

Cálculo de los parámetros geométricos de un robot tipo serie

El primer paso es ubicar los ejes X y Z para cada articulación del robot, de igual forma la base. Z corresponde al eje sobre el cual hay desplazamiento de la articulación, es decir, hay rotación o traslación según sea el caso. Note que el eje Y no es mencionado al no ser requerido para el posicionamiento cartesiano de cada articulación. X_i será el eje perpendicular común a Z_i y Z_{i+1} . De esta manera, haciendo uso de la notación propuesta (Khalil & Kleinfinger, 1986) se definen los siguientes cinco parámetros geométricos para cada articulación:

α_i : Ángulo entre Z_{i-1} y Z_i alrededor de X_{i-1} .

d_i : Distancia entre Z_{i-1} y Z_i a lo largo de X_{i-1} .

$$\theta_i: \text{Ángulo entre } X_{i-1} \text{ y } X_i \text{ alrededor de } Z_i.$$

r_i : Distancia entre X_{i-1} y X_i a lo largo de Z_i .

σ_i : Representa el tipo de articulación. Será igual a cero (0) si la articulación del caso es de tipo rotacional, y será igual a uno (1) si es de tipo traslacional.

Ahora bien, para cada articulación se debe hallar estos parámetros, por lo tanto, se aconseja ubicarlos en una tabla que –para el cálculo del modelo geométrico– facilitará su aplicación. A continuación, se presenta la Tabla 3 con la estructura básica para la obtención de los parámetros geométricos.

i	α_i	d_i	θ_i	r_i	σ_i
1					
2					
$\vdots$					
n					

Tabla 3
Estructura básica para la obtención de los parámetros geométricos
Fuente: elaboración propia.

Donde, i representa la articulación a estudiar, partiendo desde la base del robot como referencia 0 hacia el órgano terminal, y n representa el número total de articulaciones o grados de libertad que presenta el robot.

Para el cálculo del parámetro α_i se utiliza la regla de la mano derecha tal como se observa en la Figura 34.

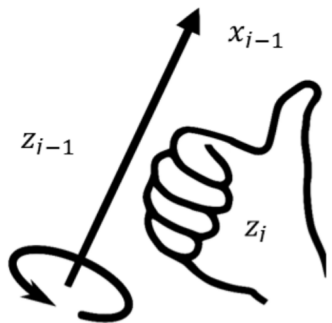


Figura 34
Regla de la mano derecha para el cálculo del parámetro α_i
Fuente: elaboración propia.

Se ubica el pulgar en el sentido del eje X_{i-1} , los demás dedos en la dirección de Z_{i-1} . Si al cerrar la mano, los dedos van en la dirección de Z_i , se estará formando un ángulo de 90° ; por el contrario, si la mano en vez de cerrarse tiene que abrirse antinaturalmente para alcanzar Z_i , se estará formando un ángulo de -90° . Esto equivale a ubicar el pulgar en el sentido de $-X_{i-1}$ para realizar el movimiento natural.

El parámetro d_i corresponde a una distancia entre los ejes Z de dos articulaciones consecutivas Z_{i-1} y Z_i a lo largo del eje X_{i-1} , por lo tanto, X_{i-1} deberá ser un eje perpendicular común a los ejes Z correspondientes.

Para el cálculo del parámetro θ_i se debe fijar el eje X_{i-1} mientras rota X_i alrededor de Z_i . Este parámetro indica la presencia de una articulación rotoide. Podría existir el caso de hallar un ángulo recto entre X_{i-1} y X_i sin que haya una articulación rotoide.

El parámetro r_i indica directamente la presencia de una articulación prismática. Podría existir el caso de hallar una distancia entre los ejes X sin que haya una articulación de este tipo. En este caso, se debe comprobar que la distancia entre los ejes X_{i-1} y X_i a lo largo del eje Z_i sea fija, de lo contrario, no existirá el parámetro para los ejes del caso, por lo tanto, será igual a cero.

A continuación, se presentan algunos ejemplos para el cálculo de los parámetros geométricos de robots con diferentes morfologías.

Ejercicio de evaluación 2.a. Cálculo de los parámetros geométricos de robots tipo serie

Hallar los parámetros geométricos de un Robot tipo SCARA

Solución ejercicio de evaluación 2.a.

La Figura 35 muestra la arquitectura de un robot SCARA de cuatro grados de libertad, donde las tres primeras articulaciones son rotoides y la cuarta es prismática.

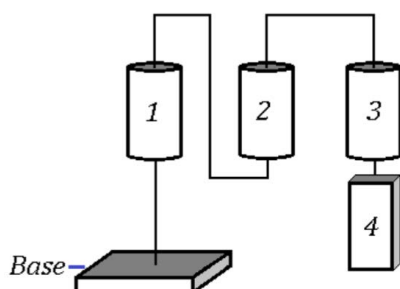


Figura 35
Arquitectura de un robot SCARA
Fuente: elaboración propia.

Se procede a ubicar los ejes X y Z para cada una de las articulaciones, partiendo desde la base, tal como se muestra en la Figura 36.

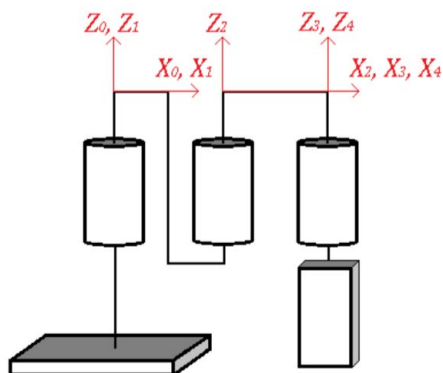


Figura 36
Ubicación de los ejes X y Z para cada articulación
Fuente: elaboración propia.

Observe que X_0 es un eje perpendicular común a Z_0 y Z_1 ; X_1 es perpendicular común a Z_1 y Z_2 ; X_2 es perpendicular común a Z_2 y Z_3 ; X_3 es perpendicular común a Z_3 y Z_4 ; finalmente, X_4 es perpendicular común a Z_4 . Tenga en cuenta que, al no haber una quinta articulación, la regla de perpendicularidad del eje X_i solo aplica para Z_i en la última articulación.

El primer parámetro para encontrar es α_i , por lo tanto, utilizando la regla de la mano derecha se puede comprobar que todos los α_i son cero al no formarse ángulo alguno entre Z_{i-1} y Z_i , correspondiente a una rotación alrededor de X_{i-1} .

El segundo parámetro es d_i . En la Figura 37 se puede observar la presencia de distancias específicamente entre Z_1 y Z_2 a lo largo de X_1 , asimismo, entre Z_2 y Z_3 a lo largo de X_2 . Considere que entre Z_0 y Z_1 no hay distancia de separación ya que se encuentran sobre el mismo eje, de igual manera para Z_3 y Z_4 .

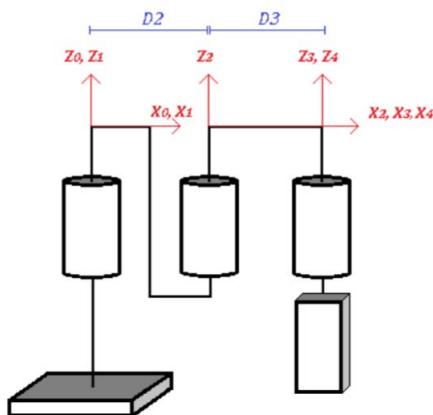


Figura 37
Obtención del parámetro geométrico d_i
Fuente: elaboración propia.

La existencia del parámetro θ_i se evidencia fácilmente para las tres primeras articulaciones teniendo en cuenta que son de tipo rotacional. Observe que la cuarta articulación es prismática, por lo tanto, no hay posibilidad de giro de X_4 alrededor de Z_4 .

El parámetro r_i se evidencia únicamente para la cuarta articulación, teniendo en cuenta que es prismática. Para las demás articulaciones no se haya distancias fijas entre ejes X consecutivos a lo largo del eje Z correspondiente.

Finalmente, el parámetro σ_i para las tres primeras articulaciones es $\sigma_i=0$ teniendo en cuenta que son de tipo rotacional. La cuarta articulación es de tipo traslacional, por lo tanto, $\sigma_i=1$.

A continuación, se procede a rellenar la siguiente tabla con los parámetros geométricos correspondientes al robot SCARA.

i	α_i	d_i	θ_i	r_i	σ_i
1	0	0	θ_1	0	0
2	0	D2	θ_2	0	0
3	0	D3	θ_3	0	0
4	0	0	0	R4	1

Tabla 4
Parámetros geométricos del robot SCARA
Fuente: elaboración propia.

b. Hallar los parámetros geométricos de un robot tipo cilíndrico

La Figura 38 muestra la arquitectura de un robot cilíndrico de cuatro grados de libertad, donde la primera y la cuarta articulación son de tipo rotoide y la segunda y la tercera, prismáticas.

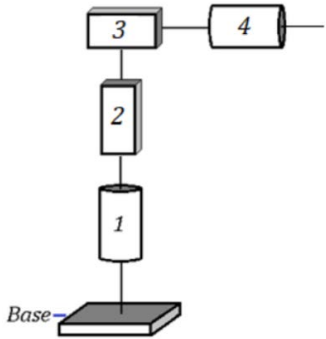


Figura 38
Arquitectura de un robot cilíndrico
Fuente: elaboración propia.

Se procede a ubicar los ejes X y Z para cada una de las articulaciones, partiendo desde la base, tal como se muestra en la Figura 39.

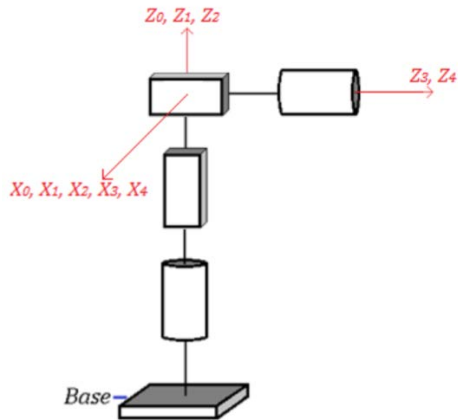


Figura 39
Ubicación de los ejes X y Z para cada articulación
Fuente: elaboración propia.

Observe que X_0 es un eje perpendicular común a Z_0 y Z_1 ; X_1 es perpendicular común a Z_1 y Z_2 ; X_2 es perpendicular común a Z_2 y Z_3 ; X_3 es perpendicular común a Z_3 y Z_4 ; finalmente, X_4 es perpendicular común a Z_4 . Tenga en cuenta que, al no haber una quinta articulación la regla de perpendicularidad del eje X_i solo aplica para Z_i en la última articulación.

Ahora bien, se procede a calcular los cinco parámetros geométricos del robot cilíndrico. El primer parámetro para hallar es α_i , por lo tanto, utilizando la regla de la mano derecha observada en la figura 33 se obtiene que los α_i con $i = 1, 2$ son cero, es decir, $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$ ya que Z_0, Z_1 y Z_2 comparten el mismo eje, por ende, no se forma ángulo entre estos. $\alpha_3 = -90^\circ$, ya que se forma dicho ángulo entre los ejes Z_2 y Z_3 , correspondiente a una rotación alrededor de X_2 . Finalmente, $\alpha_4 = 0$, teniendo en cuenta que, al no haber una quinta articulación no hay un Z_5 y la regla de la mano derecha no puede aplicarse.

El segundo parámetro es d_i . En este caso, $d_i = 0$ para $i = 1, 2, 3, 4$, recordando que d_i corresponde a una distancia entre los ejes Z de dos articulaciones consecutivas Z_{i-1} y Z_i a lo largo del eje X_{i-1} . Considere que entre Z_0, Z_1 y Z_2 no hay distancia de separación ya que se encuentran sobre el mismo eje, de igual manera Z_3 y Z_4 .

La existencia del parámetro θ_i se evidencia fácilmente para $i = 1, 4$, es decir, para las articulaciones 1 y 4, teniendo en cuenta que son de tipo rotacional. Observe que la segunda y tercera articulación son de tipo prismática, por lo tanto, no hay posibilidad de giro de X_2 alrededor de Z_2 , y de X_3 alrededor de Z_3 , respectivamente.

El parámetro r_i se evidencia únicamente para las articulaciones 2 y 3, teniendo en cuenta que son prismáticas. Para las demás articulaciones no se haya distancias fijas entre ejes X consecutivos a lo largo del eje Z correspondiente.

Finalmente, el parámetro i , para las articulaciones 1 y 4, es igual a cero (0) teniendo en cuenta que son de tipo rotacional. Las articulaciones 2 y 3 son de tipo traslacional, por lo tanto, corresponden a un valor de uno (1).

A continuación, se procede a rellenar la siguiente tabla con los parámetros geométricos correspondientes al robot cilíndrico.

i	α_i	d_i	θ_i	r_i	σ_i
1	0	0	θ_1	0	0
2	1	0	0	R_2	1
3	1	0	0	R_3	1
4	0	0	θ_4	0	0

Tabla 5

Parámetros geométricos del robot cilíndrico

Fuente: elaboración propia.

Ejercicio práctico 2.a. Tabla de parámetros geométricos de robots tipo serie

Determinar la tabla de parámetros geométricos para los siguientes robots tipo serie:

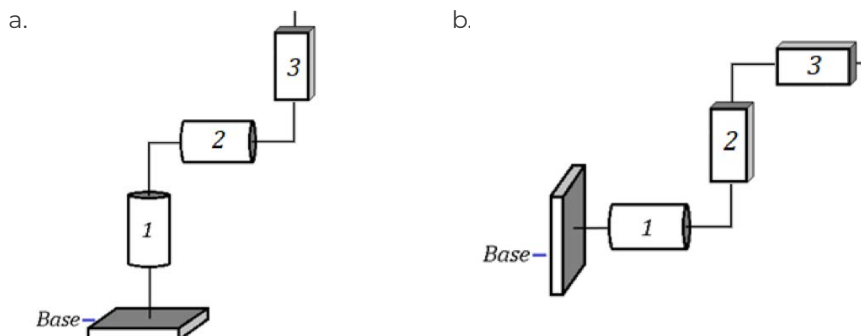


Figura 40 y 41
Fuente: elaboración propia.

Modelo geométrico directo

Una vez hallada la tabla de parámetros geométricos, se procede a calcular el modelo geométrico directo, necesario para conocer la posición y orientación del efector final en cada instante, con respecto a la base. El modelo geométrico directo –para un robot de n grados de libertad– está representado por la matriz 0T_n , el cual se obtiene multiplicando las matrices ${}^0T_1 * {}^1T_2 * \dots * {}^{n-2}T_{n-1} * {}^{n-1}T_n$, para esto es necesario primero calcular todas y cada una de las matrices que representan la transformación de coordenadas del robot. Este proceso se lleva a cabo haciendo uso de la siguiente matriz.

$${}^i-1T_i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i (\cos\alpha_i)(\sin\theta_i) (\sin\alpha_i)(\sin\theta_i) 0 \\ -\sin\theta_i (\cos\alpha_i)(\cos\theta_i) (\sin\alpha_i)(\cos\theta_i) 0 0 \\ -\sin\alpha_i \cos\alpha_i 0 d_i - (r_i)(\sin\alpha_i) (r_i)(\cos\alpha_i) 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

A continuación, se presenta el cálculo del modelo geométrico directo para cada uno de los robots del Ejercicio de evaluación 2a.

Ejercicio de evaluación 2b. Cálculo del modelo geométrico directo

Determinar el modelo geométrico directo de los robots del Ejercicio de evaluación 2a.

a) Robot SCARA

Solución ejercicio de evaluación 2.b.

A continuación, haciendo uso de la tabla de parámetros geométricos del robot SCARA (Tabla 4), se procede a calcular las matrices que representan la transformación de coordenadas de este robot haciendo uso de la ecuación (19), así:

Para $i=1$

$${}^0T_1 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 (\cos\alpha_1)(\sin\theta_1) (\sin\alpha_1)(\sin\theta_1) 0 \\ -\sin\theta_1 (\cos\alpha_1)(\cos\theta_1) (\sin\alpha_1)(\cos\theta_1) 0 & 0 & -\sin\alpha_1 \cos\alpha_1 0 & d_1 \\ -(r_1)(\sin\alpha_1) (r_1)(\cos\alpha_1) 1 & & & \end{bmatrix}$$

Remplazando: $\alpha_1 = 0$; $d_1 = 0$; $r_1 = 0$, se tiene,

$${}^0T_1 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 \sin\theta_1 0 0 & -\sin\theta_1 \cos\theta_1 0 0 & 0 0 1 0 & 0 0 0 1 \end{bmatrix}$$

Con el objetivo de minimizar la escritura de los valores de las matrices, a partir de este momento, se utilizará la siguiente notación:

$\sin\theta_1 = S1$; $\cos\theta_1 = C1$; $\sin\theta_2 = S2$; $\cos\theta_2 = C2$; etc. por lo tanto:

$${}^0T_1 = \begin{bmatrix} C1 S1 0 0 & -S1 C1 0 0 & 0 0 1 0 & 0 0 0 1 \end{bmatrix}$$

Para $i = 2$, con $\alpha_2 = 0$; $d_2 = D2$; $r_2 = 0$, se tiene,

$${}^1T_2 = \begin{bmatrix} C2 S2 0 0 & -S2 C2 0 0 & 0 0 1 0 & D2 0 0 1 \end{bmatrix}$$

Para $i = 3$, con $\alpha_3 = 0$; $d_3 = D3$; $r_3 = 0$, se tiene,

$${}^2T_3 = \begin{bmatrix} C3 S3 0 0 & -S3 C3 0 0 & 0 0 1 0 & D3 0 0 1 \end{bmatrix}$$

Finalmente, para $i=4$, con $\alpha_4 = 0$; $d_4 = 0$; $r_4 = R4$ y $\theta_4 = 0$, se tiene,

$${}^3T_4 = \begin{bmatrix} 1 0 0 0 & 0 1 0 0 & 0 0 1 0 & 0 0 R4 1 \end{bmatrix}$$

Después de obtener las matrices de transformación del robot se procede a calcular el modelo geométrico directo, así:

$${}^0T_4 = {}^0T_1 * {}^1T_2 * {}^2T_3 * {}^3T_4$$

Es decir,

$$\begin{aligned} {}^0T_4 &= \begin{bmatrix} C1 S1 0 0 & -S1 C1 0 0 & 0 0 1 0 & 0 0 0 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C2 S2 0 0 \\ -S2 C2 0 0 & 0 0 1 0 & D2 0 0 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C3 S3 0 0 \\ -S3 C3 0 0 & 0 0 1 0 & D3 0 0 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 0 0 0 & 0 1 0 0 & 0 0 1 0 & 0 0 R4 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

El primer paso es multiplicar de izquierda a derecha ${}^0T_1 * {}^0T_2$. Para obtener la matriz 0T_2 , simplificando la secuencia de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} {}^0T_4 &= \begin{bmatrix} C1 C2 - S1 S2 S1 C2 + S2 C1 0 0 & -S2 C1 - S1 C2 - S1 S2 \\ + C1 C2 0 0 & 0 0 1 0 & D2 C1 D2 S1 0 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C3 S3 0 0 \\ -S3 C3 0 0 & 0 0 1 0 & D3 0 0 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 0 0 0 & 0 1 0 0 & 0 0 1 0 & 0 0 R4 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Es decir,

$${}^0T_4 = {}^0T_2 * {}^2T_3 * {}^3T_4$$

Con el objetivo de simplificar más la escritura de ecuaciones es aconsejable hacer uso de identidades trigonométricas, en especial, las dos siguientes:

$$\sin \sin (x + y) = \sin \sin (x) \cos \cos (y) + \sin(y) \cos (x) \quad (20)$$

$$\cos \cos (x + y) = \cos \cos (x) \cos \cos (y) - \sin(x) \sin (y) \quad (21)$$

Por lo tanto,

$$\sin \theta_1 \cos \theta_2 + \sin \theta_2 \cos \theta_1 = \sin \sin (\theta_1 + \theta_2) = S_{1,2}$$

$$\cos \theta_1 \cos \theta_2 - \sin \theta_1 \sin \theta_2 = \cos (\theta_1 + \theta_2) = C_{1,2}$$

Luego,

$$\begin{aligned} & {}^{0}T_4 \\ &= [C_{1,2} S_{1,2} 0 0 \quad -S_{1,2} C_{1,2} 0 0 \quad 0 0 1 0 \quad D_2 C_1 D_2 S_1 0 1] [C_3 S_3 0 0 \\ & \quad -S_3 C_3 0 0 \quad 0 0 1 0 \quad D_3 0 0 1] [1 0 0 0 \quad 0 1 0 0 \quad 0 0 1 0 \quad 0 0 R_4 1] \end{aligned}$$

Ahora, se multiplica las matrices ${}^{0}T_2 * {}^{2}T_3$ para obtener la matriz ${}^{0}T_3$, simplificando la secuencia de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} {}^{0}T_4 &= [C_{1,2} C_3 - S_{1,2} S_3 S_{1,2} C_3 + S_3 C_{1,2} 0 0 \quad -S_3 C_{1,2} - S_{1,2} C_3 - S_{1,2} S_3 \\ & \quad + C_{1,2} C_3 0 0 \quad 0 0 1 0 \quad D_3 C_{1,2} + D_2 C_1 D_3 S_{1,2} \\ & \quad + D_2 S_1 0 1] [1 0 0 0 \quad 0 1 0 0 \quad 0 0 1 0 \quad 0 0 R_4 1] \end{aligned}$$

Es decir,

$$\begin{aligned} {}^{0}T_4 &= [C_{1,2,3} S_{1,2,3} 0 0 \quad -S_{1,2,3} C_{1,2,3} 0 0 \quad 0 0 1 0 \quad D_3 C_{1,2} + D_2 C_1 D_3 S_{1,2} \\ & \quad + D_2 S_1 0 1] [1 0 0 0 \quad 0 1 0 0 \quad 0 0 1 0 \quad 0 0 R_4 1] \end{aligned}$$

Finalmente,

$${}^{0}T_4 = {}^{0}T_3 * {}^3T_4$$

Por lo tanto, el modelo geométrico directo del robot SCARA queda de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} {}^{0}T_4 &= [C_{1,2,3} S_{1,2,3} 0 0 \quad -S_{1,2,3} C_{1,2,3} 0 0 \quad 0 0 1 0 \quad D_3 C_{1,2} + D_2 C_1 D_3 S_{1,2} \\ & \quad + D_2 S_1 R_4 1] \end{aligned}$$

b) Robot cilíndrico

A continuación, haciendo uso de la tabla de parámetros geométricos del robot cilíndrico (Tabla 5), se procede a calcular las matrices que representan la transformación de coordenadas de este robot haciendo uso de la ecuación (19), así:

Para $i = 1$:

$$\begin{aligned} {}^{0}T_1 &= [\cos \theta_1 (\cos \alpha_1) (\sin \theta_1) (\sin \alpha_1) (\sin \theta_1) 0 \\ & \quad - \sin \theta_1 (\cos \alpha_1) (\cos \theta_1) (\sin \alpha_1) (\cos \theta_1) 0 \quad 0 \quad - \sin \alpha_1 \cos \alpha_1 0 \quad d_1 \\ & \quad - (r_1) (\sin \alpha_1) (r_1) (\cos \alpha_1) 1] \end{aligned}$$

Reemplazando: $\alpha_1 = 0$; $d_1 = 0$; $r_1 = 0$, se tiene,

$${}^0T_1 = [C1\ S1\ 0\ 0 \quad -S1\ C1\ 0\ 0 \quad 0\ 0\ 1\ 0 \quad 0\ 0\ 0\ 1 \]$$

Para $i=2$, con $\alpha_2 = 0$; $d_2 = 0$; $r_2 = R2$ y $\theta_2 = 0$, se tiene,

$${}^1T_2 = [1\ 0\ 0\ 0 \quad 0\ 1\ 0\ 0 \quad 0\ 0\ 1\ 0 \quad 0\ 0\ R2\ 1 \]$$

Para $i=3$, con $\alpha_3 = -90^\circ$; $d_3 = 0$; $r_3 = R3$ y $\theta_3 = 0$ se tiene,

$${}^2T_3 = [1\ 0\ 0\ 0 \quad 0\ 0 \quad -1\ 0 \quad 0\ 1\ 0\ 0 \quad 0\ R3\ 0\ 1 \]$$

Finalmente, Para $i=3$, con $\alpha_4 = 0$; $d_4 = 0$; $r_4 = 0$, se tiene,

$${}^3T_4 = [C4\ S4\ 0\ 0 \quad -S4\ C4\ 0\ 0 \quad 0\ 0\ 1\ 0 \quad 0\ 0\ 0\ 1 \]$$

Después de obtener las matrices de transformación del robot se procede a calcular el modelo geométrico directo, así:

$${}^0T_4 = {}^0T_1 * {}^1T_2 * {}^2T_3 * {}^3T_4$$

Es decir,

$$\begin{aligned} & {}^0T_4 \\ &= [C1\ S1\ 0\ 0 \\ &\quad -S1\ C1\ 0\ 0 \quad 0\ 0\ 1\ 0 \quad 0\ 0\ 0\ 1 \] [1\ 0\ 0\ 0 \quad 0\ 1\ 0\ 0 \quad 0\ 0\ 1\ 0 \quad 0\ 0\ R2\ 1 \] [1\ 0\ 0\ 0 \quad 0\ 0 \\ &\quad -1\ 0 \quad 0\ 1\ 0\ 0 \quad 0\ R3\ 0\ 1 \] [C4\ S4\ 0\ 0 \quad -S4\ C4\ 0\ 0 \quad 0\ 0\ 1\ 0 \quad 0\ 0\ 0\ 1 \] \\ & {}^0T_4 = [C1\ S1\ 0\ 0 \quad -S1\ C1\ 0\ 0 \quad 0\ 0\ 1\ 0 \quad 0\ 0\ R2\ 1 \] [1\ 0\ 0\ 0 \quad 0\ 0 \\ &\quad -1\ 0 \quad 0\ 1\ 0\ 0 \quad 0\ R3\ 0\ 1 \] [C4\ S4\ 0\ 0 \\ &\quad -S4\ C4\ 0\ 0 \quad 0\ 0\ 1\ 0 \quad 0\ 0\ 0\ 1 \] \end{aligned}$$

Es decir,

$${}^0T_4 = {}^0T_2 * {}^2T_3 * {}^3T_4$$

Luego,

$$\begin{aligned} {}^0T_4 &= [C1\ S1\ 0\ 0 \quad 0\ 0 \quad -1\ 0 \quad -S1\ C1\ 0\ 0 \quad -R3S1\ R3C1\ R2\ 1 \] [C4\ S4\ 0\ 0 \\ &\quad -S4\ C4\ 0\ 0 \quad 0\ 0\ 1\ 0 \quad 0\ 0\ 0\ 1 \] \end{aligned}$$

Es decir,

$${}^0T_4 = {}^0T_3 * {}^3T_4$$

Finalmente, el modelo geométrico directo del robot cilíndrico queda de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} {}^0T_4 &= [C1C4\ S1C4 \quad -S4\ 0 \quad -S4C1 \quad -S1S4 \quad -C4\ 0 \quad -S1\ C1\ 0\ 0 \\ &\quad -R3S1\ R3C1\ R2\ 1 \] \end{aligned}$$

Ejercicio práctico 2.b. El modelo geométrico directo de robots tipo serie

Determinar el modelo geométrico directo de los robots del Ejercicio práctico 2.a.

En la Unidad 2 del OV RobotsLearning se encuentra un taller del modelo geométrico como ejercicio práctico adicional, tal como se aprecia en la Figura 42.

Robótica Industrial

Unidad 1: Introducción a la robótica

Unidad 2: Modelos de los Robots Industriales.

Tabla de parámetros.

Modelo Geométrico Directo.

Modelo Geométrico Inverso.

[Taller 2](#)

Unidad 3: Modelo Cinemático.

Taller 2



Actividad

Modelo geométrico directo

Taller: Hallar el modelo geométrico directo de los siguientes robots:

a)

b)

Robot SCARA

Unicomfacauca

Diapositiva 2

Figura 42

Taller sobre el modelo geométrico directo

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO 3: El modelo cinemático

Para el cálculo del modelo cinemático se consideran las propiedades geométricas del robot de estudio, las cuales fueron previamente determinadas en el modelo geométrico. Este modelo puede ser representado de dos formas complementarias: modelo cinemático directo y modelo cinemático inverso.

En la Unidad 3 del OV RobotsLearning se encuentran los componentes del modelo cinemático, además de videos complementarios, tal como se aprecia en la Figura 41.

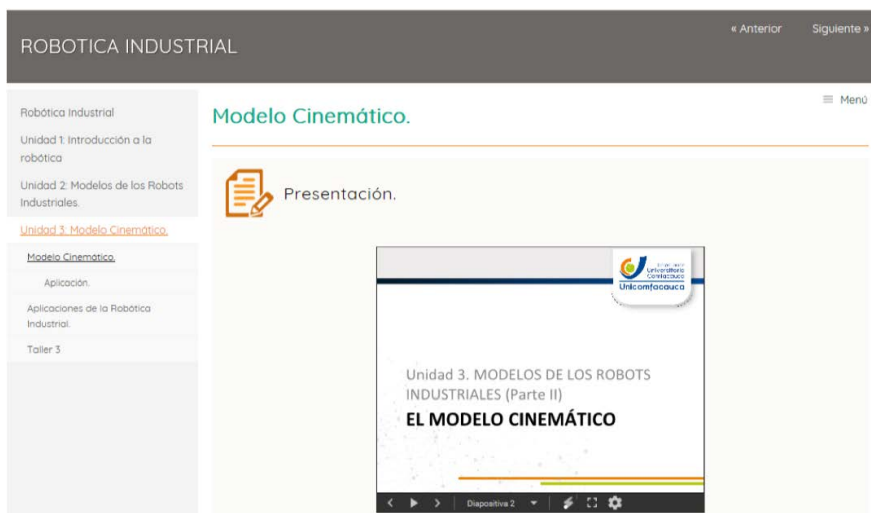


Figura 43
Unidad 3. Modelo cinemático.
Fuente: elaboración propia.

El modelo cinemático directo

Esta parte del modelo determina las velocidades de las articulaciones de un robot dentro del plano cartesiano tridimensional de su espacio operacional, en función de la velocidad de cada articulación en el espacio articular (Vivas, 2010) sin considerar las fuerzas que producen el movimiento de estas. Matemáticamente, se expresa de la siguiente manera:

$$\dot{X} = J(q)\dot{q} \quad (22)$$

Donde,

$\dot{X} = [\dot{x} \ \dot{y} \ \dot{z} \ \omega_x \ \omega_y \ \omega_z]$: es la derivada de las posiciones cartesianas, es decir, las velocidades lineales y rotacionales en los tres ejes cartesianos.

$J(q) = \frac{\partial x}{\partial q}$, denominada matriz Jacobiana, descrita matemáticamente como la derivada parcial de las posiciones cartesianas y las posiciones articulares, la cual expresa la relación entre las velocidades cartesianas y articulares, partiendo de la base del robot hacia el órgano terminal.

$\dot{q}$, expresa la derivada de las posiciones articulares, es decir, las velocidades articulares.

Esta guía se basa en el método propuesto por Khalil & Dombre (2002) para el cálculo de la matriz jacobiana, el cual presenta una ecuación general para determinar –una a una las columnas de dicha matriz. El número de columnas es equivalente al número de grados de libertad (n) del robot a estudiar, por lo tanto, la matriz Jacobiana será de dimensión $6 \times n$. Si la matriz resultante no es cuadrada, es decir, si el robot no es de seis grados de libertad, se perderán $(6-n)$ grados de libertad. Finalmente, si se da este caso, se deben eliminar las filas o columnas nulas con el objetivo de volverla cuadrada y sea invertible para calcular el modelo cinemático inverso.

A continuación, en la ecuación (23) se expresa matemáticamente la fórmula para calcular cada columna de la matriz jacobiana en dos partes, es decir, con la primera expresión se hallan los primeros 3 términos de la columna, y con la segunda expresión se hallan los 3 últimos términos.

$$nJ_{n:i} = \left[\sigma_i n a_i + \underline{\sigma}_i (-i P_{ny} n s_i + i P_{nx} n n_i) \underline{\sigma}_i n a_i \right] \quad (23)$$

Donde,

σ_i , representa el tipo de articulación (rotoide o prismática);

$\underline{\sigma}_i$, es la negación binaria de σ_i , es decir, si $\sigma_i = 0$, entonces, $\underline{\sigma}_i = 1$, y viceversa.

P , representa el vector punto descrito en la ecuación (1).

s , n , a , representan los vectores columna, correspondientes a la matriz de orientación descrita en la ecuación (2).

A continuación, se presenta el cálculo del modelo cinemático directo para el robot SCARA.

Ejercicio de evaluación 3. Cálculo del modelo cinemático directo

Construir el modelo cinemático directo del robot tipo SCARA.

Solución ejercicio de evaluación 3.

Haciendo uso de la tabla de parámetros geométricos del robot SCARA (Tabla 5), y de las matrices de transformación obtenidas en el ejemplo Ejercicio de evaluación 2.b, se procede a calcular la matriz Jacobiana mediante la ecuación (23) para la posterior construcción del modelo cinemático directo.

Para $i = 1$:

$$0J_{4:1} = \left[\sigma_1 0 a_1 + \underline{\sigma}_1 (-1 P_{4y} 0 s_1 + 1 P_{4x} 0 n_1) \underline{\sigma}_1 0 a_1 \right]$$

Observe que $\sigma_1=0$ teniendo en cuenta que la primera articulación es de tipo rotacional, por lo tanto, el factor $0a_1$ es nulo, de esta manera, se procede a solucionar el otro sumando, así:

$\underline{\sigma}_1=1$, luego, se debe calcular el parámetro $1P_{4y}$, que equivale a obtener la matriz de transformación $1T_{4'}$ y de esta seleccionar el término de la posición P_y según la ecuación (3). Por lo tanto:

$$\begin{aligned} -1P_{4y}0s_1 + 1P_{4x}0n_1 &= -(D3S2)[C1\ S1\ 0] + (D3C2 + D2)[-S1\ C1\ 0] \\ &= [-D3S2C1 - D3S2S1\ 0] + [-D3S1C2 - D2S1\ D3C1C2 + D2C1\ 0] \\ &= [-D3S2C1 - D3S1C2 - D2S1 - D3S2S1 + D3C1C2 + D2C1\ 0] \end{aligned}$$

Observe que haciendo uso de las ecuaciones (20) y (21) se puede simplificar el resultado, así:

$$= [-D3S1,2 - D2S1\ D3C1,2 + D2C1\ 0]$$

Este vector corresponde a la primera parte de la columna 1. Ahora, se procede a calcular la segunda parte, así:

$$\underline{\sigma}_1 0a_1$$

Como $\underline{\sigma}_1 = 1$, entonces, se procede a tomar el vector a de la matriz de transformación $0T_1$ del robot SCARA, de esta manera,

$$0a_1 = [0\ 0\ 1]$$

Finalmente, la primera columna completa de la matriz Jacobiana queda de la siguiente manera:

$$0J_{4:1} = [-D3S1,2 - D2S1\ D3C1,2 + D2C1\ 0\ 0\ 0\ 1]$$

Para $i=2$:

$\sigma_2=0$, entonces, se procede a solucionar el otro sumando, así:

$\underline{\sigma}_2=1$, luego, se debe calcular el parámetro $0P_{4y}$, que equivale a obtener la matriz de transformación $2T_{4'}$ y de esta seleccionar el término de la posición P_y según la ecuación (3). $2P_{4y}=0$, por lo tanto:

$$\begin{aligned} -2P_{4y}0s_2 + 2P_{4x}0n_2 &= -(0)[C1,2\ S1,2\ 0] + (D3)[-S1,2\ C1,2\ 0] \\ &= [-D3S1,2 - D3C1,2\ 0] \end{aligned}$$

Este vector corresponde a la primera parte de la columna 2. Ahora, se procede a calcular la segunda parte, así:

$$\underline{\sigma}_2 0a_2$$

$\underline{\sigma}_2=1$, entonces,

$$0a_2 = [0\ 0\ 1]$$

Finalmente, la segunda columna completa de la matriz Jacobiana queda de la siguiente manera:

$$0J_{4:2} = [-D3S1,2 - D3C1,2\ 0\ 0\ 0\ 1]$$

Para $i=3$:

$\sigma_3=0$, entonces, se procede a solucionar el otro sumando, así:

$\underline{\sigma}_3=1$, luego,

$3P_{4y}=0$; $3P_{4x}=0$, por lo tanto:

$$-3P_{4y}0s_3 + 3P_{4x}0n_3 = [0 \ 0 \ 0]$$

Ahora, se procede a calcular la segunda parte de la columna 3, así:

$$\underline{\sigma}_3 0a_3$$

$\underline{\sigma}_3=1$, entonces,

$$0a_3 = [0 \ 0 \ 1]$$

Finalmente, la tercera columna completa de la matriz Jacobiana queda de la siguiente manera:

$$0J_{4:3} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1]$$

Para $i=4$:

$\sigma_4=0$, y $\underline{\sigma}_4=0$, entonces, la cuarta columna completa de la matriz Jacobiana queda de la siguiente manera:

$$0J_{4:4} = [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]$$

Por lo tanto, la matriz Jacobiana completa queda así:

$$0J_4 = \begin{bmatrix} -D3S1,2 - D2S1 D3C1,2 + D2C1 & 0 & 0 & 0 & 1 & -D3S1,2 \\ -D3C1,2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Después, se procede a eliminar las filas de ceros con el objetivo de obtener una matriz cuadrada e invertible, así:

$$0J_4 = \begin{bmatrix} -D3S1,2 - D2S1 D3C1,2 + D2C1 & 0 & 1 & -D3S1,2 \\ -D3C1,2 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Esto significa que el órgano terminal del robot SCARA tiene restringido el movimiento angular en los ejes X y Y .

Finalmente, se procede a construir el modelo cinemático directo, así:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} & \dot{y} & \dot{z} & \omega_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -D3S1,2 - D2S1 D3C1,2 + D2C1 & 0 & 1 & -D3S1,2 \\ -D3C1,2 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_1 & \dot{q}_2 & \dot{q}_3 & \dot{q}_4 \end{bmatrix}$$

Modelo cinemático inverso

Por su parte, el modelo cinemático inverso (Vivas, 2010), matemáticamente, se expresa de la siguiente manera:

$$\dot{q} = J^{-1}(q)\dot{X} \quad (24)$$

En este caso, la ecuación (24) indica el cálculo de las velocidades articulares en función de las velocidades cartesianas. Donde,

$J^{-1}(q)$: Matriz Jacobiana inversa.

De esta manera, el modelo cinemático inverso del robot SCARA quedará de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} \dot{q}_1 & \dot{q}_2 & \dot{q}_3 & \dot{q}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -D3S1,2 & -D2S1 & D3C1,2 + D2C1 & 0 & 1 & -D3S1,2 \\ -D3C1,2 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \dot{x} & \dot{y} & \dot{z} & \omega_z \end{bmatrix}$$

Ejercicio práctico 3. Cálculo del modelo cinemático directo

Obtener el modelo cinemático para los robots del Ejercicio práctico 2.a.

En la Unidad 3 del OV RobotsLearning se encuentra un taller del modelo cinemático planteado como Ejercicio práctico adicional, tal como se aprecia en la Figura 42.

ROBOTICA INDUSTRIAL

« Anterior

Robótica Industrial

Unidad 1: Introducción a la robótica

Unidad 2: Modelos de los Robots Industriales.

Unidad 3: Modelo Cinemático.

Modelo Cinemático.

Aplicaciones de la Robótica Industrial.

[Taller 3](#)

Taller 3

Presentación.

TALLER 3

Obtener los modelos cinemáticos de los siguientes robots:

Diagrama de un robot SCARA con ejes x_0, y_0, z_0 y x_1, y_1, z_1 .

Joint	Type	a	α	d	δ
1	R	0	0	0	0
2	P	0	0	0	0
3	R	0	0	0	0
4	P	0	0	0	0

Matrices de transformación:

$T_1 = \begin{bmatrix} C1 & -S1 & 0 & 0 \\ S1 & C1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

$T_2 = \begin{bmatrix} C2 & -S2 & 0 & 0 \\ S2 & C2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

$T_3 = \begin{bmatrix} C3 & -S3 & 0 & 0 \\ S3 & C3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

$T_4 = \begin{bmatrix} C4 & -S4 & 0 & 0 \\ S4 & C4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

« Anterior

Menú

Figura 44
Taller sobre el modelo cinemático
Fuente: elaboración propia.

GLOSARIO

- **Transformación homogénea:** es un conjunto de parámetros dispuestos en una matriz para representar la ubicación y orientación de un objeto cuando ha sufrido un cambio de posición con respecto a su plano de referencia.
- **Coordenada homogénea:** consiste en la ubicación de las coordenadas cartesianas en el plano tridimensional, agrega un factor de escalamiento unitario con el objetivo de concatenarlo de manera adecuada a la matriz de transformación de dimensión 4×4 .
- **Concatenación:** se refiere a la unión de vectores o vectores con matrices, generalmente, con la necesidad de agregar un factor de escalamiento unitario que complete la dimensión de uno de los miembros de la matriz.
- **Factor de escalamiento unitario:** sirve para agregar una dimensión a un vector, generalmente, se concatena al final de un vector.
- **Eslabón:** es el cuerpo o extremidad de un brazo robótico. Dos eslabones se unen a través de una articulación.
- **Articulación:** relación mecánica entre dos eslabones que está impulsada por un motor cuya función es provocar el movimiento angular o lineal de uno de los cuerpos que conecta.
- **Articulación rotoide:** giro o movimiento angular de un eslabón alrededor de un eje.
Articulación prismática: movimiento lineal de un eslabón a lo largo de un eje.
- **Grado de libertad:** referente a las dimensiones individuales de desplazamiento, ya sea de tipo rotacional o traslacional de una articulación.
- **OV RobotsLearning:** herramienta virtual para la integración de la asignatura de Robótica, la cual se encuentra ingresando a través de <https://www.solucionesedutic.com/moodle/>. Robótica Industrial.

REFERENCIAS

- Afanador H., & Pineda, C. (2016). Evaluación del OVA: Concepto de célula y reproducción celular. *Revista Horizontes Pedagógicos*, 18(1), 8-25.
- Aguilar, M. (2012). Aprendizaje y tecnologías de información y comunicación: Hacia nuevos escenarios educativos. *Revista Latinoamericana de Ciencias sociales, niñez y juventud*, 10 (2), 801-811. <http://www.scielo.org.co/pdf/rllcs/v10n2/v10n2a02.pdf>
- Cao, Y., Lu, K., Li, X., & Zang, Y. (2011). Accurate Numerical Methods for Computing 2D and 3D Robot Workspace. *International Journal of Advanced Robotic Systems*. <https://doi.org/10.5772/45686>
- Chan, M. (2004). Tendencias en el diseño educativo para entornos de aprendizaje digitales. *Revista digital universitaria* 5(10), 2-26. https://www.revista.unam.mx/vol.5/num10/art68/nov_art68.pdf
- Coll, C., Onrubia, J. y Mauri, T. (2006). Análisis y resolución de casos-problema mediante el aprendizaje colaborativo. RUSC. *Universities and Knowledge Society Journal*, 3(2), 29-41. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=78030210>
- Delgado, F., Perdomo, M., Cárdenas, L., Molina, K., Farfán, L. y Díaz, E. (2016). Guía Didáctica: Licenciatura en pedagogía infantil, semestre III. Universidad de la Amazonia. <https://www.uniamazonia.edu.co/documentos/docs/Programas%20Academicos/Licenciatura%20en%20Pedagogia%20Infantil/Guias%20Didacticas/3%20SEMESTRE.pdf>
- Erazo, E. y Muñoz, G. (2007). Las mediaciones tecnológicas en los procesos de subjetivación juvenil: interacciones en Pereira y Dosquebradas, Colombia. *Revista Latinoamericana de Ciencias sociales, niñez y juventud*, 5(2), 723-754. <http://biblioteca.clacso.edu.ar/gsd/collect/co/co-001/index/assoc/D8587.dir/ArtEdgarDiegoErazoCaicedo.pdf>
- Feo, R. (2009). Estrategias Instruccionales para Promover el Aprendizaje Estratégico en Estudiantes del Instituto Pedagógico de Miranda José Manuel Siso Martínez. [Trabajo de grado, Maestría, Instituto Pedagógico de Miranda José Manuel Siso Martínez]. Miranda.
- Feo, R. (2010). Orientaciones básicas para el diseño de estrategias didácticas. Instituto Pedagógico de Miranda José Manuel Siso Martínez. *Revista electrónica Tendencias pedagógicas*, 16, 221-236 <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3342741>
- Feria-Marrugo, I. M., y Zúñiga López, K. S. (2016). Objetos virtuales de aprendizaje y el desarrollo de aprendizaje autónomo en el área de inglés. *Praxis*, 12(1), 63-77. <https://doi.org/10.21676/23897856.1848>
- Galvis-Panqueva, A. (2008). La PIOLA y el desarrollo profesional docente con apoyo de tecnologías de información. *Tecnología y comunicación educativas*, 46(22), 58-86. <http://investigacion.ilce.edu.mx/tyce/46/pdfs/articulo5.pdf>

- Henao, O. (Pról.) (2004). *Ellos Vienen con el Chip Incorporado. Aproximación a la Cultura Informática Escolar*. Idep, Universidad Distrital y Departamento de Investigaciones de la Universidad Central.
- Kern, J., Jamett, M., Urrea, C. y Torres, H. (2014). Development of a neural controller applied in a 5 DOF robot redundant. *IEEE Latin America Transactions*, 12, (2), 98-106. DOI: 10.1109/TLA.2014.6749524.
- Khalil, W. & Dombre, E. (2002). *Modeling, Identification and Control of Robots*. Hermes Penton. <https://doi.org/10.1016/B978-1-903996-66-9.X5000-3>
- Khalil, W. & Kleinfinger, J. (1986). A new geometric notation for open and closed-loop robots. *Proceedings. 1986 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1986, pp. 1174-1179, doi: 10.1109/ROBOT.1986.1087552.
- Lozano, R. (2011). De las tic a las TAC: tecnologías del aprendizaje y del conocimiento. *Anuario ThinkEPI*, 5(1), 45-47.
- Molano, F., Alarcón-Aldana, A., y Callejas-Cuervo, M. (2018). Guía para el análisis de calidad de objetos virtuales de aprendizaje para educación básica y media en Colombia. *Praxis & Saber*, 9(21), 47-73. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2216-01592018000300047&lng=en&tlng=es
- Moya M. (2013). De las tics a las tacs: la importancia de crear contenidos educativos digitales. *Revista Didáctica, innovación y multimedia*, 27, 1-15. <https://raco.cat/index.php/DIM/article/view/275963>
- Muñoz Rojas, H. A. (2016). Mediaciones tecnológicas: nuevos escenarios de la práctica pedagógica. *Praxis & saber*, 7(13), 199-221.
- Nérici, I. (1973). *Hacia una didáctica general dinámica*. Kapelusz.
- Osorio, B., Muñoz, J. y Álvarez, F. (2007a, del 18 al 21 de junio) Propuesta para adaptar los objetos de aprendizaje a un modelo educativo institucional [conferencia]. *Virtual Educa Brasil*, 2007. São José dos Campos, Brasil. <http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:19203/n03osorio07.pdf>
- Osorio, B., Muñoz, J. y Álvarez, F. (2007b) Metodología para el desarrollo de objetos de aprendizaje usando patrones [conferencia]. *Memorias de la Segunda Conferencia Latinoamericana de Objetos de Aprendizaje (LACLO)*, Santiago de Chile, Chile. <https://ava43.files.wordpress.com/2008/07/metodlogia-de-realizar-objetos-de-aprendizaje.pdf>
- Pérez, F. G., & Castillo, D. P. (1996). *La mediación pedagógica: apuntes para una educación a distancia alternativa* (3a ed.). Ediciones CICCUS-La Crujía.
- Sánchez, E. (2008). Las tecnologías de información y comunicación (tic) desde una perspectiva social. *Revista electrónica Educare*, 12, 155-162. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=194114584020>

- Sandoval Barros, R. E. (2011). Las mediaciones tecnológicas en el campo educativo. *Educación y humanismo*, 13(21), 162-173. <http://revistas.unisimon.edu.co/index.php/educacion/article/view/2269>
- Siciliano, B., & Khatib, O. (2008). *Springer Handbook of Robotics*. Springer-Verlag.
- Terrazas, R. y Silva R. (2013). La educación y la sociedad del conocimiento. *Perspectivas*, 32, 145-168. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=425941262005>
- Velázquez, E., Álvarez, F., Garza, L., Sicilia, M., Mora, J., y Muñoz, J. (2011). Una Experiencia en el desarrollo masivo de objetos de aprendizaje empleando parámetros de calidad y un proceso de gestión bien definido. *IEEE-RITA*, 6(4), 155-163. <http://rita.det.uvigo.es/201111/uploads/IEEE-RITA.2011.V6.N4.A2.pdf>
- Vivas, O. (2010). *Diseño y control de robots industriales: Teoría y práctica*. Elaleph. ISBN 978-987-1581-76-4.
- Zubiría, S. (2001). *De la escuela nueva al constructivismo*. Magisterio editorial.



Semillero de Mecatrónica

El desarrollo de esta Guía de aprendizaje comprende la integración de recursos de información y comunicación (RIC), en relación con procesos de mediación pedagógica y tecnológica (MPT), para el aprendizaje de la Robótica y la Estructuración de un Objeto virtual (OV) denominado 'RobotsLearning'. En este sentido, la estructura del recurso didáctico está definida de la siguiente manera: 1) elementos teóricos, que brindan la información necesaria para dar inicio a la construcción de bases sólidas de aprendizaje en el área de Robótica; 2) unir la experiencia práctica, mediante modelar geométrica y cinemáticamente robots industriales tipo serie; 3) la evaluación, realizada en procesos sincrónicos como ejercicios en clase y asincrónicos como el OV RobotsLearning, evidenciando los procesos de retroalimentación en el aprendizaje específico; y 4) los componentes de trabajo colaborativo, como talleres prácticos.

Adaptar un entorno computacional como el OV RobotsLearning, con características pedagógicas establecidas por el currículo, a los elementos metodológicos diseñados por el docente guía de la asignatura que generalmente se dan de forma tradicional o con herramientas muy básicas, implica que el docente genere una transición a la innovación apoyado en la orientación del proceso de aprendizaje, integrando procesos de motivación para el estudiante y generando confianza en el uso de tecnologías digitales educativas.

Generar una interacción entre una asignatura específica como la Robótica con una asignatura de corte electivo general como es la Gestión del conocimiento en contextos Globales y Locales, permite que diferentes estudiantes integren perspectivas de saberes relacionados con la temática de Robótica y cuenten con habilidades cognitivas, comunicativas y tecnológicas requeridas para desarrollar un aprendizaje inteligente en relación con tendencias tecnológicas.

