



TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE COACALCO

ROBOT SCARA

Proyecto de Investigación

Para Obtener el título de:
Ingeniero Mecatrónico

Con la especialidad de:
Especialista en Procesos de Manufactura
Especialista en Automatización Industrial

Presentan:

Marco Antonio Banda Nava

201421174

Martín de Jesús Zepeda Fierro

201520378

Asesor: Ing. José Antonio Valladares Farias

Coacalco de Berriozábal, Abril, 2024.

DEDICATORIAS:

A mi amada familia:

A mi mamá hermosa Victoria Fierro que sin su apoyo, sudor y lágrimas jamás hubiera podido llegar a donde me encuentro hoy, porque no ha habido un día en mi vida donde ella no se preocupe por mi bienestar y a pesar de tener que ser Padre y Madre ha sido el pilar más fuerte que me mantuvo en pie. Con todo el amor de mi corazón.

A mi papá, mi héroe, Martin Zepeda que se fue del mundo antes de poder ver este logro que con todo mi amor le dedico hasta el cielo, le agradezco infinitamente por enseñarme a ser un verdadero hombre y un gran ser humano. Le agradezco por esa vida incansable de trabajo y esfuerzo para mantener nuestra familia en las mejores condiciones posibles.

A mi hermanita querida Scarlett que siempre me ha cuidado y entendido como nadie más lo hace, que ha estado siempre para mí por, sobre todo, que me ha defendido siempre sin importar de quien se trate y que siempre cuidare con mi vida.

A mi amada Ximena que me ha brindado todo el apoyo y aliento para lograr mis metas y que siempre ha estado conmigo en mis momentos más difíciles.

Al Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco:

Por formarme como Ingeniero Mecatrónico y proporcionarme todo el conocimiento para crecer en mi vida profesional.

A mis docentes:

Por instruirme y darme las bases de conocimiento en mi carrera, agradeciendo en especial al Ing. José Antonio Valladares por la asesoría para obtener el título de Ingeniería Mecatrónica.

Con amor y agradecimiento,

Martín de Jesús Zepeda Fierro

A quienes iluminan mi camino con amor y apoyo,

Este trabajo de investigación representa no solo mi esfuerzo individual, sino también la manifestación tangible del respaldo invaluable que he recibido a lo largo de esta travesía académica. Agradezco sinceramente a Dios, y a mi familia por ser la fuente constante de inspiración y fortaleza en cada etapa de este proceso.

A mis padres, Marco Antonio Banda Rubio y Elisa Nava García, por ser los cimientos de mi vida y los guías en este viaje educativo. A mis hermanos, quienes comparten conmigo risas, retos y triunfos, aportando color y vitalidad a mi experiencia. A mí Dios, por su Gracia que ha marcado mi camino con amor, tradición y Sabiduría.

Agradezco también a mis amigos y seres queridos que, con paciencia y aliento, han sido parte fundamental de mi red de apoyo. Cada palabra de aliento, cada gesto de comprensión ha sido una luz en el camino hacia este logro.

Este trabajo, con el nombre de Marco Antonio Banda Nava, es un modesto tributo a todos aquellos que han contribuido a mi formación académica y personal. Su amor y apoyo han sido el combustible que me impulsa a alcanzar nuevas alturas. A todos ustedes, les dedico con gratitud este logro compartido.

Con afecto y reconocimiento:

Marco Antonio Banda Nava

i RESUMEN

El proyecto se centra en el diseño, construcción y programación de un robot SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) destinado a tareas específicas en un entorno industrial. El objetivo principal es mejorar la eficiencia y precisión en las operaciones de ensamblaje mediante la implementación de esta tecnología robótica avanzada.

La planificación del proyecto se estructuró en varias fases. Inicialmente, se realizaron estudios de viabilidad técnica y económica para determinar la idoneidad del robot SCARA en el contexto de las necesidades de la empresa. Posteriormente, se llevó a cabo una cuidadosa identificación de requisitos y una evaluación de riesgos para garantizar el éxito del proyecto.

El diseño del robot SCARA se basó en los requisitos específicos del cliente y las características de las tareas de ensamblaje. Se seleccionaron cuidadosamente los componentes, considerando factores como la carga útil, el alcance y la velocidad para garantizar un rendimiento óptimo. Además, se llevó a cabo un análisis detallado de la cinemática y dinámica del robot para garantizar la precisión requerida en las operaciones.

La fase de ensamblaje involucró la integración de todos los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos. Se prestaron especial atención a la calibración y ajuste fino para optimizar el rendimiento del robot. Se realizaron pruebas exhaustivas para garantizar la funcionalidad y la seguridad del sistema.

La programación del robot SCARA incluyó la creación de algoritmos específicos para las tareas de ensamblaje requeridas. Se utilizó un enfoque basado en la programación de trayectorias y la integración con sistemas de visión artificial para mejorar la capacidad de adaptación a variaciones en el entorno de trabajo. Se implementaron protocolos de seguridad para garantizar una interacción segura con los operadores humanos.

Se llevaron a cabo pruebas exhaustivas para validar el rendimiento del robot en condiciones simuladas y reales de producción. Se realizaron ajustes adicionales según los resultados de las pruebas para garantizar un funcionamiento confiable y eficiente. El

proyecto de construcción del robot SCARA se completó con éxito, cumpliendo con los requisitos establecidos. El robot demostró mejoras significativas en la eficiencia y precisión en las tareas de ensamblaje, contribuyendo a la optimización de los procesos industriales.

Se documentaron lecciones aprendidas durante todo el proyecto, y se proporcionaron recomendaciones para futuras implementaciones de tecnología robótica en el entorno de la empresa. Esto incluyó sugerencias para la gestión de riesgos, la selección de componentes y la planificación del proyecto.

ii ÍNDICE

DEDICATORIAS:	2
i RESUMEN.....	4
ii ÍNDICE	6
iii ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
iv LISTA DE ABREVIATURAS	13
CAPÍTULO I GENERALIDADES DEL PROYECTO	14
1.1 INTRODUCCIÓN	15
1.2 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	16
1.3 MISIÓN, VISIÓN, FILOSOFÍA Y/O VALORES MISIÓN	17
1.2.1 VISIÓN.....	17
1.2.2 VALORES.....	17
1.2.3 EL SER HUMANO.	17
1.2.4 EL ESPÍRITU DE SERVICIO.....	17
1.2.5 EL LIDERAZGO.....	18
1.2.6 EL TRABAJO EN EQUIPO.....	18
1.2.7 LA CALIDAD.	18
1.2.8 BREVE HISTORIA DE LA EMPRESA.	18
1.4 PROBLEMA A RESOLVER	19
1.5 OBJETIVOS	20
1.5.1 Objetivos Generales.....	20
1.5.2 Objetivos Específicos	20
1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES	21
1.6.1 Alcances:	21
1.6.2 Precisión en el posicionamiento:	21
1.6.3 Velocidad y rendimiento:	22
1.6.4 Carga útil y capacidad de manipulación:.....	23
1.6.5 Integración con sistemas de visión y sensorial:.....	23
1.6.6 Programación y control más intuitivos:.....	24
1.7 Limitaciones:	24
1.7.1 Generales:.....	24
1.7.2 Costo inicial y mantenimiento:.....	25
1.7.3 Interferencia mecánica:	25

1.7.4 Reprogramación para cambios en la tarea:.....	25
1.8 JUSTIFICACIÓN	26
CAPÍTULO II	27
2. MARCO TEÓRICO	¡Error! Marcador no definido.
2.1Historia de la Robótica	28
2.2 El origen de la palabra Robótica	29
2.3 La construcción del primer Robot.....	31
2.3.1 ELEKTRO, el primer androide	31
2.3.1.1 Clasificación de Robots industriales.....	33
2.3.1.2 Características de los robots industriales	33
2.3.1.2.1.1 Zona de trabajo:	34
2.3.1.3 Carga a sostener:	35
2.3.1.4 Velocidad de acción:	36
2.3.1.5 Nivel de programabilidad:.....	37
2.3.2 Tipos de robots industriales	37
Robot cartesiano	37
2.3.2.1 Robot Scara	38
2.3.2.2 Robot cíclico o redundante.....	38
2.3.2.3 Robot de seis ejes	39
2.3.2.4 Robot de doble brazo	40
2.3.2.5 Antropomórfico	40
2.4 ¿Qué es un Robot Scara?	41
2.4.1 Sistemas de control	42
2.4.1.1Sistemas de control de Lazo Abierto:	43
2.4.1.2 Sistemas de control de Lazo Cerrado:.....	43
2.4.1.3 Control Proporcional, Integral, Derivativo (PID):.....	44
2.4.1.4 Control por Retroalimentación de Estados:	45
2.4.1.5 Control Predictivo:	45
2.4.1.6 Control Robusto:	46
2.4.1.7 Control Basado en Redes Neuronales:.....	46
2.5 ¿Qué es un Robot?	47
2.6 Anatomía de un Robot Scara	47
2.6.1 Estructura Mecánica:	48
2.6.2 Las Articulaciones	48

2.6.3 Sistemas de Actuación:	48
2.6.4 Sistemas de Control:.....	49
2.6.5 Movimientos del Robot Scara:.....	49
2.6 Grados de Libertad y Movimientos Posibles:	50
2.6.5 Descripción Detallada de Movimientos:	50
2.6.6 Programación de Movimientos:	51
2.6.7 Aplicaciones Prácticas:	52
2.6.8 Desafíos y Áreas de Investigación Futuras:	52
CAPÍTULO III DESARROLLO	53
3. CONSTRUCCIÓN.....	54
3.1 Diseño del Proyecto	54
3.1.1 Características del Diseño:.....	54
3.1.2 Cinemático por el Método Gráfico:.....	55
3.1.3 Análisis Cinemático por el Método Denavit-Hartenberg:	56
3.1.4 Simulación Matlab-SIMULINK.....	57
3.1.5 Modelo Cinemático:	57
3.1.5.1 Cinemática Directa:	58
3.1.5.2 Cinemática Inversa:.....	58
3.1.5.3 Interfaz Gráfica:	58
3.1.5.4 Animación del Robot:.....	58
3.1.6 Control de Movimiento:	59
3.1.7 Simulación y Visualización:.....	59
3.2 Creación del código fuente del Robot Scara	60
3.2.1 Programación de Robot Scara	60
3.2.5 Ensayo sobre la Creación y Función del Código para Control de RobotScara	60
3.2.6 El uso del Sistema PID cómo control del Scara	61
3.2.6.1Implementación del PID en Arduino:.....	61
3.2.6.2Funcionamiento del Código para el Robot SCARA:	61
3.2.6.3 Ajuste y Optimización del PID:	62
3.2.6.4 Consideraciones Específicas para un Robot SCARA:	62
3.2.6.5 Validación y Pruebas:	62
3.3 Materiales y componentes con especificaciones	63
3.3.1 Motores nema 17	66
3.3.2 Husillos con tuerca	66

3.3.3 Soportes para ejes en T	68
3.3.4 Riel Deslizable Lineal	70
3.3.5 Mini Bomba de Vacío	71
3.3.6 Bomba de Vacío con Solenoide	72
3.4 Proceso de construcción del Dispositivo.....	74
3.4.1 Diseño Digital de las Piezas:	74
3.4.2 Selección de Materiales y Parámetros de Impresión:.....	74
3.4.3 Preparación del Archivo STL:.....	74
3.4.1 Configuración de la Impresora 3D:	75
3.4.2 Inicio de la Impresión:.....	75
3.4.3 Monitoreo y Calibración:	76
3.4.4 Retiro de Soportes y Post-procesamiento:	76
3.4.5 Verificación de Calidad:	76
3.4.6 Integración en el Robot SCARA:	77
3.6 Ensamblado de Proyecto.....	77
3.7 Preproducción de Proyecto	78
3.7.1. Preparación del Área de Trabajo:.....	78
3.7.2 Identificación de Componentes:	78
3.7.3 Ensamblaje de la Base:.....	79
3.7.4 Integración de los Motores NEMA:.....	79
3.7.5 Ensamblaje de los Brazos y Ejes:	80
3.7.6 Montaje de la Plataforma de Trabajo:	81
3.7.7 Conexión de Componentes Electrónicos:	81
3.7.8 Instalación y Configuración de Controladores:	82
3.7.9 Pruebas Iniciales de Movimiento:	82
3.7.10 Ajuste de Parámetros y Optimización:.....	82
3.7.11 Implementación de Programas y Algoritmos Específicos:.....	83
3.7.12 Pruebas Finales y Verificación de Funcionalidad:	83
CAPÍTULO IV RESULTADOS.....	84
4 RESULTADOS	85
4.1 CONCLUSIONES.....	85
I. Cumplimiento de Objetivos:	85
II. Desarrollo de Hardware:	85
III. Sistema de Control y Algoritmos PID:	86

V.	Integración de Impresiones 3D:	86
VI.	Desafíos Técnicos y Estrategias de Superación:.....	86
VII.	Lecciones Aprendidas y Mejoras Futuras:	87
VIII.	Contribuciones a la Investigación y Desarrollo:	87
IX.	Impacto en la Industria y Aplicaciones Prácticas:	87
X.	Consideraciones Éticas y de Seguridad:.....	87
XI.	Conclusiones Finales:	88
4.2 OBJETIVOS EDUCACIONALES.....		88
I.	Competencias en Diseño Mecánico:.....	88
II.	Competencias en Impresión 3D y Fabricación:.....	89
III.	Competencias en Sistemas de Control:	89
IV.	Competencias en Automatización y Programación:.....	89
V.	Competencias en Integración de Sistemas:	89
VI.	Competencias en Gestión de Proyectos:	90
VII.	Competencias Interpersonales y Comunicativas:.....	90
Bibliografía.....		91
ANEXOS		93
A1 Código MATLAB-SIMULINK.....		93
A2 Código Arduino(No Drivers)		93
Código M de Prueba		95

iii ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Organigrama de la empresa.....	16
Fig. 1.1: Cuento Indio de los seres artificiales.....	28
Fig. 1.2.1 Karel Čapek, Escritos Checo Creador del término Robot.....	29
Fig. 1.2.3 Isaac Asimov, Escritor Ruso naturalizado estadounidense; Principalmente de ciencia ficción quién definió las leyes de comportamiento de la Robótica	30
Fig. 1.2.4 La Autora Mary Shelley y su personaje más famoso, el cual representa un prototipo de la concepción de lo que hoy se conoce como robot.....	31
Fig. 1.3.1 Elektro	32
Fig. 2.1.1 grados de libertad en un objeto mecánico.....	34
Fig. 2.1.2 los volúmenes de los espacios asignados a maquinaria.	35
Fig. 2.2.4 esquema en el que físicamente se constituyen los procesos de los robots Actuales para su funcionamiento en sus tareas.	37
fig. 2.2.1 Robot Cartesiano.....	38
Fig. 2.2.2 Robot Scara	39
Fig. 2.2.3 Brazo robótico de tres grados de libertad	39
40	
Fig. 3.1 Robot de dos brazos	40
Fig. 2.2.5 Robots Antropomórficos	41
Fig. 2.3.2 Tipos de Sistemas de control	42
Fig. 2.3.3 Sistema de Lazo abierto.....	43
Fig. 2.3.4 Sistemas de lazo cerrado.....	43
Fig. 2.3.6 Diagrama de bloques del sistema de control por retroalimentación de estados.....	45
Fig. 2.3.7 Diagrama de bloques de Sistema de Control Predictivo	45
fig. 2.3.8 Sistema de control Robusto	46
Fig. 2.3.9 Diagrama de bloques de sistema de control de Redes neuronales	46
Fig. 2.4.3 Modelo cartesiano de articulaciones del brazo del Robot Scara.....	48
Fig. 2.4.4 Tipos de motores Nema	49
Fig. 2.6.1 Posicionamiento Gráfico de las posibilidades Cinemáticas del Scara.....	50
Fig. 2.6.2 Ejemplo de uso del código M mostrado con un ejemplo muy somero del mismo	51
Fig. 2.6.3 implementación del robot scara en la industria	52
Fig. 3.1 Diseño de base general en SW	55
Fig. 3.1.1 Diseño preliminar para el cálculo.....	56
Fig. 3.2.1 Tabla de Valores Cinemáticos del Scara.....	56

Fig. 3.2.2 Modelo denavit-Hartenberg Básico de un proyecto scara	57
Fig. 3.2.3 Vista 3d de la simulación de movimiento del modelado del teorema Denavit-Hartenberg	58
Fig. 3.2.4 Código usado en la simulación de movimiento por medio del teorema Denavit-Hartenberg	59
Fig. 3.5.3 diagrama de motor NEMA17	66
Fig. 3.5.4 Características del dentado de husillo	67
Fig. 3.5.5 Husillo con Tuerca	68
Fig. 3.5.6 Soporte para ejes en T	69
Fig. 3.5.7 Diagrama de especificación de soporte T	69
Fig. 3.5.8 Riel deslizable lineal	71
Fig. 3.5.9 Bomba de vacío	72
Fig. 3.5.10 Bomba de vacío con Solenoide	73
Fig. 3.6.4 Colocado de piezas por imprimir tomado en cuenta la cantidad de piezas, tiempo de impresión y resistencia del material debido a la cantidad de pasos recorridos	75
Fig. 3.6.5 proceso de impresión de piezas 3d con filamento PLA	76
Fig. 3.6.9 La integración de piezas ya posteriormente impresas, son llevadas a ensamble con el dispositivo	77
Fig. 3.7.2 construcción de la base deslizable del Scara	79
Fig. 3.7.3 integración de motor nema17	80
Fig. 3.7.4 Ensamble de articulaciones y ejes	80
Fig. 3.7.5 colocación de la punta Hotpipe completando así el dispositivo mecánico	81
Fig. 3.7.7 Conexiones eléctricas	82

iv LISTA DE ABREVIATURAS

CS. Control Systems (Sistemas de control)

DH. Denavit-Hartenberg.

GDL. Grados de Libertad.

ICCRE. International Conference on Control and Robotics Engineering. (Conferencia internacional de control e ingeniería Robótica).

ITNEC. Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference. (Conferencia de Información tecnológica en redes electrónicas y automatización y control).

ISO. International Organization for Standardization. (Organización internacional de estandarización).

NEMA. National Electrical Manufacturers Association (Asociación de fabricantes eléctricos Nacionales)

PID. Proportional Integral Derivative (Control Proporcional, Integral, Derivativo).

R.U.R. Robots universales Rossum.

SCARA. acrónimo que responde por sus siglas en inglés a Selective Compliant Assembly Robot Arm o Selective Compliant Articulated Robot Arm (**Robot de Brazo de ensamble articulado**).

CAPÍTULO I GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 INTRODUCCIÓN

Este proyecto se realiza con el objetivo de enfatizar y poner en práctica el conocimiento adquirido a lo largo de la ingeniería, por lo cual fue requerida la elaboración de una propuesta de un modelo funcional y detallado el cual cubriera las competencias solicitadas; de esta forma es posible culminar con la carrera académica demostrando el aprendizaje adquirido, así como proporcionar bases y sustentos de utilidad para la futura comunidad de alumnos dentro de la ingeniería.

Un SCARA (acrónimo que responde por sus siglas en inglés a Selective Compliant Assembly Robot Arm o Selective Compliant Articulated Robot Arm) es un robot de cuatro grados de libertad con posicionamiento horizontal. Los Robots SCARA se conocen por sus rápidos ciclos de trabajo, excelente repetitividad, gran capacidad de carga y su amplio campo de aplicación.

Dentro de la presente investigación se abordarán temas que incluyen desde los orígenes del tipo de robot SCARA hasta su composición y como puede elaborarse a detalle. Se emplearon distintos métodos tanto de investigación como de ingeniería para poder llevar a cabo el proyecto.

La información recopilada y redactada dentro de esta investigación es un conjunto de datos técnicos usualmente requeridos en distintos campos tecnológicos, por lo cual su aplicación además de ser con fines académicos cumple con distintos objetivos y enfoques de la ingeniería.

El modelo propuesto se realizó con la ayuda de distintos softwares para diseñar cada una de sus partes y funcionamiento, para simular el comportamiento general correspondiente y la configuración que debe poseer acorde a la tarea a realizar.

Todos los materiales y procesos se encuentran especificados a lo largo de la investigación.

1.2 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Nombre: Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco

Ubicación: Avenida, Av. 16 de septiembre 54, Cabecera municipal, 55700 Méx.

Organigrama:

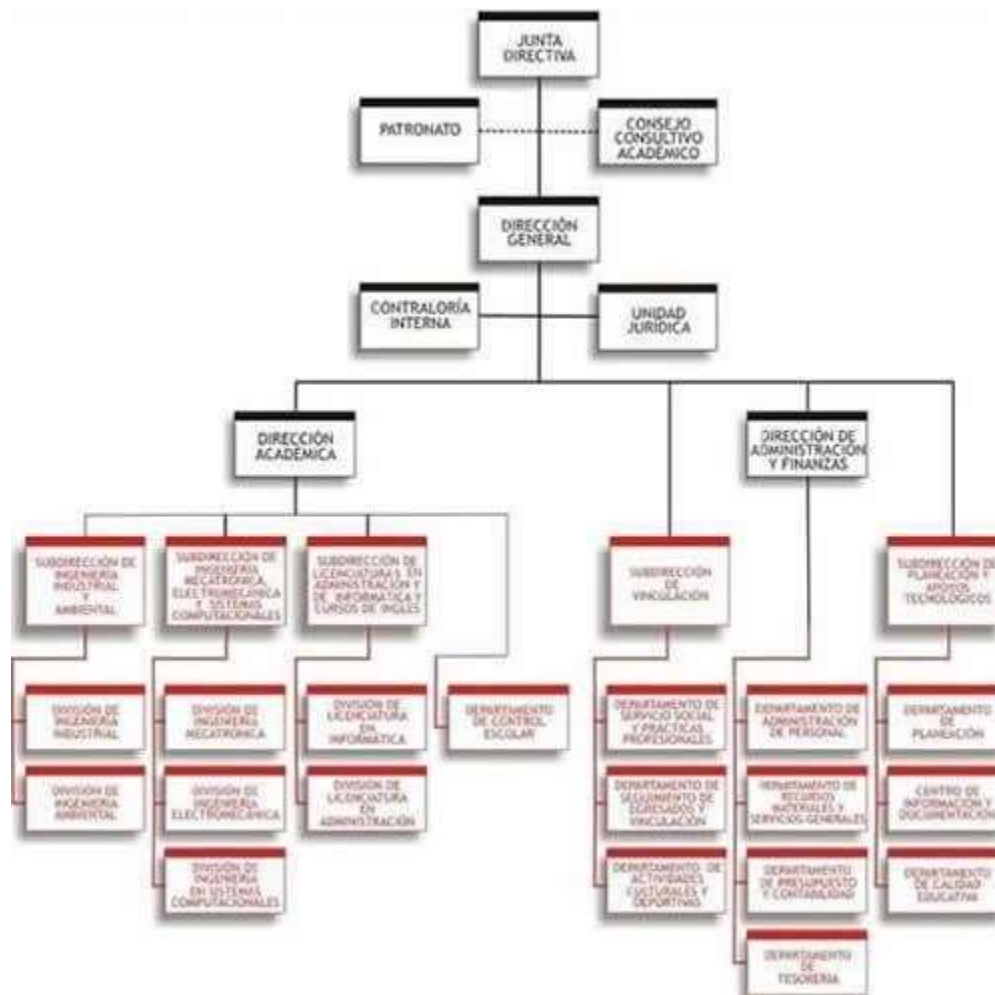


Fig. 1. Organigrama de la empresa

1.3 MISIÓN, VISIÓN, FILOSOFÍA Y/O VALORES MISIÓN

Somos una institución pública de Educación Superior Tecnológica que forma de manera integral profesionistas e investigadoras e investigadores, con creatividad e innovación, capaces de resolver problemas de su ámbito laboral y de apoyar el desarrollo tecnológico; a través de la oferta de programas educativos de licenciatura y posgrado reconocidos por su calidad, con un enfoque de responsabilidad social basado en valores y el respeto al medio ambiente.

1.2.1 VISIÓN

Consolidarse como una institución pública de Educación Superior Tecnológica que fomenta la investigación básica, aplicada y el desarrollo tecnológico vinculado con las empresas e instituciones nacionales e internacionales a través de su alumnado, egresadas y egresados, profesoras, profesores, investigadoras e investigadores con enfoque en las áreas de automatización y control, manufactura avanzada y desarrollo sustentable.

1.2.2 VALORES

A fin de guiar y orientar las acciones cotidianas del personal, el TESCo define los siguientes valores institucionales:

1.2.3 EL SER HUMANO.

La existencia de una institución se justifica sólo si los resultados de sus trabajos inciden en el mejoramiento de la calidad de vida de las personas.

1.2.4 EL ESPÍRITU DE SERVICIO.

Es la actitud que debe distinguir al personal del TESCo por el profesionalismo en su desempeño.

1.2.5 EL LIDERAZGO.

Es la capacidad que debe caracterizar al personal del Tecnológico para integrarse en la conducción innovadora, visionaria, participativa y comprometida.

1.2.6 EL TRABAJO EN EQUIPO.

Es el proceso que se realiza de manera armónica, en el que las actitudes multiplican los logros en la consecución de objetivos comunes y se propicia el desarrollo de las personas.

1.2.7 LA CALIDAD.

Es la cultura compartida por el personal del TESCo que lo motiva a transformar su forma de ser y hacer las cosas con los más altos estándares de servicio.

1.2.8 BREVE HISTORIA DE LA EMPRESA.

El Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, TESCo fue creado el 4 de Septiembre de 1996, como Organismo Público Descentralizado de Carácter Estatal, con Personalidad Jurídica y Patrimonio Propios; con objeto de formar profesionales e investigadores aptos para la aplicación y generación de conocimientos, con capacidad crítica y analítica en la solución de problemas, con sentido innovador para incorporar los avances científicos y tecnológicos al ejercicio responsable de la profesión, de acuerdo a los requerimientos del entorno, el Estado y el País.

1.4 PROBLEMA A RESOLVER

Los brazos robóticos y sus variaciones cada vez se vuelven más indispensables en la industria de automatización, por lo cual tener conocimiento acerca de su funcionamiento, su configuración y construcción es muy importante para el área de los ingenieros en mecatrónica. Implementar el desarrollo de un Robot SCARA puede ayudar a la práctica en cuanto a conocer su funcionamiento y diseñar configuraciones para experimentar con las diferentes aplicaciones en las que pueden desempeñarse.

De no profundizar en su desarrollo y funcionamiento, el problema en el rezago tecnológico en las instituciones educativas continuaría gracias a la desinformación y falta de práctica en cuanto a los avances tecnológicos actuales, de los cuales no se forma parte. Provocando que los egresados en la industria continúen sin tener los conocimientos para actualizar y automatizar los procesos industriales.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivos Generales

Generar una propuesta detallada que incluya el diseño y simulación de un Robot tipo SCARA, exponiendo su funcionamiento, uso, importancia y las distintas configuraciones aplicables.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Realizar un análisis detallado de los requisitos de la tarea de ensamblaje específica, identificando las características y parámetros críticos para el diseño del robot SCARA.
- Investigación de la literatura técnica para seleccionar y justificar los componentes más adecuados, incluyendo motores NEMA, rieles de acero, y la implementación de tecnologías de impresión 3D para ciertas piezas estructurales.
- Integración y ensamblaje de todos los componentes, seguido de una fase de calibración para garantizar la precisión y estabilidad del robot.
- Desarrollo específico de Algoritmos secuenciales para las tareas de ensamblaje, explorando la interacción con sistemas de visión artificial para mejorar la adaptabilidad del robot a variaciones en el entorno de trabajo.
- Realizar pruebas rigurosas para validar el rendimiento del robot en condiciones simuladas y reales, realizando ajustes según sea necesario para garantizar su funcionalidad óptima en el entorno industrial previsto.

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.6.1 Alcances:

Los alcances de este proyecto de tesis abarcan un espectro integral que se centra en el diseño, construcción y despliegue operativo de un robot SCARA especializado en tareas de ensamblaje industrial. En primera instancia, se delimita el alcance del proyecto mediante la identificación y análisis de las necesidades específicas de ensamblaje en el entorno industrial seleccionado. La investigación abordará la revisión de literatura pertinente para respaldar la selección de componentes clave, como motores NEMA, rieles de acero y materiales para impresión 3D, fundamentales para la construcción eficiente del robot. El diseño se centrará en el desarrollo de un robot SCARA personalizado, optimizando su estructura para cumplir con los requisitos de carga, alcance y velocidad identificados durante la fase de análisis. Asimismo, se abordará la programación del robot, implementando algoritmos específicos para las tareas de ensamblaje y explorando la integración con sistemas de visión artificial. Los alcances también incluyen la fase de ensamblaje, calibración y pruebas exhaustivas para validar la eficacia del robot en condiciones simuladas y reales de producción. Este proyecto aspira a contribuir significativamente a la mejora de los procesos de ensamblaje industrial, proporcionando un enfoque práctico y aplicado en el desarrollo y despliegue de tecnología robótica avanzada.

1.6.2 Precisión en el posicionamiento:

El objetivo primordial de este proyecto de tesis es alcanzar un nivel excepcional de precisión en el posicionamiento del robot SCARA, orientado específicamente a las exigencias críticas de las tareas de ensamblaje industrial. Se pretende implementar cuidadosamente algoritmos avanzados de control de trayectoria que maximicen la exactitud en los movimientos del robot, garantizando así la alineación precisa de componentes durante el proceso de ensamblaje. La utilización de tecnologías de alta resolución y sensores precisos se integrará de manera estratégica para realimentar el sistema y corregir posibles desviaciones, contribuyendo a una mayor consistencia en la ejecución de las tareas. Asimismo, se explorarán métodos de

calibración detallada para minimizar cualquier error sistemático y optimizar la respetabilidad del robot. Al lograr esta precisión en el posicionamiento, se espera no solo mejorar la calidad de los productos ensamblados, sino también aumentar la eficiencia operativa al reducir los tiempos de ciclo y mitigar la necesidad de ajustes manuales. Este proyecto aspira a establecer un estándar destacado en términos de precisión en el posicionamiento de robots SCARA, consolidándose como una contribución valiosa al ámbito de la automatización industrial.

1.6.3 Velocidad y rendimiento:

La meta principal es alcanzar un rendimiento excepcional en términos de velocidad y posicionamiento del robot SCARA, focalizado específicamente en optimizar la eficiencia de las operaciones de ensamblaje industrial. La investigación se enfocará en la implementación de estrategias avanzadas de control de movimiento que permitan al robot alcanzar velocidades considerables sin comprometer la precisión requerida en las tareas de ensamblaje. Se busca la integración de motores NEMA de alto rendimiento y la aplicación de algoritmos de control eficientes para maximizar la velocidad de desplazamiento en las trayectorias predefinidas. Además, se explorará la sincronización precisa entre los motores y la electrónica de control, minimizando los tiempos de aceleración y deceleración para lograr un rendimiento óptimo. La validación del rendimiento se llevará a cabo mediante pruebas exhaustivas, buscando alcanzar tiempos de ciclo reducidos y una capacidad de respuesta sobresaliente. Al lograr estos objetivos, se espera no solo aumentar la productividad del proceso de ensamblaje, sino también posibilitar la adaptación del robot a entornos de producción dinámicos y demandantes. Este proyecto aspira a establecer un estándar destacado en velocidad y rendimiento en el posicionamiento de robots SCARA, impulsando la eficiencia y competitividad en el ámbito industrial.

1.6.4 Carga útil y capacidad de manipulación:

Se busca la implementación de soluciones mecánicas y tecnológicas que permitan al robot manipular componentes de diferentes tamaños y pesos con la máxima eficiencia. La investigación se centrará en la selección de materiales estructurales resistentes y livianos, así como en la incorporación de actuadores y sistemas de transmisión capaces de soportar cargas útiles significativas. La calibración precisa del sistema garantizará que el robot pueda manipular objetos con la delicadeza necesaria en tareas de ensamblaje exigentes. Además, se explorarán estrategias de control avanzadas que optimicen la capacidad de manipulación sin comprometer la precisión y velocidad previamente mencionadas. La validación de la carga útil y capacidad de manipulación se llevará a cabo a través de pruebas prácticas que simularán situaciones de ensamblaje real, asegurando que el robot pueda desempeñarse con éxito en entornos industriales diversos y dinámicos. Al lograr estos objetivos, se espera proporcionar a la industria una herramienta robótica SCARA versátil y adaptable, capaz de abordar una variedad de tareas de ensamblaje con eficacia y precisión. Este proyecto aspira a destacar en términos de capacidad de manipulación y carga útil, consolidándose como una contribución valiosa al avance de la automatización en la producción industrial.

1.6.5 Integración con sistemas de visión y sensorial:

El objetivo es el uso e incorporación de tecnologías de percepción que permiten al robot interactuar de manera inteligente con su entorno durante las tareas de ensamblaje. La investigación se centra en la implementación de sistemas de visión artificial que faciliten la detección y reconocimiento de objetos, así como la adaptación dinámica a variaciones en el entorno de trabajo. La integración de sensores de seguridad y de fuerza ampliará la capacidad del robot para interactuar de manera segura y precisa con objetos delicados o componentes sensibles. Además, se explorará la sincronización eficiente con la información sensorial para mejorar la toma de decisiones del robot en tiempo real. La

validación de esta integración se llevará a cabo mediante pruebas prácticas que simularán escenarios de ensamblaje complejos, garantizando que el robot pueda adaptarse a condiciones variables con agilidad y fiabilidad. Al lograr estos objetivos, se espera proporcionar a la industria una herramienta robótica SCARA dotada de capacidades sensoriales avanzadas, capaz de afrontar desafíos de ensamblaje con un nivel de percepción y adaptabilidad excepcionales. Este proyecto aspira a destacar en términos de integración con sistemas de visión y sensorial, consolidándose como una contribución significativa al avance de la automatización en la producción industrial.

1.6.6 Programación y control más intuitivos:

La tecnología ha facilitado la programación y control de robots SCARA a través de interfaces de usuario más amigables y herramientas de programación más intuitivas, permitiendo a los operadores configurar y modificar rápidamente las tareas del robot.

1.7 Limitaciones:

1.6.7 Generales:

A pesar de los avances significativos en la tecnología contemporánea, la creación de un robot SCARA más eficiente se enfrenta a ciertas limitaciones inherentes a la época actual. En primer lugar, la disponibilidad y costo de los materiales avanzados, especialmente aquellos destinados a la fabricación de componentes ligeros y resistentes, pueden representar un desafío económico para la construcción de robots SCARA altamente eficientes. La integración de sistemas de visión y sensorial también se ve limitada por la complejidad de la tecnología actual, lo que puede afectar la capacidad de percepción y adaptabilidad del robot. Además, la velocidad y precisión en el posicionamiento del robot pueden estar condicionadas por la velocidad de procesamiento de los sistemas de control, planteando desafíos en la optimización de algoritmos complejos. Estas limitaciones tecnológicas deben abordarse cuidadosamente durante el desarrollo del proyecto, con un enfoque en la búsqueda de soluciones innovadoras y en la identificación de posibles

avances futuros que permitan superar estas barreras. El reconocimiento de estas limitaciones no solo informará el alcance realista del proyecto, sino que también contribuirá a la identificación de áreas críticas para futuras investigaciones y avances tecnológicos.

1.6.8 Costo inicial y mantenimiento:

La tecnología necesaria para fabricar robots SCARA eficientes puede ser costosa, lo que puede limitar su adopción en pequeñas empresas o industrias con presupuestos ajustados. Además, el mantenimiento y la reparación también pueden tener costos significativos.

1.6.9 Interferencia mecánica:

Debido a su estructura, los robots SCARA pueden experimentar interferencia mecánica, especialmente en espacios estrechos o en presencia de obstáculos cercanos, lo que puede limitar su capacidad para moverse libremente.

1.6.10 Reprogramación para cambios en la tarea:

Aunque la programación se ha vuelto más accesible, aún puede ser un desafío reprogramar un robot SCARA para tareas diferentes o modificadas, especialmente para usuarios no expertos en robótica. Se requiere capacitación adecuada para realizar cambios eficientemente.

Es fundamental considerar tanto los alcances como las limitaciones al diseñar y utilizar un robot SCARA, con el fin de aprovechar al máximo su eficiencia en un entorno industrial.

1.8 JUSTIFICACIÓN

La implementación de robots SCARA en entornos industriales ha demostrado ser crucial para optimizar procesos de ensamblaje y mejorar la eficiencia operativa. Este proyecto se fundamenta en la necesidad de desarrollar un robot SCARA altamente eficiente, capaz de abordar las demandas específicas de la industria actual. La literatura destaca que la automatización mediante robots SCARA puede conducir a mejoras sustanciales en la velocidad de ensamblaje, precisión en las operaciones y, en última instancia, a una mayor productividad (Li et al., 2017; Zhang et al., 2019). Además, la integración de tecnologías de visión y sensoriales en robots SCARA ha demostrado ser esencial para adaptarse a entornos de producción dinámicos y variables (Palmieri et al., 2020). En un contexto más amplio, investigaciones previas han señalado que la eficiencia de los robots SCARA está directamente relacionada con la selección adecuada de materiales y la implementación de algoritmos de control precisos (Siciliano et al., 2010; Seraji, 1986). Por lo tanto, este proyecto busca abordar estas consideraciones críticas mediante el diseño y construcción de un robot SCARA que integre materiales avanzados, algoritmos de control eficientes y tecnologías de visión y sensoriales para mejorar su rendimiento y adaptabilidad en entornos industriales.

Es bajo este contexto donde es necesario estudiar y desarrollar un Robot SCARA funcional dentro de la institución, ya que las aplicaciones y usos que podrían dedicársele por los estudiantes de ingeniería del tecnológico serían de suma ayuda para futuras innovaciones tecnológicas. Por ello, al construir este tipo de Robot es posible aspirar a nuevas oportunidades en el campo de la investigación, acrecentando los alcances del alumnado en la ingeniería.

La finalidad del Robot SCARA propuesto es ser parte de una célula de Manufactura dentro del tecnológico y poder ser base experimental para futuros proyectos.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 Historia de la Robótica

Asoka encuentra al ingeniero de larga vida que había construido las automatizaciones y le muestra cómo desmontarlas y controlarlas. Así, el emperador Asoka logra comandar un gran ejército de guerreros automatizados. Este cuento indio (fig. 1.1) refleja el miedo a perder el control de los seres artificiales, que también se ha expresado en los mitos griegos sobre el ejército de dientes de dragón. Inspirados por la leyenda cristiana europea, los europeos medievales idearon



Fig. 1.1: Cuento Indio de los seres artificiales

cabezas descaradas que podían responder a las preguntas planteadas. Se suponía que Albertus Magnus había construido un androide completo que podía realizar algunas tareas domésticas, pero fue destruido por el estudiante de Albert, Tomás de Aquino, por perturbar su pensamiento. La leyenda más famosa se refería a una cabeza de bronce diseñada por Roger Bacon, la cual fue destruida o desechada poco después de perder su momento de operación o de pruebas. Los autómatas que se asemejan a los humanos o los animales eran populares en los mundos imaginarios de la literatura medieval.

La robótica tiene su origen en la inquietud que a lo largo de los tiempos ha existido en el hombre, por crear reproducciones de sí mismo y de otros seres vivos. Ante la necesidad de resolver y mejorar los procesos mecánicos, el hombre ha creado las herramientas tecnológicas necesarias para la solución de los problemas, tal cual lo menciona McCoy en 1984 “La tecnología amplía el potencial humano”, siendo así la creación de robots para que realicen las tareas que no pueden hacerse por los hombres.

En la actualidad, la robótica ocupa un lugar importante en muchas actividades productivas y de entretenimiento. En la automatización industrial, se usa en tareas repetitivas logrando grandes volúmenes de producción, en la programación selectiva de actividades para lograr volúmenes pequeños de producción, pero de una variedad importante de productos y para generar diferentes cadenas de producción con la finalidad de lograr productos complejos en poco tiempo, comparado contra una mano de obra calificada.

2.2 El origen de la palabra Robótica

El término se deriva de la palabra checa <<robota>> lo cual, el escritor de ciencia ficción Karel capek (fig. 1.2.1), usó por primera vez en su obra dramática R.U.R (Robots universales Rossum) escrita en 1920 para designar a unas máquinas pensantes que se sublevan y terminan por matar a su creador.



Fig. 1.2.1 Karel Čapek, Escritor Checo Creador del término Robot

Entre algunos autores famosos está Isaac Asimov (Fig. 1.2.3), el cual, definió el término cómo la ciencia que estudia los robots. Así pues, creó las tres leyes de la robótica. En la ciencia ficción, el hombre ha imaginado a los robots visitando nuevos mundos, empoderarse o aliviándolo de las labores caseras



Fig. 1.2.3 Isaac Asimov, Escritor Ruso naturalizado estadounidense; Principalmente de ciencia ficción quién definió las leyes de comportamiento de la Robótica

De cualquier manera, se han de cumplir las tres leyes de la robótica implementados por Isaac Asimov: *“Un robot debe ser inofensivo para la humanidad”*.

Primera Ley: El robot no hará daño a un ser humano, ni por acción, ni por inacción permitirá que un ser humano sufra daño alguno.

Segunda Ley: un Robot debe cumplir las órdenes dadas por los humanos, a excepción de aquellas que entren en conflicto con la primera ley.

Tercera Ley: Un robot debe proteger su propia existencia en la medida en que su protección no entre en conflicto con la segunda ley **(Asimov, 1942)**.

2.3 La construcción del primer Robot

Según algunas fuentes, los primeros robots se remontan, por lo menos, al siglo III a.C.; Uno de los primeros autores en imaginar una suerte de robot, esta vez hecho de carne, fue una mujer: **Mary Shelley** (Fig. 1.2.4). Su monstruo de Frankenstein (1823) abordaba el temor de un pacto fáustico con ecos prometeicos. Ochenta años más tarde, otra mujer concebía otro robot mecánico pero hecho de cera en una época en la que aún no existía el plástico o el acero: *Se fabrican esposas por encargo*, de **Alice W. Fuller** (1895).

El primer robot considerado como tal, y en el mundo real, llegaría un poco más tarde: en 1939. Su nombre era *ELEKTRO*.



Fig. 1.2.4 La Autora Mary Shelley y su personaje más famoso, el cual representa un prototipo de la concepción de lo que hoy se conoce como robot

2.3.1 ELEKTRO, el primer androide

ELEKTRO, este es el apodo del primer robot de la historia y fue concebido por Westinghouse Electric Corporation (fig. 1.3.1). Elektro medía dos metros de altura, pesaba 120 kg., podía caminar por comando de voz y decir 700 palabras (gracias a un fonógrafo de 78 rpm). Además, fumaba cigarrillos, inflaba globos y movía la cabeza y los brazos.

Joseph Barnett, ingeniero de Westinghouse Electric Corporation, utilizó tecnología punta para crear este primer humanoide Elektro se encontraba en exhibición en la Feria Mundial de Nueva York en 1939 y volvió al año siguiente con su compañero **Sparki**, un perro robot que podía ladrar y sentarse.

Elektro llegó a participar en películas como: *Sex Kittens Go to College* del año 1960 (Fig. 1.3.2), y apareció en la tira cómica del periódico *The Amazing Spider-Man*.



Fig. 1.3.1 Elektro

En 1992, la banda de baile Meat Beat Manifesto produjo la canción "Original Control (Version 2)" que incluía fragmentos de los monólogos de Elektro, citando líneas como "I am Elektro" y "My brain is large than yours".

Un robot Elektro fue visto en el episodio del 24 de noviembre de 2019 de *Mr. Robot*, ubicado en una sala de almacenamiento del Museo de Queens que estaba cerca del sitio de la feria mundial Original 1939 y 1964.

Actualmente es propiedad del **Museo Memorial de Mansfield** (Fig. 1.3.1). En 2013, Elektro se exhibió en el Museo Henry Ford en Dearborn.

2.3.1.1 Clasificación de Robots industriales

Tomando como referencia a los dos organismos internacionales más reconocidos como la **Federación Internacional de Robótica y la Asociación de Industrias Robóticas**, podemos encontrar dos definiciones que se basan en la **norma ISO 8373**:

Un robot industrial es un manipulador multifuncional, controlado automáticamente, reprogramable en tres o más ejes, que puede estar fijo o móvil para uso en aplicaciones de automatización industrial.

Un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable capaz de mover materias, piezas, herramientas, o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas.

Analizando las dos descripciones, es posible sacar **varias conclusiones sobre los robots industriales**:

Son multifuncionales, es decir, pueden cumplir con distintas tareas. Esto los convierte en una herramienta imprescindible en muchos tipos de industria a la hora de optimizar procesos y ahorrar gastos.

Son reprogramables. Un robot puede ser calibrado constantemente dependiendo de la tarea que se le haya asignado. Por lo tanto, el componente humano juega un papel importante. Son los técnicos y operarios quienes programan los dispositivos para que estos cumplan con los objetivos establecidos. Dependiendo del grado de automatización, necesitarán mayor o menor asistencia de los seres humanos

2.3.1.2 Características de los robots industriales

Una vez analizada la definición de qué es un robot industrial, debemos saber qué es lo que lo caracteriza y qué variables existen a la hora de clasificarlos:

Grado de libertad: En robótica, el grado de libertad (GDL) (Fig. 2.1.1) se refiere al número de movimientos independientes que puede realizar un sistema mecánico. Es una medida fundamental que describe la complejidad y versatilidad de un robot o cualquier otro sistema mecánico. El término "grado de libertad" se utiliza para cuantificar las diferentes formas en que un robot puede moverse en el espacio

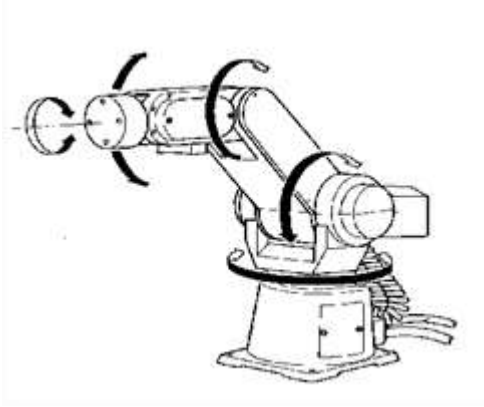


Fig. 2.1.1 grados de libertad en un objeto mecánico.

En un robot, un grado de libertad representa una articulación o una junta que permite un movimiento independiente. Cada grado de libertad añade una dimensión al espacio de configuración del robot. Estos grados de libertad pueden ser de varios tipos, como rotaciones alrededor de ejes, traslaciones lineales, o combinaciones de ambos, dependiendo de la naturaleza de las articulaciones presentes en el robot.

Por ejemplo, en un brazo robótico simple con una articulación que puede girar y otra que puede moverse hacia arriba y hacia abajo, el robot tendría dos grados de libertad. Cada junta o articulación adicional que permita un movimiento independiente añadirá un grado de libertad al sistema.

La determinación del número de grados de libertad es esencial para comprender la complejidad y las capacidades de un robot, ya que afecta directamente la gama de movimientos que puede realizar y su capacidad para realizar tareas específicas en entornos diversos.

2.3.1.2.1.1 Zona de trabajo:

El espacio de trabajo en robótica (Fig.2.1.2) se refiere al volumen tridimensional en el que un robot puede operar de manera efectiva. Es la región en el entorno circundante al robot donde puede moverse y ejecutar tareas. Este concepto es crucial para el diseño, planificación y control de robots, ya que el espacio de trabajo determina las posiciones y orientaciones alcanzables por el extremo efectivo del robot, como una pinza o una herramienta.

El espacio de trabajo está definido por los límites físicos y geométricos del robot, incluyendo las

restricciones impuestas por las articulaciones y las dimensiones mecánicas. La geometría y el tipo de articulaciones del robot determinan la forma y el tamaño del espacio de trabajo. Por ejemplo, un robot con articulaciones rotativas puede tener un espacio de trabajo en forma de esfera, mientras que un robot con articulaciones prismáticas puede tener un espacio de trabajo en forma de prisma.

Los ingenieros y diseñadores de robots suelen realizar análisis detallados para caracterizar y comprender el espacio de trabajo de un robot específico. Esto implica considerar las limitaciones físicas, los ángulos de articulación máximos y mínimos, así como las restricciones de interferencia con obstáculos o restricciones en el entorno de trabajo.

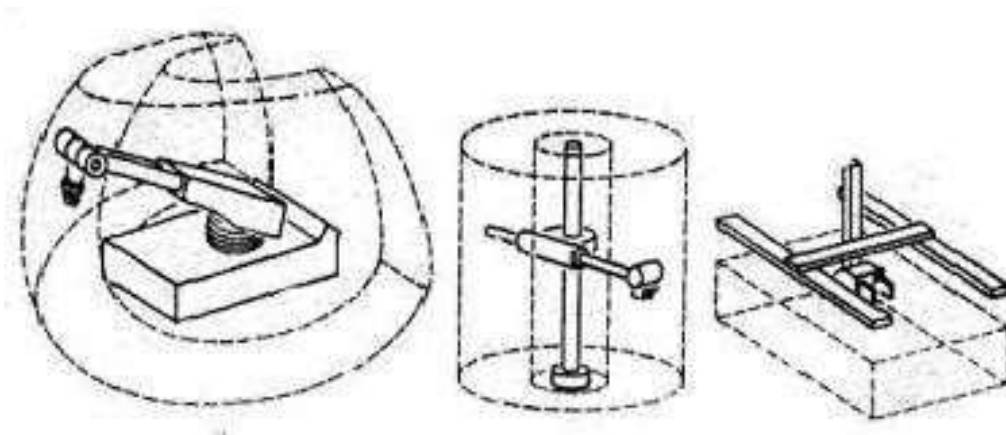


Fig. 2.1.2 los volúmenes de los espacios asignados a maquinaria.

La comprensión del espacio de trabajo es esencial para la planificación de trayectorias, la programación de movimientos y la garantía de que el robot pueda alcanzar todas las posiciones necesarias para llevar a cabo las tareas requeridas de manera eficiente y segura.

2.3.1.3 Carga a sostener:

En el contexto de la robótica, la "carga a sostener" se refiere al peso o la masa que un robot está diseñado para levantar, transportar o manipular durante sus operaciones. Esta especificación es esencial para determinar la capacidad de carga útil de un robot, que es la

cantidad máxima de peso que puede manejar de manera segura y efectiva.

La capacidad de carga de un robot es un factor crítico en la planificación y el diseño de sistemas robóticos, ya que determina la idoneidad del robot para realizar tareas específicas en entornos industriales, de ensamblaje o logísticos. En una tesis que aborda la construcción y programación de un robot, la definición precisa de la carga a sostener es esencial para comprender los requisitos de rendimiento del robot y garantizar que se cumplan las expectativas operativas.

El análisis de la carga a sostener implica considerar no solo el peso físico del objeto que el robot manipulará, sino también otros factores como la distribución de la carga, la aceleración y desaceleración requeridas, y las fuerzas o momentos adicionales que pueden surgir durante la manipulación.

Además, se deben tener en cuenta las características mecánicas del sistema, como la resistencia estructural de los componentes y la capacidad de los actuadores y motores para soportar la carga.

2.3.1.4 Velocidad de acción:

En el contexto de la robótica, la "velocidad de acción" se refiere a la rapidez con la que un robot puede llevar a cabo sus movimientos o ejecutar tareas específicas. Este parámetro es esencial para evaluar y cuantificar el rendimiento dinámico de un robot, ya que afecta directamente la eficiencia y la productividad en diversas aplicaciones.

En el marco de una tesis que aborda la construcción y programación de un robot, la velocidad de acción se convierte en un elemento crítico para la planificación de movimientos, la ejecución de tareas y la optimización del rendimiento global del sistema. Esta variable puede estar relacionada con la velocidad de desplazamiento del robot en su espacio de trabajo, así como con la velocidad de ejecución de acciones específicas, como la manipulación de objetos o el ensamblaje de componentes.

El análisis de la velocidad de acción implica considerar factores como la dinámica del robot, la capacidad de los actuadores y motores para generar movimientos rápidos y precisos, así como la respuesta y la velocidad de procesamiento de los algoritmos de control. La velocidad de acción también está relacionada con la seguridad, ya que ciertas aplicaciones pueden requerir movimientos más lentos y controlados para evitar riesgos potenciales.

2.3.1.5 Nivel de programabilidad:

Se Define cómo la velocidad de acción en la robótica es un parámetro crucial que impacta directamente en la capacidad de un robot para realizar tareas con eficiencia y precisión. Su definición y optimización son aspectos fundamentales en proyectos de investigación y desarrollo relacionados con la construcción y programación de robots.

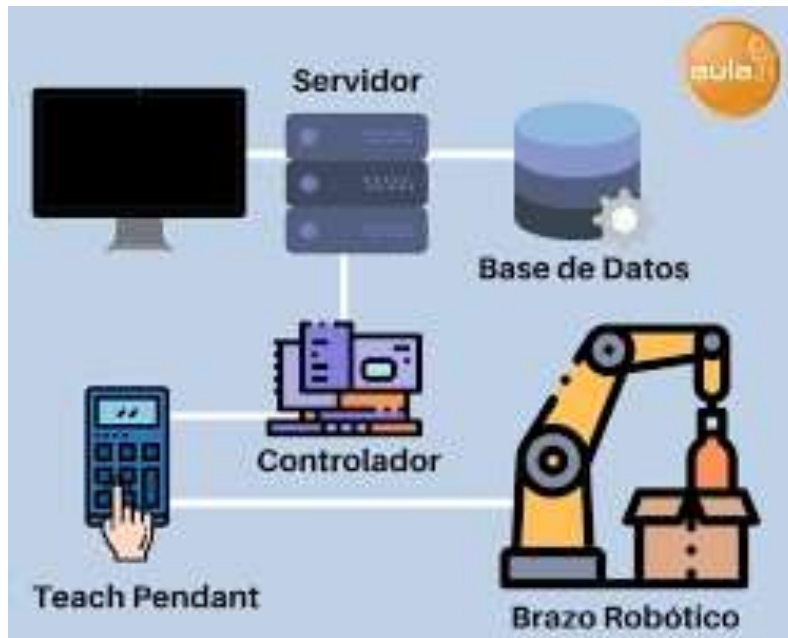


Fig.2.2.4 esquema en el que físicamente se constituyen los procesos de los robots actuales para su funcionamiento en sus tareas.

2.3.2 Tipos de robots industriales

Estos son algunos tipos de robots:

2.3.2.1 Robot cartesiano

Se trata de un robot de coordenadas cartesianas. Estos dispositivos funcionan contra ejes lineales (X, Y y Z), que se mueven en línea recta y forman ángulos rectos. Son **robots perfectos para soldar**, de ahí a que sea uno de los más utilizados en este sector. Ofrecen precisión, rentabilidad y facilidad en su programación y uso. ¿Qué ejemplo ilustra este tipo de robot?

Una impresora 3D. (Fig.2.2.1)

*fig. 2.2.1 Robot Cartesiano*

2.3.2.2 Robot Scara

La palabra SCARA hace referencia a las siglas **Selective Compliant Assembly Robot Arm**. Este brazo robótico se utiliza mucho para el pick & place en el sector industrial. Aunque también funciona con el mismo número de ejes que el cartesiano,

tiene más grado de libertad que el anterior ya que, además, puede realizar un movimiento de rotación. Al ser muy preciso en movimientos, suele utilizarse para la **inserción de componentes en productos**.

Estos dos robots son los que **realizan los movimientos más básicos dentro de la industria**. Cuando hacen **movimientos más específicos**, aparecen los siguientes tipos (fig. 2.2.2):

2.3.2.3 Robot cíclico o redundante

La redundancia en robótica industrial se da cuando un dispositivo tiene más grados de libertad que los necesarios. El robot cíclico trabaja de tal manera que cuenta con varias posturas para una misma posición. Es decir, es capaz de poner la pinza o herramienta que realiza la tarea en una determinada posición a través de diferentes posturas.



Fig. 2.2.2 Robot Scara

2.3.2.4 Robot de seis ejes

También se les denomina como robots de 6 tipos de libertad. ¿Cuál es su cualidad más destacada? Que es muy flexible gracias a las tres orientaciones que tiene su herramienta o pinza. Las tareas de carga y descarga de materiales suelen automatizarse en las fábricas gracias a los robots de seis ejes (fig. 2.2.3).



Fig. 2.2.3 Brazo robótico de tres grados de libertad

2.3.2.5 Robot de doble brazo

Tal y como dice su propio nombre, este robot cuenta con dos brazos robóticos (Fig. 2.2.4) que trabajan juntos simultáneamente en una tarea determinada. Debido a las múltiples funciones que realizan y las capacidades con las que cuentan (ajustar la fuerza debida, reconocer objetos o tomar decisiones propias) son robots muy complejos y de elevado coste económico.

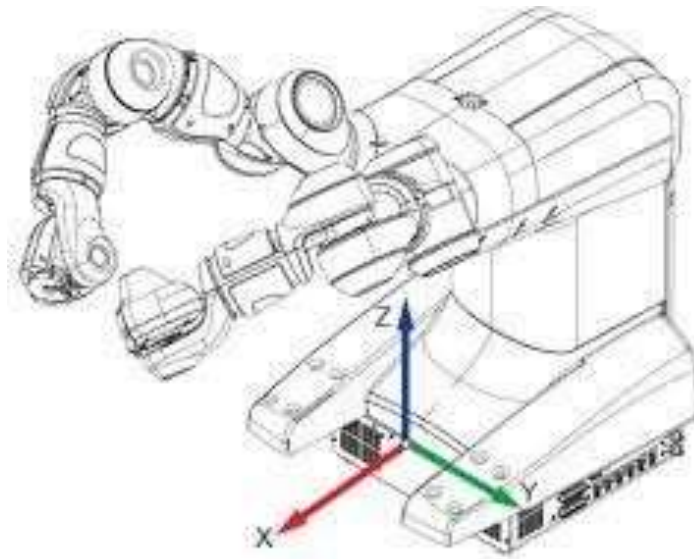


Fig.3.1 Robot de dos brazos

2.3.2.6 Antropomórfico

Este robot posee 3 articulaciones de posicionamiento y simula los movimientos de un brazo humano. El primer eje se corresponde con el brazo, el segundo con el antebrazo y el tercero con la muñeca. Dentro de esta tipología de robot encontramos robots de 5 ejes, 6 ejes y 7 ejes. En cuanto a este último, lo que le diferencia del de 6 ejes es que la base está montada sobre una guía lineal (track), la cual le permite moverse hacia adelante y hacia atrás.

Este robot posee una gran accesibilidad y maniobrabilidad, es rápido y ocupa poco espacio con relación al campo de trabajo que abarca. La integración de estos robots va acompañada de medidas de seguridad específicas. Se utilizan para aplicaciones de soldadura, ensamblaje, aportación de materiales, pintura y paletizado (fig.2.2.5).



Fig. 2.2.5 Robots Antropomórficos

2.4 ¿Qué es un Robot Scara?

Los **robots Scara**, también conocidos como brazos robóticos, son un caso de éxito en la historia de la automatización. Sus cuatro grados de libertad ofrecen mucha más rapidez, precisión y posibilidades que los manipuladores cartesianos de 3 ejes usados tradicionalmente para la manipulación.

El acrónimo de SCARA es “Selective Compilant Assembly Robot Arm”, que en castellano significa “Brazo robótico de montaje selectivamente adaptable”. Se diferencia por ser un robot de pequeñas dimensiones que ha sido diseñado para realizar **trabajos repetitivos a gran velocidad** y con una alta precisión. Una de sus típicas aplicaciones es coger y dejar piezas de un punto A a un punto B, lo que se conoce como “**Pick & Place**”.

El diseño de brazo robótico Scara es muy parecido a un brazo humano. El primer eje (eje X) se mueve horizontalmente. El segundo (eje Y), montado sobre el primer eje, nos permite el posicionado en dos dimensiones. El tercero (eje Z) está compuesto por un husillo que añade el componente vertical. El cuarto eje es la rotación del propio husillo, que permite orientar el producto en la posición deseada sobre el plano.

2.4.1 Sistemas de control

Los sistemas de control automático son objetos o sistemas que, al recibir una señal de entrada, realizan alguna función de forma automática sin la intervención de las personas.

Como ejemplo en el diagrama de bloques (fig. 2.3.1) tenemos el control de temperatura de una habitación, el sistema de riego automático, control de encendido de luces,

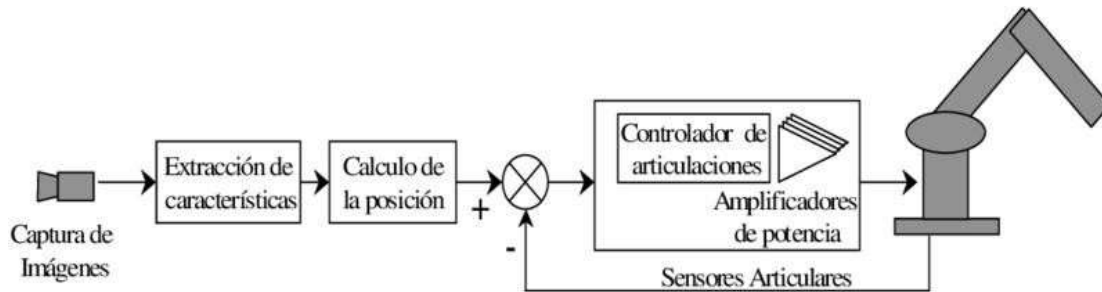


Fig. 2.3.1 diagrama de bloques del funcionamiento de un sistema robótico

Los sistemas de control están formados por un conjunto de dispositivos de diversa naturaleza (mecánicos, eléctricos, electrónicos, neumáticos, hidráulicos) cuya

finalidad es controlar el funcionamiento de una máquina o de un proceso. En todo sistema de control podemos considerar una **señal de entrada** que actúa sobre el sistema y una **señal de salida** proporcionada por el sistema.

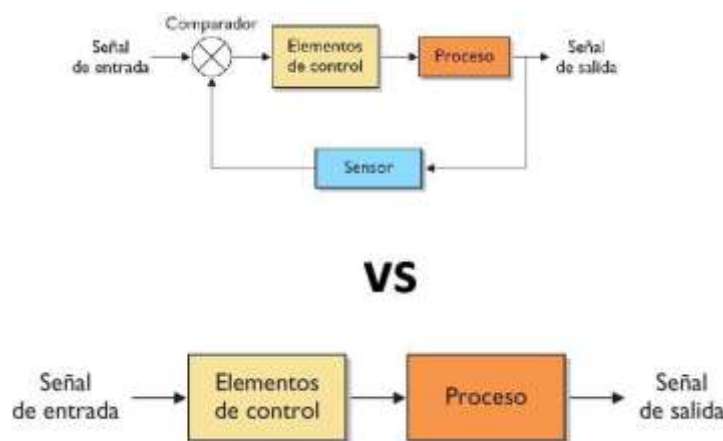


Fig2.3.2 Tipos de Sistemas de control

2.4.1.1 Sistemas de control de Lazo Abierto:

Cuando la salida no tiene influencia sobre la señal de entrada, se dice que es de **lazo abierto**. Como ejemplo tenemos un amplificador de sonido o los sistemas de mando de los electrodomésticos presentes en el hogar (lavadora, horno eléctrico)(Fig. 2.3.3)

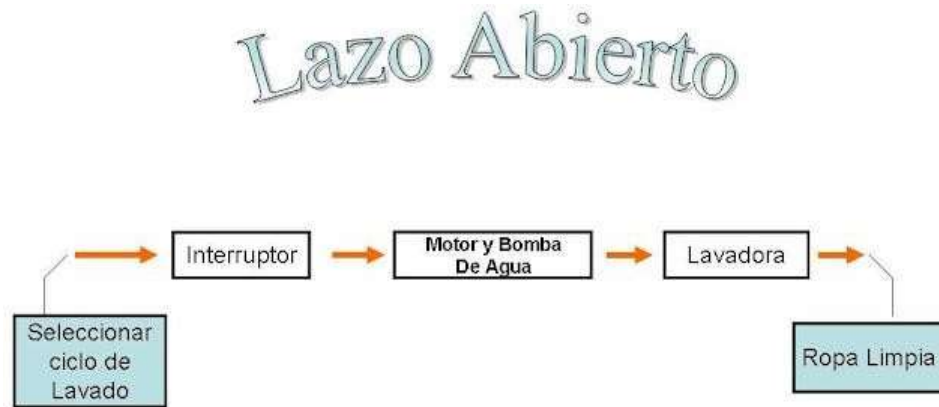


Fig.2.3.3 Sistema de Lazo abierto

2.4.1.2 Sistemas de control de Lazo Cerrado:

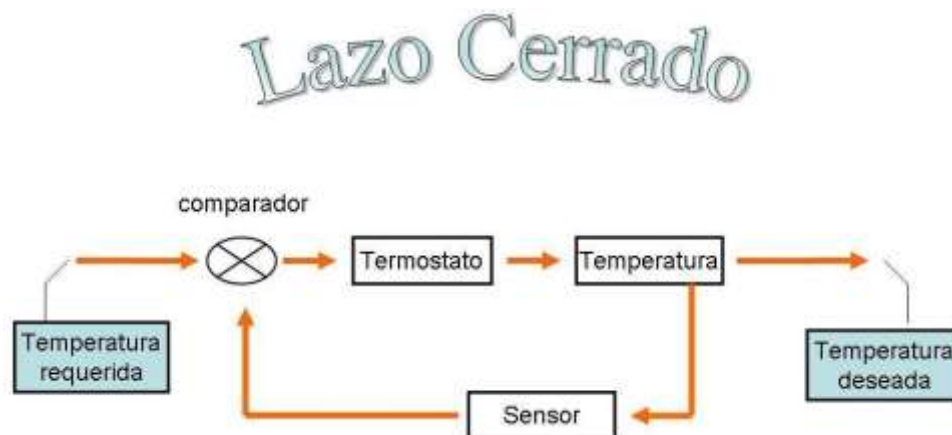


Fig. 2.3.4 Sistemas de lazo cerrado

A diferencia del control de lazo abierto, el sistema de control de lazo cerrado utiliza

retroalimentación para ajustar continuamente las acciones del robot. Sensores miden el estado real del sistema y lo comparan con el estado deseado, permitiendo correcciones en tiempo real. Esto mejora la precisión y la capacidad de adaptación del robot.

Los **sensores** son elementos que captan información del entorno (temperatura, humedad, velocidad).

- El **controlador** es un mecanismo o circuito electrónico que pone en funcionamiento un **actuador**, en función del valor de entrada y del valor del sensor.
- El **actuador** es un elemento que lleva a cabo el proceso para el que se ha diseñado el sistema automático (calefacción, motor, luces, ...)

2.4.1.3 Control Proporcional, Integral, Derivativo (PID):

Los controladores PID (Fig. 2.3.5) son comunes en robótica. Estos controladores ajustan la salida del sistema en función de tres términos: proporcional (P), integral (I) y derivativo (D). El término proporcional maneja el error actual, el término integral aborda el acumulado de errores pasados, y el término derivativo previene la acumulación excesiva de errores.

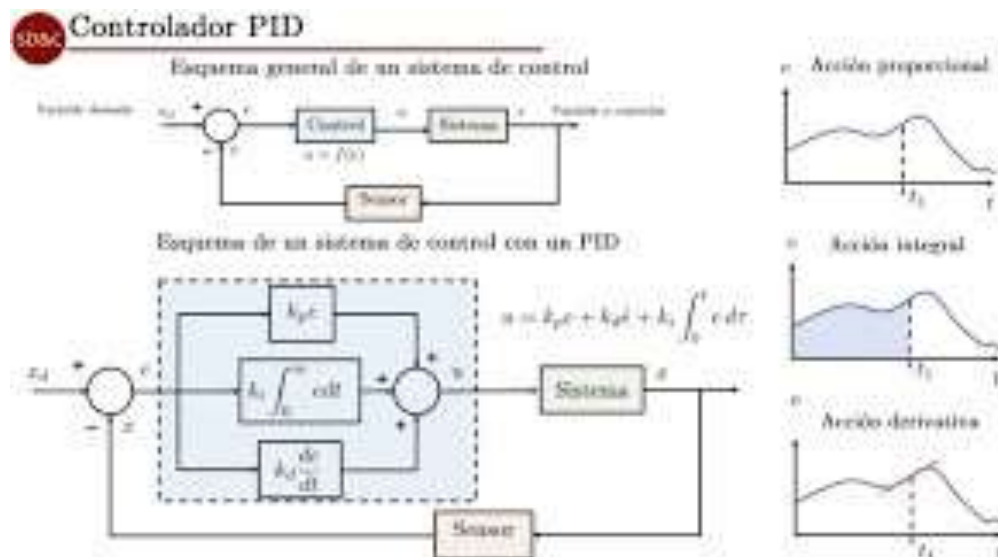


Fig.2.3.5 Diagrama de bloques de Sistema PID

2.4.1.4 Control por Retroalimentación de Estados:

Este tipo de control utiliza información completa sobre el estado del sistema para realizar ajustes. Los controladores basados en retroalimentación de estados pueden ser más complejos, pero ofrecen un control más preciso y sofisticado. (fig.2.3.6)

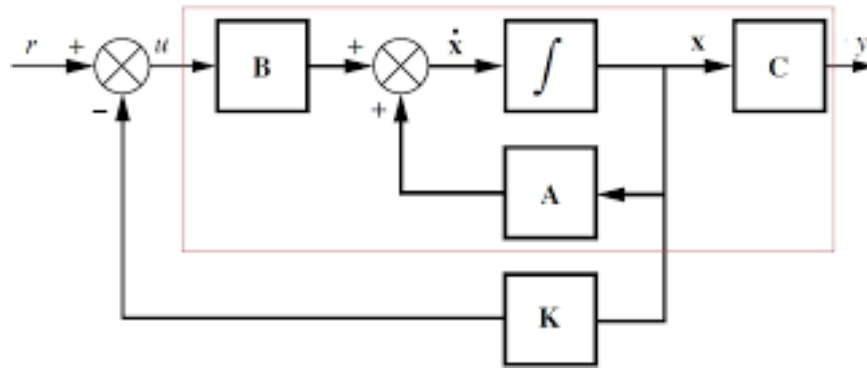


Fig. 2.3.6 Diagrama de bloques del sistema de control por retroalimentación de estados

2.4.1.5 Control Predictivo:

Los sistemas de control predictivo anticipan el comportamiento futuro del sistema y ajustan las acciones de control en consecuencia. Esto permite una adaptación proactiva a cambios en el entorno y la optimización del rendimiento a largo plazo. (Fig.2.3.7)



Fig. 2.3.7 Diagrama de bloques de un sistema de control predictivo

naturaleza del entorno, la precisión requerida y la capacidad de adaptación necesaria. En muchos casos, se combinan varios enfoques para obtener un control óptimo en diferentes aspectos del sistema robótico.

2.5 ¿Qué es un Robot?

Un robot es un dispositivo electromecánico programado dotado de movimiento autónomo, y diseñado para sustituir al ser humano en determinadas funciones. Es capaz de llevar a cabo tareas por sí solo interactuando con su entorno.

Los Robot constan de dos partes diferenciadas.

- **Sistema mecánico:** está constituido por una estructura de piezas rígidas, que se unen entre sí mediante articulaciones. Esta estructura se mueve gracias a los **actuadores**, que pueden ser neumáticos, hidráulicos o eléctricos.
- **Sistema de control:** está formado por los sistemas electrónicos complejos que controlan las acciones del robot, incluido un ordenador, a través del cual se introduce el programa, que describe las acciones que debe realizar cada elemento y que se almacena en la memoria.

Disponen de **sensores** (proximidad, temperatura, presión, posición, iluminación, sonido, micro-interruptores, velocidad, magnéticos...) que les informan de las condiciones del entorno para adaptar su funcionamiento a dichas condiciones.

El proceso de programación de un robot consiste en introducir en su sistema de control, las instrucciones necesarias para que desempeñe las tareas para las que ha sido diseñado.

2.6 Anatomía de un Robot Scara

La anatomía de un robot SCARA constituye un componente esencial en el diseño y construcción de este sistema robótico. Este capítulo proporciona una visión detallada de los elementos estructurales y funcionales que componen un robot SCARA, destacando su configuración específica y la relevancia de cada componente en el rendimiento global del sistema.

Los sistemas de actuación, que incluyen motores y transmisiones, son responsables de generar los movimientos en las articulaciones. Motores NEMA (National Electrical Manufacturers Association) (fig. 2.4.4) son comúnmente utilizados, proporcionando potencia y precisión en la ejecución de tareas.



Fig. 2.4.4 Tipos de motores Nema

2.6.4 Sistemas de Control:

La anatomía del sistema de control abarca la electrónica y el software encargados de coordinar y sincronizar los movimientos del robot. La implementación de algoritmos de control eficientes es esencial para garantizar la precisión y velocidad de las operaciones.

2.6.5 Movimientos del Robot Scara:

La comprensión detallada de los movimientos de un robot SCARA es esencial para diseñar, programar y controlar eficientemente este tipo de sistemas robóticos. Este capítulo proporciona un análisis exhaustivo de los movimientos inherentes a un robot SCARA, destacando su cinemática, grados de libertad y aplicaciones prácticas. El objetivo es proporcionar una base teórica sólida que respalde el desarrollo y la optimización de los movimientos de un robot SCARA en contextos de ensamblaje y manipulación.

Cinemática de un Robot SCARA:

La cinemática de un robot SCARA (Fig. 2.6.1) es fundamental para comprender sus movimientos en el espacio tridimensional. Este tipo de robot se caracteriza por sus

articulaciones rotativas, lo que proporciona movimientos en el plano horizontal. La configuración típica de dos grados de libertad en el brazo permite realizar movimientos de traslación y rotación, contribuyendo a su versatilidad en tareas de ensamblaje y manipulación.

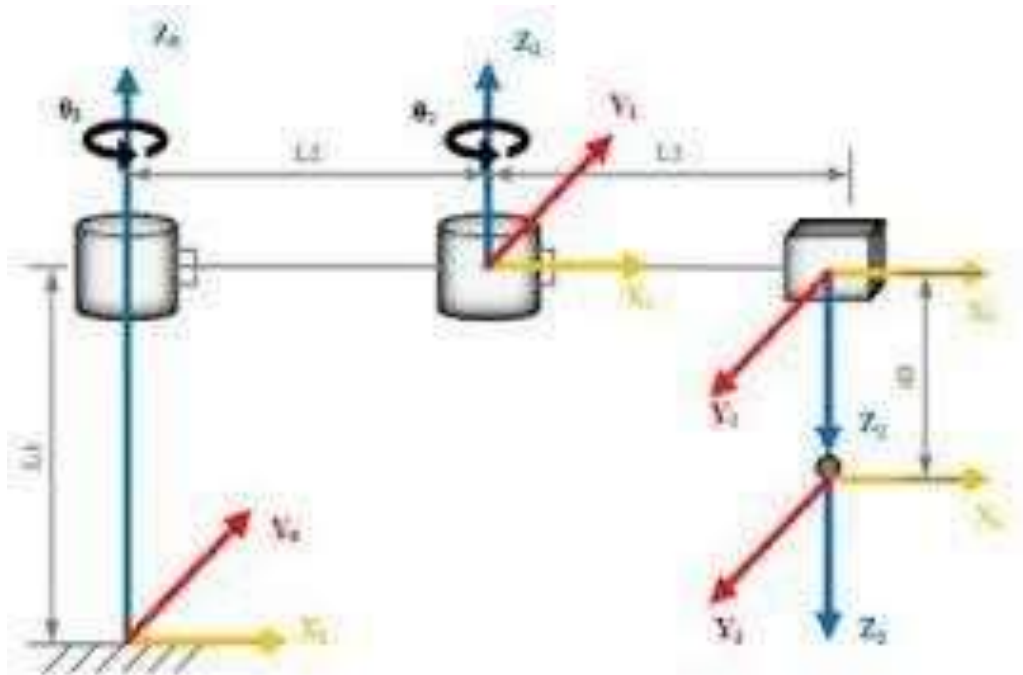


Fig. 2.6.1 Posicionamiento Gráfico de las posibilidades Cinemáticas del Scara

2.6 Grados de Libertad y Movimientos Posibles:

Los movimientos de un robot SCARA están determinados por sus grados de libertad. En este caso, dos grados de libertad están asociados con las articulaciones rotativas que definen el movimiento en el plano XY. El primer grado de libertad controla el giro de la articulación en la base, mientras que el segundo regula el ángulo del brazo respecto a la base. Esta configuración ofrece movimientos eficientes en el plano horizontal, permitiendo que el robot alcance y manipule objetos con precisión.

2.6.5 Descripción Detallada de Movimientos:

- Movimiento en el Plano Horizontal:** El robot SCARA puede realizar movimientos suaves y precisos en el plano horizontal debido a sus articulaciones rotativas. Esta capacidad es esencial para tareas de ensamblaje donde se requiere una posición precisa del efector final.

b. Movimientos de Traslación y Rotación: La combinación de movimientos de traslación y rotación permite al robot SCARA alcanzar diferentes posiciones y orientaciones en su espacio de trabajo. Estos movimientos son cruciales para la manipulación de objetos y la realización eficiente de tareas específicas.

c. Alcance y Área de Trabajo: La cinemática del robot SCARA determina su alcance y área de trabajo efectiva. El análisis detallado de estos parámetros es esencial para la planificación de trayectorias y la optimización de la eficiencia en la ejecución de tareas.

2.6.6 Programación de Movimientos:

La programación de movimientos en un robot SCARA implica la implementación de algoritmos y controladores que coordinen las acciones de las articulaciones para lograr movimientos específicos (Fig. 2.6.2). En este contexto, la programación puede incluir la aplicación de técnicas avanzadas, como el control PID, para garantizar la precisión y la estabilidad durante los movimientos.

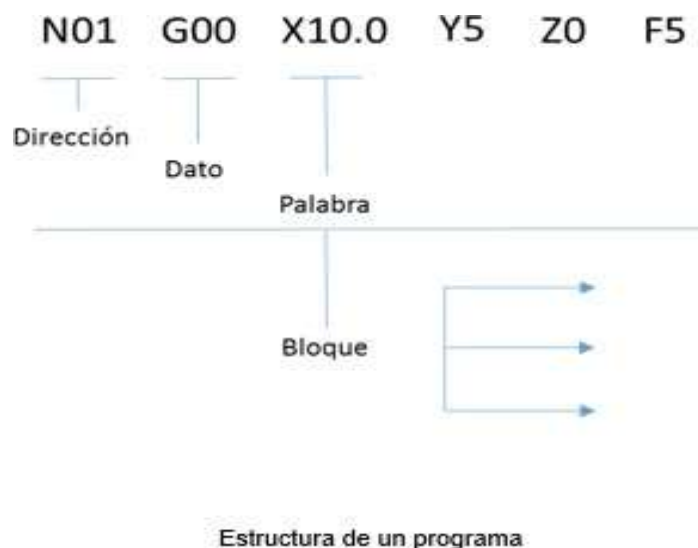


Fig. 2.6.2 Ejemplo de uso del código M mostrado con un ejemplo muy somero del mismo

2.6.7 Aplicaciones Prácticas:

Los movimientos del robot SCARA encuentran aplicaciones en una variedad de entornos industriales (Fig. 2.6.3), desde líneas de ensamblaje hasta procesos de manipulación y empaquetado. La capacidad de realizar movimientos rápidos y precisos posiciona al robot SCARA como una herramienta valiosa en aplicaciones donde se requiere una alta receptibilidad y eficiencia en el posicionamiento.

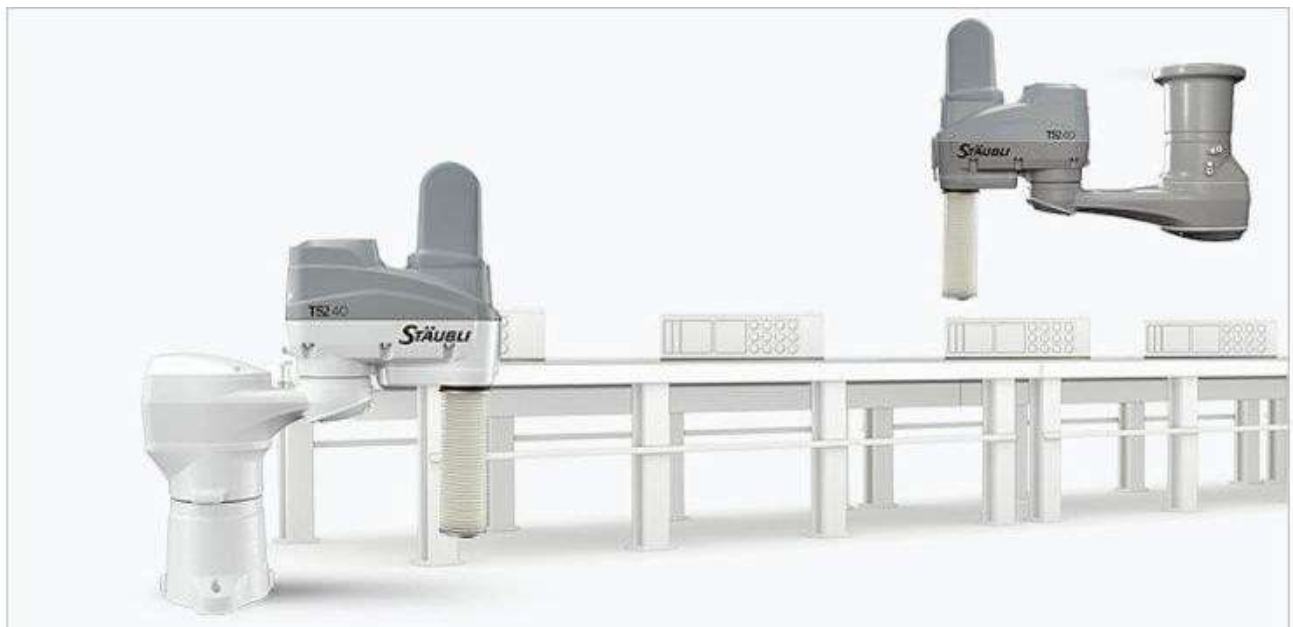


Fig. 2.6.3 implementación del robot scara en la industria

2.6.8 Desafíos y Áreas de Investigación Futuras:

A pesar de sus capacidades destacadas, los movimientos de un robot SCARA también presentan desafíos, como la optimización de la cinemática para tareas específicas y la adaptabilidad a entornos cambiantes. Investigaciones futuras podrían centrarse en el desarrollo de algoritmos más avanzados y técnicas de control para mejorar la velocidad y la precisión de los movimientos.

CAPÍTULO III

DESARROLLO

3. CONSTRUCCIÓN

3.1 Diseño del Proyecto

Este diseño permite movimientos en el plano XY y un movimiento vertical en el eje Z. El brazo consta de tres segmentos articulados, conectados mediante juntas rotacionales y prismáticas, lo que permite la manipulación de objetos en un plano horizontal con cierta flexibilidad.

3.1.1 Características del Diseño:

Base: La base del robot es fija y suele estar montada en una superficie plana y estable.

Primer Brazo: Es el segmento más cercano a la base y se conecta a través de una junta rotacional. Este brazo puede rotar en el plano horizontal (usualmente el plano XY).

Segundo Brazo: Conectado al primer brazo, también a través de una junta rotacional, puede rotar en el mismo plano que el primer brazo.

Brazo Vertical: Conectado al segundo brazo por una junta prismática o lineal, permite movimientos verticales en el eje Z.

Efecto Final: En el extremo del brazo vertical se coloca el efecto final que puede contener herramientas o pinzas para manipular objetos.

Para realizar el diseño es necesario elegir un software de diseño asistido por computadora el cual en este caso será SolidWorks por lo cual es necesario elaborar las piezas que conforman el robot por separado para realizar posteriormente un ensamble.

El diseño general de un robot de este tipo puede variar en múltiples aspectos así como poseer distintas características de movilidad y resistencia, tomando esto en cuenta y después de realizar bocetos se creó un diseño acorde a la funcionalidad y propósito del brazo robótico.

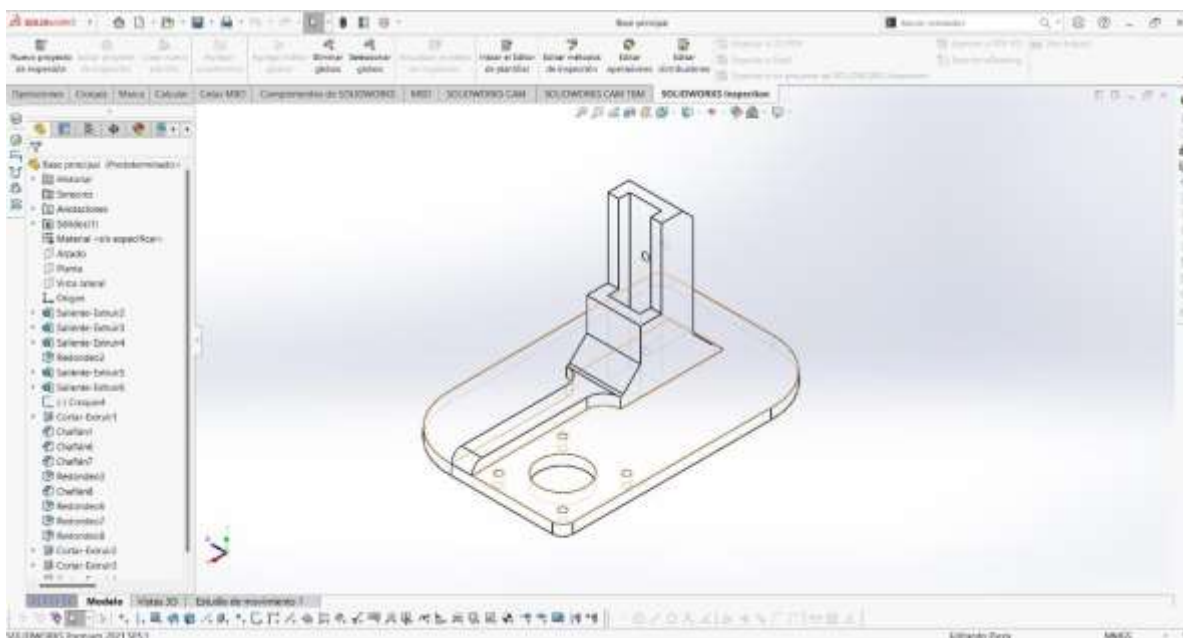


Fig 3.1 Diseño de base general en SW

Cabe destacar que la estructura diseñada para la impresión en 3D fue realizada con los parámetros previamente medidos y calculados acorde al resto de elementos mecánicos a usar. Por lo que todas las piezas están hechas a medida para el proyecto construido.

Teniendo esta parte en consideración es necesario tomar medidas previamente de cada elemento mecánico, así como considerar los movimientos a realizar por el robot.

Todos los planos generales y el ensamble final se pueden encontrar en los anexos.

3.1.2 Cinemático por el Método Gráfico:

El cálculo cinemático se realiza mediante la representación gráfica de los eslabones y juntas del robot (FIG. 3.1.1). Este método implica dibujar diagramas para cada articulación y determinar las relaciones geométricas entre ellas. A continuación, se describen los pasos básicos:

Definición de parámetros: Se definen las longitudes de los eslabones y las ubicaciones de las juntas.

Dibujo de los eslabones: Se dibujan los eslabones del robot en una representación bidimensional, mostrando las articulaciones y las longitudes según la definición de parámetros.

Obtención de las ecuaciones cinemáticas: Utilizando trigonometría, se obtienen las ecuaciones que relacionan las variables de articulación con las posiciones y orientaciones del efector final.

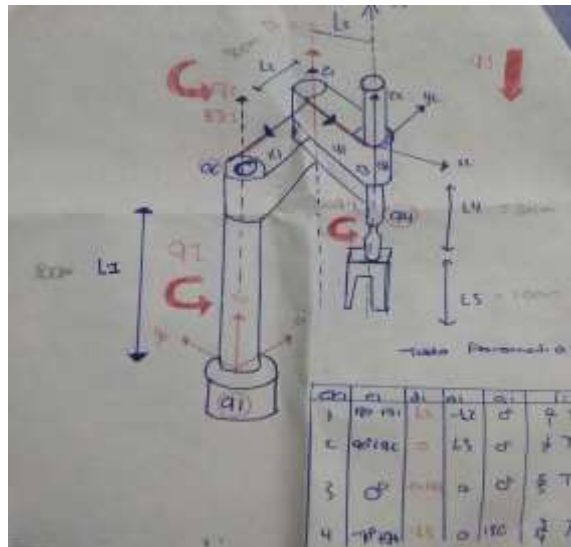


Fig. 3.1.1 Diseño preliminar para el cálculo.

3.1.3 Análisis Cinemático por el Método Denavit-Hartenberg:

El método Denavit-Hartenberg es un enfoque sistemático para describir la cinemática de robots. Se basa en una asignación de marcos de referencia a cada articulación y la definición de parámetros DH (Denavit-Hartenberg) (Fig. 3.2.1) para describir las relaciones entre estos marcos. Los pasos son:

Columna1	e1	d1	a1	ai	l
1	$180^\circ + q_1$	L1	-L2	0°	0/1 T
2	$90^\circ + q_2$	0	L3	0°	1/2 T
3	0°	$-L4 + q_3$	0	0°	5/5 T
4	$-90^\circ + q_4$	-Ls	0	180°	3/4 T

Fig. 3.2.1 Tabla de Valores Cinemáticos del Scara

Asignación de sistemas de referencia: Se asignan sistemas de referencia a cada articulación siguiendo ciertas convenciones.

Definición de parámetros DH: Se definen los parámetros DH para cada articulación, incluyendo la longitud del enlace, la orientación del eje y la ubicación del origen.

Construcción de la matriz de transformación homogénea: Se utilizan los parámetros DH para construir la matriz de transformación homogénea para cada articulación.

Multipliación de matrices: Se multiplican todas las matrices de transformación para obtener la matriz de transformación final que relaciona las coordenadas del efector final con las variables de articulación.

Estos métodos permiten calcular las posiciones y orientaciones del efector final en función de las variables de articulación, lo que es crucial para el control y la planificación de movimientos del robot SCARA.

3.1.4 Simulación Matlab-SIMULINK

Crear una simulación de un robot SCARA de tres grados de libertad en MATLAB implica modelar la cinemática directa e inversa del robot, así como diseñar un entorno gráfico para visualizar su movimiento. A continuación, se describen los pasos generales para realizar esta simulación:

3.1.5 Modelo Cinemático:

Definir los parámetros geométricos y cinemáticos del robot SCARA, incluyendo longitudes de los brazos y las ubicaciones de las articulaciones.

Utilizar el método Denavit-Hartenberg o el método de ángulos de Euler para describir la cinemática directa e inversa del robot. (fig. 3.2.2)

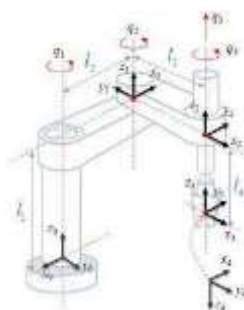


Fig. 3.2.2 Modelo denavit-Hartenberg Básico de un proyecto scara

3.1.5.1 Cinemática Directa:

Utilizar las ecuaciones cinemáticas para calcular la posición y orientación del efector final (la posición de la pinza) en función de las variables de articulación.

3.1.5.2 Cinemática Inversa:

Calcular las ecuaciones para la cinemática inversa, que permiten determinar las variables de articulación a partir de una posición y orientación deseadas del efector final.

3.1.5.3 Interfaz Gráfica:

Crear una interfaz gráfica en MATLAB para mostrar el robot SCARA y su movimiento en un entorno tridimensional.

Utilizar gráficos 3D para representar los brazos, articulaciones y el efector final del robot.

3.1.5.4 Animación del Robot:

Utilizar las ecuaciones de cinemática directa e inversa para animar el movimiento del robot SCARA en la interfaz gráfica.

Asociar las posiciones de las articulaciones con las posiciones y orientaciones del efector final para lograr un movimiento realista.

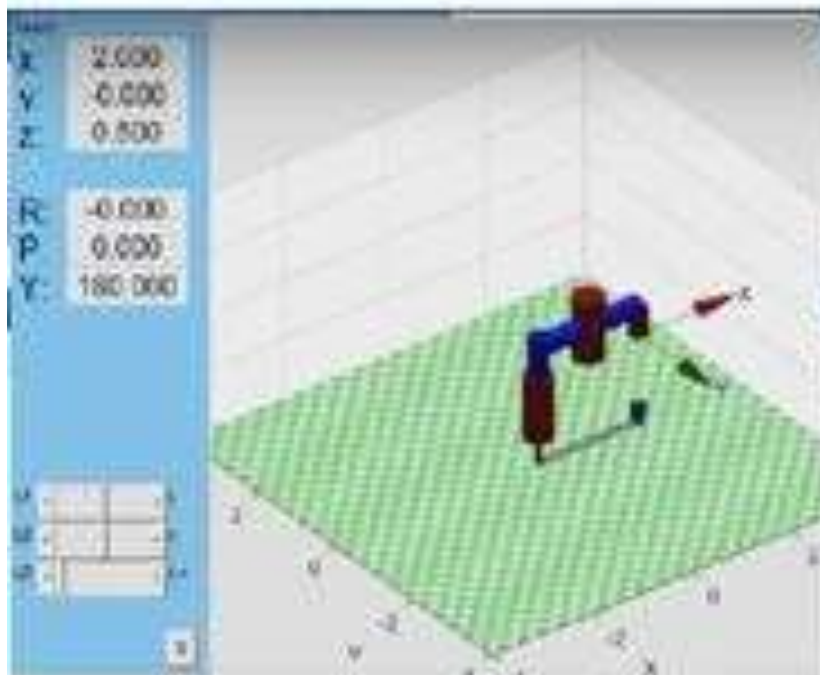


Fig. 3.2.3 Vista 3d de la simulación de movimiento del modelado del teorema Denavit-Hartenberg

3.1.6 Control de Movimiento:

Implementar algoritmos de control que permitan mover el robot SCARA en trayectorias específicas o hacia posiciones y orientaciones deseadas.

3.1.7 Simulación y Visualización:

Ejecutar la simulación y observar el movimiento del robot SCARA en la interfaz gráfica. (Fig. 3.2.4)

Es importante recordar que la simulación puede ser tan compleja o detallada como lo requiera el proyecto. Se pueden incluir características adicionales como colisiones, detección de obstáculos, análisis de trayectorias y optimización de movimientos según los objetivos específicos de la simulación.

Para comenzar, es recomendable definir las ecuaciones cinemáticas directas e inversas del robot SCARA y luego avanzar hacia la implementación de la interfaz gráfica y la animación en MATLAB-SIMULINK.

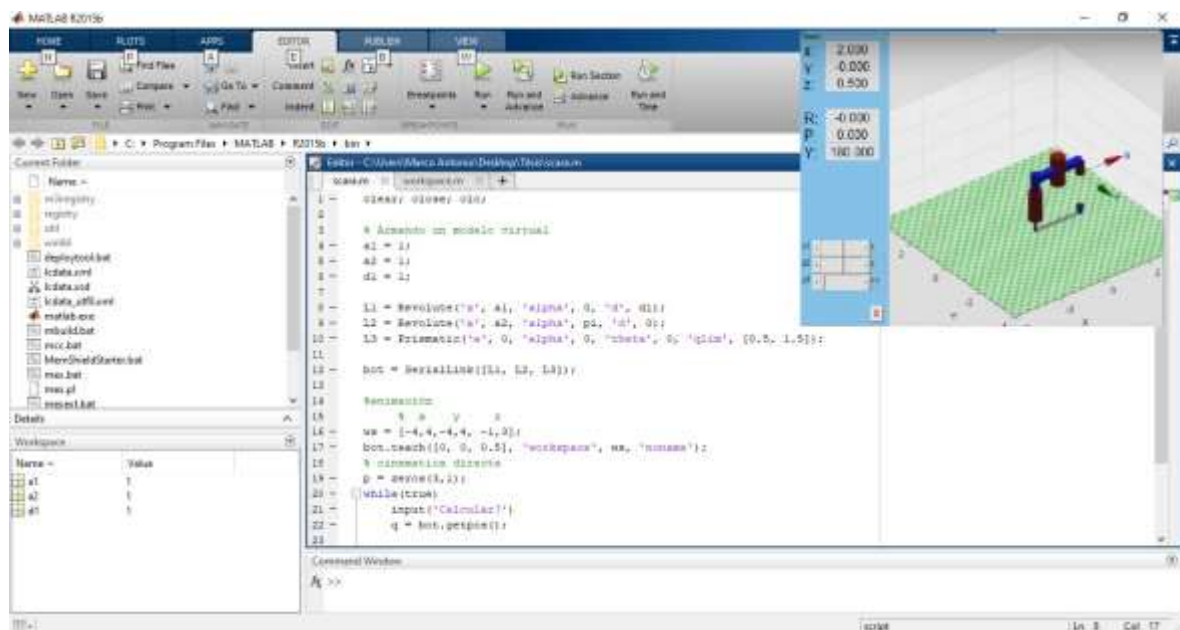


Fig. 3.2.4 Código usado en la simulación de movimiento por medio del teorema Denavit-Hartenberg

3.2 Creación del código fuente del Robot Scara

3.2.1 Programación de Robot Scara

La programación es parte de un proyecto basado a la configuración y manejo de una impresora 3D Tipo marlín, relacionado con la arquitectura de un microcontrolador Arduino ATMEGA. Este código incluye bibliotecas y definiciones necesarias para interactuar con diferentes componentes, controladores de motor paso a paso y más.

3.2.5 Ensayo sobre la Creación y Función del Código para Control de RobotScara

La creación y programación de un robot implica la integración de varios componentes y tecnologías para lograr la precisión y la funcionalidad deseada. Unode los aspectos cruciales es el manejo de la interfaz de usuario y la comunicación con los diferentes dispositivos y sensores. En este contexto, el fragmento de código proporcionado juega un papel fundamental al establecer las conexiones necesariasy cargar las bibliotecas requeridas para el funcionamiento de una variedad de módulos.

En primer lugar, el código incluye un archivo de configuración, "Configuration.h", que sugiere el modularidad y la posibilidad de personalizar la configuración según los requisitos del proyecto. Esto es esencial ya que diferentes robots scara puedentener diferentes conjuntos de componentes y funcionalidades específicas. El uso dearchivos de configuración permite a los desarrolladores adaptar fácilmente el códigoa las especificaciones de su brazo.

El código también incluye definiciones de pines, "pins.h", que son cruciales para identificar los pines en el microcontrolador que están conectados a diversos dispositivos. Esta organización es útil para mantener un código limpio y fácilmente comprensible, ya que los pines pueden ser referenciados por nombres en lugar de números. Esto es especialmente valioso cuando se trabaja con microcontroladoresque tienen muchos pines.

El código también maneja la posibilidad de utilizar potenciómetros digitales, comúnmente conocidos como "digipots". Si el sistema tiene digipots, se incluye la biblioteca SPI y se realiza la configuración necesaria para controlarlos. Esto podríautilizarse, por ejemplo, para ajustar parámetros de posicionamiento en tiempo real.

En adición, el código aborda la configuración de controladores de motor paso a paso avanzados. En este caso, se incluyen bibliotecas como "TMC26XStepper.h" y "L6470.h". Estas bibliotecas permiten la comunicación y el control de los controladores TMC26X y L6470, que son ampliamente utilizados en aplicaciones de brazos scara para controlar los motores con precisión y suavidad.

3.2.6 El uso del Sistema PID como control del Scara

3.2.6.1 Implementación del PID en Arduino:

Configuración de pines y conexiones: Antes de comenzar la programación, se establecen las conexiones entre Arduino y los actuadores y sensores del robot SCARA. Los pines digitales y analógicos se asignan según la configuración específica del hardware.

Definición de variables: Se definen las variables para almacenar valores como la posición actual, la posición deseada, el error y las salidas proporcionales, integrales y derivativas.

Incorporación de bibliotecas: Se utilizan bibliotecas relevantes de Arduino, como la biblioteca PID, que simplifica la implementación del control PID al proporcionar funciones y métodos predefinidos.

3.2.6.2 Funcionamiento del Código para el Robot SCARA:

- Captura de datos de datos programados por el código M: Se integran las coordenadas de trabajo por medio del código M, lo cual permite realizar con sus debidos tratos y trayectorias para colocar las piezas requeridas.
 - Cálculo del error: El error se calcula restando la posición deseada de la posición actual. Este valor se utiliza en los cálculos de los componentes P, I y D.
 - Cálculo de la salida del PID: Se aplica la fórmula del control PID para determinar la salida que se enviará a los actuadores para corregir la posición del robot.
- Iteración continua: El código se ejecuta en un bucle continuo, capturando datos, calculando la salida PID y ajustando la posición del robot en cada iteración.

3.2.6.3 Ajuste y Optimización del PID:

Ajuste manual: Se realiza un ajuste manual de los parámetros PID para lograr un rendimiento óptimo. Esto implica probar y ajustar los valores de P, I y D para minimizar el error y garantizar una respuesta rápida y estable.

Sintonización automática: Se pueden explorar métodos de sintonización automática para ajustar dinámicamente los parámetros PID en función del comportamiento observado durante la ejecución.

3.2.6.4 Consideraciones Específicas para un Robot SCARA:

Configuración de articulaciones: La programación del PID se adapta a la cinemática específica del robot SCARA, considerando las articulaciones rotativas y su geometría particular.

Integración con sistemas de visión: En proyectos más avanzados, la programación puede incluir la integración con sistemas de visión para mejorar la capacidad del robot SCARA para reconocer y manipular objetos en entornos cambiantes.

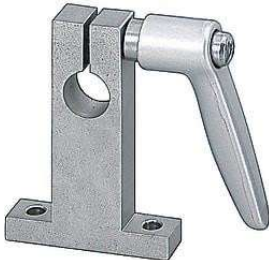
3.2.6.5 Validación y Pruebas:

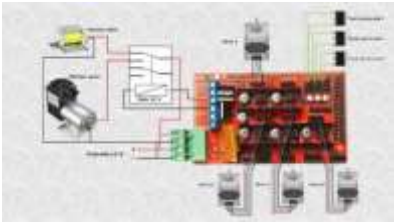
Simulaciones: Se realizan simulaciones para evaluar la eficacia del control PID en el entorno virtual antes de implementar el código en el robot físico.

Pruebas en tiempo real: Se llevan a cabo pruebas en el robot SCARA real, ajustando y refinando el código según sea necesario.

3.3 Materiales y componentes con especificaciones

A continuación, se enlistan en la siguiente Tabla, los materiales usados en el Proyecto de Robot Scara.

Imagen de pieza	Nombre de la Pieza	Descripción	Características técnicas
	Filamento PLA	Fue utilizado como material para la impresión de las piezas principales del proyecto. Lo cuales fueron: Las bases del robot Scara, engranajes y parte "a" y parte "b" del brazo	• D del Filamento: 1.75 mm • Tolerancia de diametro: +/- 0.05 mm • T de extrusión: 190-220°C
	Husillos Acme .8 mm a 30°	Los husillos fueron usados para darle funcionamiento del proyecto en direcciones X y Z	• d Husillo: 8 mm • Paso de Rosca: 2mm • Perfil de Rosca: Cuerpo trapezoidal • Dirección de Rosca: derecha • Material: acero alo carbono • Longitud: 300mm
	Soportes T	La función de los soportes han influido en como soportes principales de los rieles que dan dirección en el eje X del Scara	• Material: aluminio serie 2000 • D: 2/8" • Altura: 1 1/2"
	Riel Deslizable lineal	El Riel da movilidad en el eje Z, Mientras que es apoyado por el movimiento del Husillo que se encuentra en el mismo Eje.	• L del riel: 300 mm • Ancho del riel: 20 mm • Altura del riel: 10 mm • Material: Acero 1040 • Tipo de Guía: guía deslizando

	Bomba de Vacío	Creación de vacío: Las bombas de vacío pueden generar diferentes niveles de vacío, desde vacíos parciales hasta vacíos completos, dependiendo de las necesidades específicas de la aplicación.	• Voltaje: DC 12V • Poder: 5L/min • Presión: 120kpa
	Válvula de Vacío con solenoide	Este mantiene la presión ejercida por la bomba de vacío cuando ha dejado de funcionar y mantener la succión del objeto tomado por el Brazo desde la boquilla.	• Tipo de artículo: Válvula solenoide de vacío • Modo de conmutación: Bobina simple de 2 posiciones de acción directa • Trabajando con fluidos: Aire • Rango de presión de operación: - 101.2kPa~0.1MPa • Temperatura ambiente: 10 grados Celsius ~+50 grados Celsius sin congelar • Tiempo de respuesta: Menos de 20ms0.5MPa
	Arduino + Rampa 4.0	Este es el cerebro principal del proyecto, el cual se encarga de administrar los impulsos usando un relevador, además de los motores Nema, cómo distribuidor. Y Evalúa usando los sensores.	• Microcontrolador: ATmega2560. • Velocidad de reloj: 16 MHz. • Memoria Flash: 256 KB (8 KB usados para el gestor de arranque).

	Servomotor Nema 17	Siendo impulsado por los impulsos eléctricos del circuito Rampa, Estos se encargan de darle movimiento a las articulaciones del brazo y el movimiento de los husillos encargados de dar la dirección.	•Tamaño: 42.3×48mm, sin incluir el eje •Peso: 350 gramos (13 oz) •Diámetro del eje: 5 mm "D" •Longitud del eje: 25 mm •Pasos por vuelta: 200 (1,8º/paso) •Corriente: 1.2 Amperios por bobinado •Tensión: 4 V •Resistencia: 3.3 Ohm por bobina •Torque: 3.2 kg/cm (44 oz-in) •Inductancia: 2.8 mH por bobina
	Relevador Mecánico	Su función es de distribuidor de funciones, principalmente para la bomba de vacío y la válvula de vacío.	• N. Polos: 2 polos. • N. Pines: 8 pines. • V de Bobina: 24 V. • C. Bobina: 20 A. • Capacidad de Conmutación: 10 A a 250V AC
	Bandas dentadas	Nos permiten el movimiento con los engranes ubicados en los motores nema hacia los engranes de los brazos	• Tipo de Banda: GT2 • Paso: 2 mm • Número de Dientes: 16 dientes • Material: poliuretano reforzado con fibra de vidrio • Ancho: 3 mm. • Compatibilidad de Poleas: 2 mm

	Final de Carrera	Son sensores que nos permiten ubicar el límite de movimiento de los brazos	• Tipo de Sensor: interruptores de lámina • V Op: 5V • C Consumo: 500 mA • Salida: normalmente abierto (NO)
---	------------------	--	--

3.3.1 Motores nema 17

Este motor paso a paso NEMA 17 (fig. 3.5.3) es bipolar, tiene un ángulo de paso de 1.8° (200 pasos por vuelta) y cada bobinado es de 1.2 A a 4 V, capaz de cargar con kg/cm (44 oz-in).

Es un motor muy robusto ampliamente utilizando en impresoras 3D caseras como las Prusa, aunque este es ligeramente más potente del recomendado para garantizar la mejor fiabilidad. A continuación, se muestran las características del dispositivo.

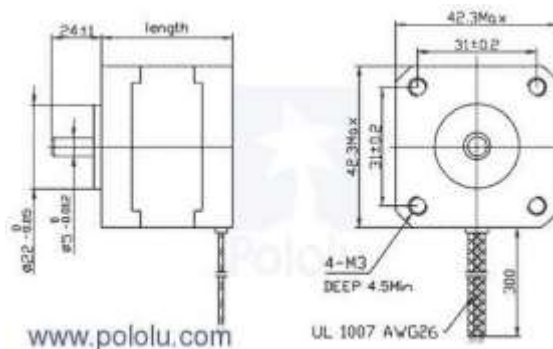


Fig. 3.5.3 diagrama de motor NEMA17

3.3.2 Husillos Acme con tuerca

Los husillos ACME (Fig. 3.5.5), una pieza clave en el funcionamiento mecánico del dispositivo, desempeña un papel fundamental en la movilidad precisa y eficiente de los ejes del robot SCARA. Este sistema de husillos se convirtió en el núcleo operativo que permitió que el robot SCARA alcanzara niveles impresionantes de precisión y fiabilidad en su funcionamiento.

En esencia, los husillos ACME son un tipo de mecanismo de transmisión de movimiento lineal que convierte el movimiento rotacional en movimiento lineal. Este mecanismo se basa en el principio de un tornillo de rosca, donde una tuerca se desplaza a lo largo del husillo cuando se

aplica una rotación. La diferencia clave con otros tipos de roscas es su forma trapezoidal, que ofrece un mayor rendimiento en términos de eficiencia y resistencia (*Fig. 3.5.4*).

El funcionamiento de los husillos ACME en el robot SCARA implica varios componentes interconectados. En primer lugar, cada eje del robot está equipado con su propio husillo ACME, que se acciona mediante un motor correspondiente. Cuando se aplica un giro al motor, este movimiento se transfiere al husillo, lo que hace que la tuerca se mueva a lo largo de él. Esta tuerca está conectada al brazo del robot, lo que resulta en el desplazamiento lineal del brazo. La precisión y la respetabilidad son características cruciales del funcionamiento de los husillos ACME en este contexto. La geometría precisa de los hilos trapezoidales garantiza un movimiento suave y uniforme del brazo del robot, lo que es esencial para tareas que requieren una alta precisión, como la manipulación de objetos en líneas de ensamblaje o la soldadura.

Además, la resistencia y la durabilidad de los husillos ACME son ventajas significativas. Esto es especialmente importante en entornos industriales donde el robot SCARA puede estar sujeto a cargas pesadas o condiciones adversas. Los husillos ACME están diseñados para soportar tales demandas, lo que garantiza un funcionamiento fiable a lo largo del tiempo.

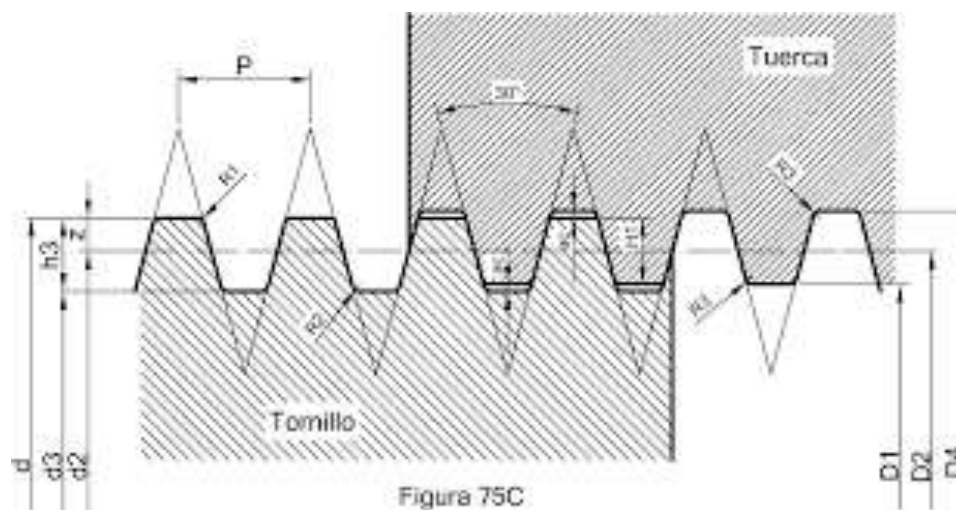


Fig. 3.5.4 Características del dentado de husillo



Fig. 3.5.5 Husillo con Tuerca

3.3.3 Soportes para ejes en T

Los soportes T desempeñan un papel crucial en la estabilidad y funcionalidad del robot SCARA, proporcionando una base sólida para los ejes y asegurando un movimiento preciso y controlado en sus operaciones (Fig. 3.5.6). Estos soportes, con su diseño distintivo en forma de "T", están estratégicamente ubicados en la estructura del robot para brindar un soporte óptimo y minimizar la vibración durante el movimiento.

En el contexto del robot SCARA, los soportes T se utilizan para alojar y sostener los ejes del robot en su lugar. Cada eje del robot, que puede ser horizontal o vertical, se monta en un soporte T correspondiente, que actúa como una plataforma robusta para asegurar el movimiento suave y preciso del brazo del robot.

La elección de los soportes T para el robot SCARA se basa en varias consideraciones técnicas. En primer lugar, su diseño proporciona una excelente resistencia estructural, lo que es fundamental para mantener la estabilidad del sistema, especialmente cuando el robot está en funcionamiento y sometido a cargas dinámicas. Además, la disposición en forma de "T" ofrece una distribución uniforme de la carga, lo que ayuda a minimizar el riesgo de deformaciones o flexiones no deseadas en la estructura del robot.

Otra ventaja importante de los soportes T es su capacidad para facilitar la alineación precisa de los ejes del robot. Esto es esencial para garantizar la precisión en las operaciones del robot, como el posicionamiento de herramientas o la manipulación de objetos. Al proporcionar una plataforma estable y bien alineada para los ejes, los soportes T contribuyen significativamente a la capacidad del robot SCARA para realizar tareas con precisión y fiabilidad.

En otros aspectos de su función principal de soporte y estabilización, los soportes T también pueden integrar características adicionales para mejorar la funcionalidad del robot (Fig.3.5.7). Esto puede incluir la incorporación de sensores de retroalimentación o sistemas de sujeción para herramientas, que amplían las capacidades del robot y lo hacen más versátil en una variedad de aplicaciones industriales.

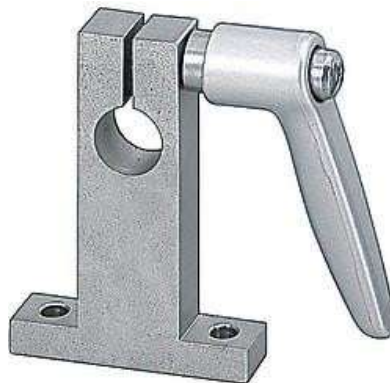


Fig. 3.5.6 Soporte para ejes en T

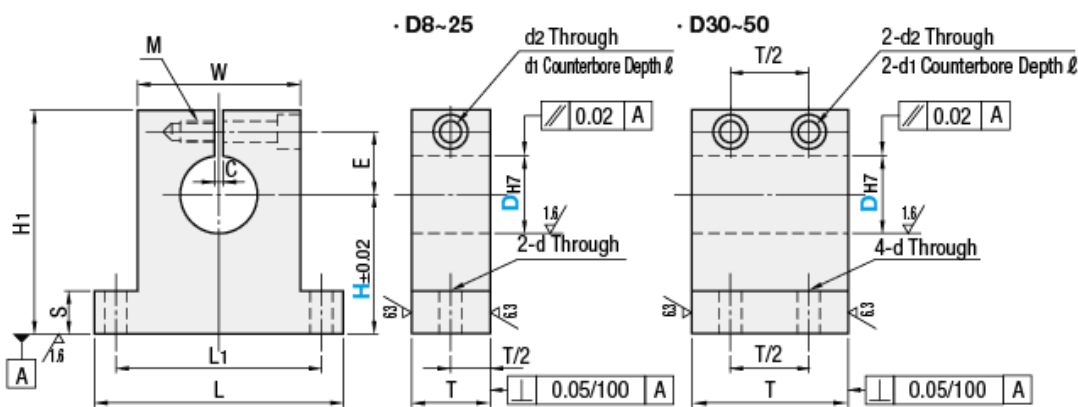


Fig.3.5.7 Diagrama de especificación de soporte T

3.3.4 Riel Deslizable Lineal

la integración de ejes lineales deslizables (Fig. 3.5.8) desempeña un papel esencial al trabajar en conjunto con los husillos ACME para brindar estabilidad al movimiento de los ejes y aumentar su movilidad. Estos ejes lineales deslizables proporcionan una plataforma adicional de soporte y guía para los movimientos lineales, mejorando la precisión y la eficiencia del robot en sus operaciones.

Los ejes lineales deslizables se implementan estratégicamente en el diseño del robot SCARA para complementar el funcionamiento de los husillos ACME. Estos ejes consisten en una estructura deslizante montada sobre una superficie lineal, lo que permite un movimiento suave y preciso en una dirección específica. Al integrarlos en el sistema, se añade estabilidad y control al movimiento de los ejes del robot, lo que es fundamental para garantizar la precisión en las tareas que realiza.

La colaboración entre los ejes lineales deslizables y los husillos ACME se traduce en un movimiento más controlado y estable del brazo del robot. Mientras que los husillos ACME se encargan de proporcionar el movimiento lineal principal, los ejes lineales deslizables actúan como guías adicionales, asegurando que el desplazamiento del brazo del robot se realice de manera precisa y sin desviaciones no deseadas.

Esta combinación de tecnologías no solo aumenta la estabilidad del movimiento, sino que también mejora la capacidad del robot SCARA para adaptarse a diferentes condiciones de trabajo. Los ejes lineales deslizables permiten que el brazo del robot se mueva con mayor flexibilidad, lo que es especialmente beneficioso en aplicaciones donde se requiere un alto grado de maniobrabilidad y precisión, como la manipulación de objetos en espacios confinados o la ejecución de tareas delicadas.

Además, los ejes lineales deslizables pueden incorporar características de amortiguación y mitigación de vibraciones, lo que contribuye aún más a la estabilidad del movimiento y al

rendimiento general del robot SCARA. Esto es especialmente importante en entornos industriales donde las vibraciones pueden afectar negativamente la precisión y la calidad del trabajo realizado por el robot. A continuación, se muestran las características usadas en el proyecto.



Fig. 3.5.8 Riel deslizable lineal

3.3.5 Mini Bomba de Vacío

En el complejo y eficiente sistema neumático de absorción de un robot SCARA, la bomba generadora de vacío (fig. 3.5.9) juega un papel crucial al proporcionar la succión necesaria para asegurar la estabilidad y la sujeción adecuada de las piezas durante las operaciones de manipulación. Esta bomba, diseñada específicamente para generar y mantener un vacío controlado, es fundamental para el funcionamiento óptimo del robot en una variedad de aplicaciones industriales.

La función principal de la bomba generadora de vacío es crear un vacío en el sistema neumático, lo que resulta en una presión más baja en comparación con la presión atmosférica circundante. Este vacío se utiliza entonces para generar una fuerza de succión que permite al robot sujetar y manipular objetos con precisión y seguridad. Cuando se activa la bomba, el aire es evacuado del área de trabajo, creando así una diferencia de presión que permite que el sistema neumático absorba y retenga las piezas que se están manipulando.

En el contexto del robot SCARA, la bomba generadora de vacío se integra en el sistema de

agarre del extremo del brazo robótico. Una vez que el brazo del robot se posiciona correctamente cerca del objeto a manipular, la bomba se activa para crear el vacío necesario en los dispositivos de agarre, como ventosas o pinzas. Esta acción de succión asegura que el objeto se sujete de manera firme y estable, lo que permite al robot transportarlo con precisión y seguridad a través del espacio de trabajo.

La bomba generadora de vacío en el sistema neumático de absorción del robot SCARA ofrece varias ventajas clave. En primer lugar, proporciona una fuerza de agarre confiable y consistente, lo que es esencial para manipular objetos de diferentes formas, tamaños y pesos. Además, el vacío generado por la bomba permite al robot sostener las piezas sin causar daños o deformaciones, lo que es especialmente importante en aplicaciones que requieren una manipulación delicada. A continuación, se presentan las especificaciones del dispositivo.



Fig. 3.5.9 Bomba de vacío

3.3.6 Válvula de Vacío con Solenoide

la válvula con solenoide desempeña un papel esencial al regular y controlar la presión generada por la bomba de vacío. Esta válvula, equipada con un solenoide electromagnético, actúa como un interruptor controlado electrónicamente que permite ajustar con precisión la presión en el sistema neumático para garantizar un funcionamiento óptimo del robot en diversas aplicaciones industriales.

La función principal de la válvula con solenoide es regular el flujo de aire dentro del sistema neumático, lo que afecta directamente la presión ejercida por la bomba de vacío. Cuando se activa el solenoide, la válvula se abre o se cierra según las instrucciones recibidas del controlador del robot. Esto permite que se ajuste la cantidad de aire que entra o sale del sistema, lo que a su vez controla la presión en el sistema neumático.

Cuando la bomba de vacío genera presión en el sistema, la válvula con solenoide puede ajustarse para mantener esa presión dentro de un rango específico deseado. Por ejemplo, si se necesita una mayor presión para asegurar un agarre firme de las piezas que manipula el robot, el solenoide activa la válvula para permitir que más aire entre en el sistema y aumente la presión. Del mismo modo, si se necesita reducir la presión para liberar una pieza, la válvula se ajusta para permitir que el aire salga del sistema, disminuyendo así la presión.

La capacidad de la válvula con solenoide para controlar la presión en el sistema neumático del robot SCARA ofrece varias ventajas significativas. En primer lugar, proporciona una regulación precisa de la presión, lo que garantiza un agarre consistente y seguro de las piezas durante las operaciones de manipulación. Esto es crucial para mantener la integridad de las piezas y evitar daños durante el proceso de manipulación.

Además, la válvula con solenoide permite una respuesta rápida y eficiente a las demandas cambiantes del proceso de fabricación. Al ajustar la presión según sea necesario, el robot puede adaptarse fácilmente a diferentes tareas y condiciones de trabajo sin comprometer la calidad o la eficiencia de las operaciones. A continuación, se muestran las características del dispositivo.



Fig. 3.5.10 Válvula de vacío con Solenoide

3.4 Proceso de construcción del Dispositivo

En el contexto del proyecto de un robot SCARA, la impresión 3D se convierte en un elemento clave para la materialización eficiente y precisa de las partes necesarias. Este proceso, detallado a continuación, aborda los pasos desde el diseño digital hasta la creación física de piezas fundamentales para el robot SCARA.

3.4.1 Diseño Digital de las Piezas:

El punto de partida reside en la creación digital de las piezas necesarias para el robot SCARA. Utilizando software de modelado 3D, los ingenieros y diseñadores traducen las especificaciones técnicas en modelos digitales tridimensionales. Este paso implica considerar la geometría exacta, la resistencia mecánica y la integración con otras partes del robot.

3.4.2 Selección de Materiales y Parámetros de Impresión:

Con los modelos digitales en su lugar, se procede a la selección de materiales para la impresión 3D. La elección del material depende de factores como la resistencia requerida, la flexibilidad, la durabilidad y la aplicación específica de la pieza. Asimismo, se definen los parámetros de impresión, incluyendo la densidad de capas, la temperatura de la boquilla y la velocidad de impresión, para optimizar la calidad y eficiencia del proceso.

3.4.3 Preparación del Archivo STL:

El modelo 3D se exporta como un archivo STL, un formato universalmente reconocido en la impresión 3D. Este archivo contiene la información geométrica de la pieza y se prepara para ser interpretado por la impresora 3D. Durante esta fase, se verifica la integridad del modelo y se realizan ajustes, si es necesario, para garantizar una impresión sin problemas.

3.4.1 Configuración de la Impresora 3D:

La impresora 3D se prepara para la tarea. Esto incluye la carga del material de impresión, la nivelación de la cama de impresión y la configuración de los parámetros específicos del material. La precisión en esta fase es crucial, ya que afectará directamente la calidad y la integridad de las piezas impresas. Para El proceso se exportaron los archivos STL, Usando el software llamado CURA ULTIMAKER (fig.3.6.4). dónde estos son colocados de manera objetiva en la plataforma de la impresora buscando su armonización entre piezas dado el espacioque el dispositivo está hábil de utilizar.

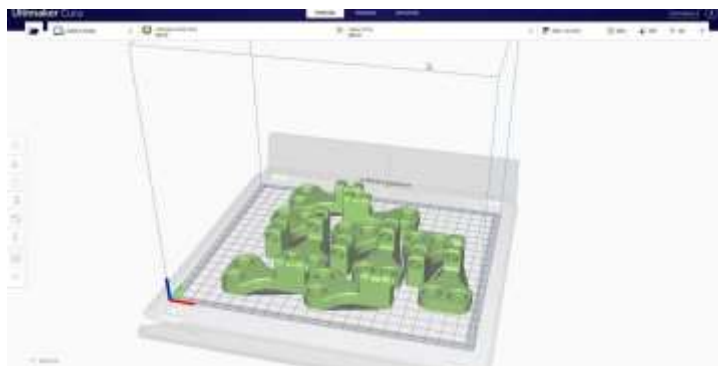


Fig.3.6.4 Colocado de piezas por imprimir tomado en cuenta la cantidad de piezas, tiempo de impresión y resistencia del material debido a la cantidad de pasos recorridos

3.4.2 Inicio de la Impresión:

Una vez que la configuración está completa, se inicia el proceso de impresión. La impresora 3D comienza a depositar capas sucesivas de material, siguiendo la geometría definida en el archivo STL. Este proceso continúa hasta que la pieza se completa en su totalidad. La velocidad de impresión, la resolución y otros factores afectarán el tiempo necesario para la finalización. (fig. 3.6.5)

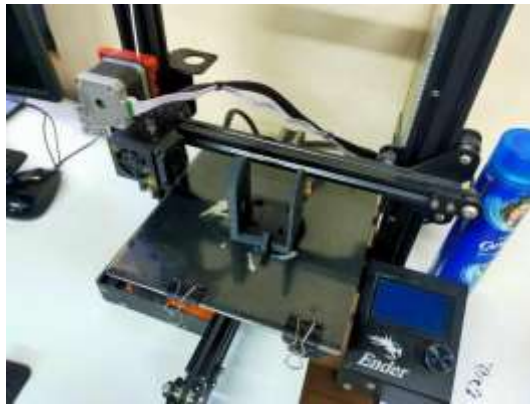


Fig.3.6.5 proceso de impresión de piezas 3d con filamento PLA.

3.4.3 Monitoreo y Calibración:

Durante todo el proceso de impresión, se lleva a cabo un monitoreo constante para identificar posibles problemas. La calibración en tiempo real de la impresora 3D es esencial para corregir desviaciones y garantizar una calidad uniforme en todas las capas de la pieza. Este monitoreo puede ser realizado visualmente o a través de sensores incorporados en la impresora.

3.4.4 Retiro de Soportes y Post-procesamiento:

Una vez que la impresión se completa, la pieza puede requerir ciertas operaciones de post-procesamiento. Esto incluye la eliminación de posibles soportes de impresión utilizados para estabilizar partes suspendidas durante la impresión. Además, se pueden realizar acciones como el lijado para suavizar superficies y mejorar la estética.

3.4.5 Verificación de Calidad:

La pieza impresa se somete a una verificación de calidad exhaustiva. Se examinan aspectos como la precisión dimensional, la resistencia mecánica y la conformidad con el diseño original. Cualquier defecto identificado puede requerir ajustes en la configuración de impresión o modificaciones en el diseño digital para futuras iteraciones.

3.4.6 Integración en el Robot SCARA:

Finalmente, las piezas impresas pasan a la etapa de integración en el robot SCARA. La precisión dimensional garantizada por la impresión 3D facilita la alineación perfecta con otras partes del robot. Esta fase también puede incluir la fijación de componentes adicionales, como sensores o actuadores, según las necesidades del diseño. (Fig. 3.6.9)



Fig.3.6.9 La integración de piezas ya posteriormente impresas, son llevadas a ensamble con el dispositivo

3.6 Ensamblado de Proyecto

El ensamblaje de un robot SCARA representa un paso crucial en el proceso de construcción, donde componentes individuales cuidadosamente diseñados se unen para dar vida a un sistema mecánico funcional. En este relato detallado, exploraremos el ensamblaje de un proyecto de robot SCARA desde sus elementos más básicos hasta la creación de un mecanismo coordinado capaz de realizar tareas específicas.

3.7 Producción de Proyecto

3.7.1. Preparación del Área de Trabajo:

Antes de sumergirse en el ensamblaje, es esencial preparar el área de trabajo. Se organizan los componentes, herramientas y materiales necesarios para garantizar un proceso fluido. La limpieza y la organización contribuyen a un ambiente eficiente y seguro para el montaje.

3.7.2 Identificación de Componentes:

Cada componente del robot SCARA se identifica y verifica según las especificaciones del diseño. Motores, actuadores, estructuras mecánicas y placas electrónicas se distribuyen en el espacio de trabajo, listos para ser ensamblados. La comprensión detallada del diseño facilita la ubicación correcta de cada parte (fig.3.7.1).

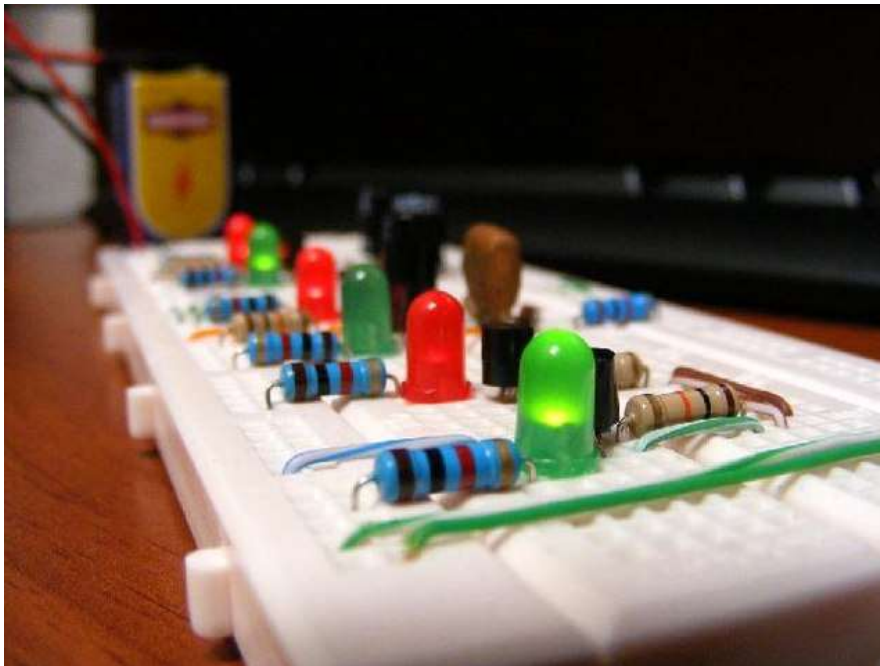


Fig. 3.7.1 identificación de componentes

3.7.3 Ensamblaje de la Base:

El proceso comienza con la construcción de la base del robot SCARA. Se unen las piezas estructurales utilizando tornillos y tuercas previamente seleccionados. La alineación precisa es crucial para garantizar la estabilidad y la integridad estructural. Se incorporan elementos como rieles de acero para permitir el movimiento controlado. Por motivos de movilidad se usó un marco de aluminio para aligerar la masa total del proyecto (Fig. 3.7.2)



Fig. 3.7.2 construcción de la base deslizable del Scara

3.7.4 Integración de los Motores NEMA:

Los motores NEMA (fig. 3.7.3), responsables de proporcionar el movimiento a las articulaciones del robot, se integran en la estructura. Se conectan de manera segura a los puntos predeterminados, y los cables se enrutan estratégicamente para evitar interferencias durante el movimiento. La fijación adecuada y el ajuste de la tensión son esenciales para garantizar un rendimiento óptimo.

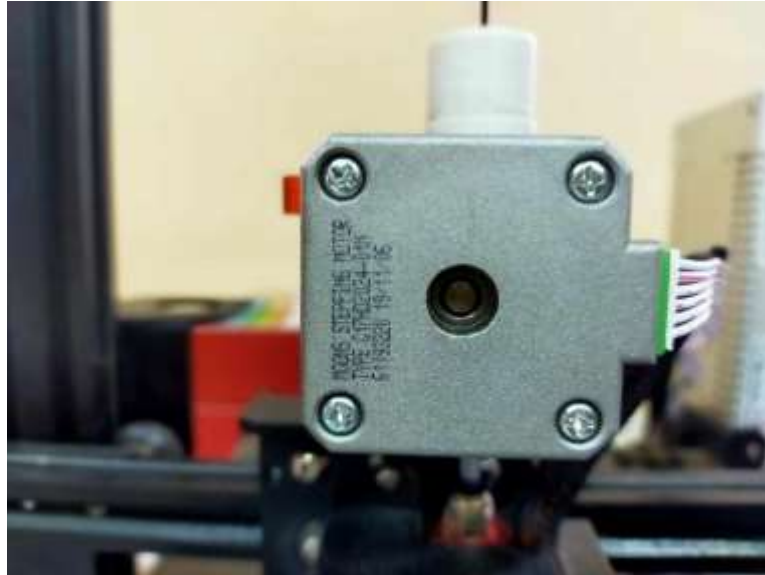


Fig. 3.7.3 integración de motor nema17

3.7.5 Ensamblaje de los Brazos y Ejes:

Los brazos y ejes, elementos cruciales para el rango de movimiento del robot, se ensamblan con precisión. Los motores se conectan a las articulaciones, y se incorporan sistemas de transmisión, como poleas y correas, para garantizar la transferencia eficiente de energía. Se presta especial atención a la alineación y ajuste de las articulaciones para evitar fricciones no deseadas.



Fig. 3.7.4 Ensamble de articulaciones y ejes

3.7.6 Montaje de la Plataforma de Trabajo:

La plataforma de trabajo, la parte superior del robot SCARA donde se colocarán las herramientas o dispositivos finales, se monta cuidadosamente. Se integran

sistemas de sujeción para asegurar la carga útil y se considera la capacidad de manipulación durante este proceso. La estabilidad y la nivelación son aspectos críticos para garantizar la precisión en las operaciones. (Fig.3.7.5)



Fig. 3.7.5 colocación de la punta Hotpipe completando así el dispositivo mecánico

3.7.7 Conexión de Componentes Electrónicos:

La electrónica, incluyendo placas de control y sensores, se conecta en esta etapa. Los cables se enrutan ordenadamente y se aseguran para evitar enredos. La conexión a la fuente de alimentación y la interfaz de control se realiza de acuerdo con el diseño eléctrico previamente

establecido. El dispositivo en cuestión forma parte tanto de fuente de alimentación como módulo de control (Arduino Mega + Rampa 4.0) (Fig. 3.7. 6)

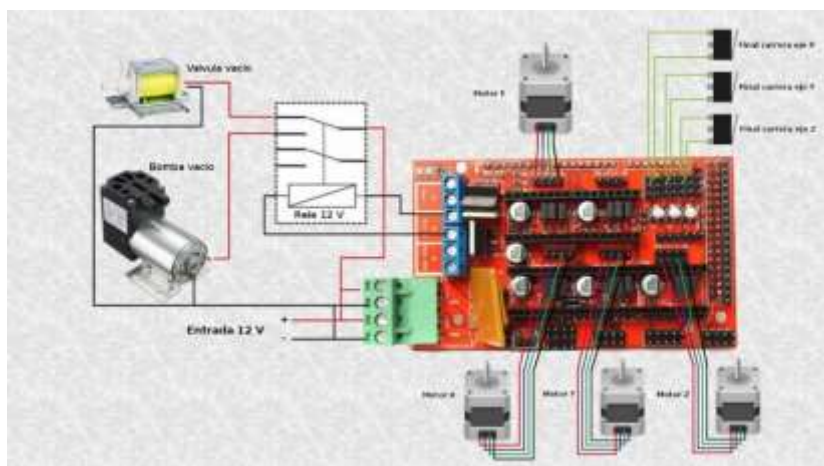


Fig. 3.7.7 Conexiones eléctricas

3.7.8 Instalación y Configuración de Controladores:

Los controladores, típicamente basados en Arduino u otros microcontroladores, se instalan y configuran. Se carga el firmware necesario, y se realiza la calibración inicial. La comunicación entre los controladores y los motores se verifica para garantizar un control preciso y coordinado.

3.7.9 Pruebas Iniciales de Movimiento:

Con todos los componentes ensamblados y conectados, se realizan pruebas iniciales de movimiento. Se verifica la respuesta de los motores a los comandos del controlador, y se ajustan los parámetros según sea necesario. Esta etapa es crucial para identificar posibles problemas de alineación o ajustes mecánicos que puedan afectar el rendimiento.

3.7.10 Ajuste de Parámetros y Optimización:

El proceso de ajuste se extiende a los parámetros de control. Los valores PID se sintonizan para garantizar un movimiento suave y preciso. Se realizan ajustes iterativos según los resultados de las pruebas, buscando optimizar la velocidad, la precisión y la estabilidad del robot.

3.7.11 Implementación de Programas y Algoritmos Específicos:

Se desarrollan y cargan programas específicos para las tareas que el robot SCARA realizará. Estos pueden incluir algoritmos de trayectoria, rutinas de manipulación o secuencias específicas de movimientos. La programación se ajusta según sea necesario para garantizar un rendimiento eficiente.

3.7.12 Pruebas Finales y Verificación de Funcionalidad:

El ensamblaje concluye con pruebas finales exhaustivas. Se simulan diversas operaciones que el robot SCARA realizará en condiciones reales. Se verifica la precisión en el posicionamiento, la capacidad de carga útil, la velocidad de movimiento y la respuesta a estímulos externos. Cualquier ajuste final se realiza en esta fase para garantizar que el robot cumple con los requisitos establecidos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4 RESULTADOS

4.1 CONCLUSIONES

En el cierre de este proyecto, es imperativo reflexionar sobre los resultados obtenidos, evaluar el cumplimiento de los objetivos planteados y extraer lecciones fundamentales. Este capítulo de conclusiones se centra en los aspectos técnicos del desarrollo del robot SCARA, destacando los logros alcanzados, los desafíos enfrentados y las posibles direcciones futuras para mejorar y perfeccionar este sistema Mecatrónico.

I. Cumplimiento de Objetivos:

Desde el inicio, los objetivos del proyecto del robot SCARA se estructuraron con precisión para abordar diferentes dimensiones de ingeniería mecatrónica. El diseño y construcción de la estructura mecánica, la implementación de sistemas de control avanzados y la integración de tecnologías emergentes como la impresión 3D fueron pilares fundamentales. En general, se logró un cumplimiento satisfactorio de los objetivos establecidos, evidenciando un diseño funcional y una ejecución precisa de movimientos.

II. Desarrollo de Hardware:

La concepción y materialización de la estructura mecánica del robot SCARA representaron una fase crítica. La selección de materiales, la optimización de geometrías y la incorporación de técnicas avanzadas de diseño mecánico fueron elementos clave. Los resultados indican una estructura sólida y ligera, capaz de soportar cargas útiles significativas y operar con eficiencia en su espacio de trabajo previamente definido.

III. Sistema de Control y Algoritmos PID:

La implementación del sistema de control, particularmente la aplicación de algoritmos PID, fue un componente técnico central. La capacidad del robot SCARA para ejecutar movimientos precisos y adaptarse a condiciones cambiantes del entorno fue evidente. La sintonización meticulosa de los parámetros PID permitió un rendimiento óptimo, minimizando el error de posición y mejorando la estabilidad del sistema durante diversas operaciones.

IV. Automatización y Programación:

El logro clave en términos técnicos se encontró en la automatización efectiva del robot SCARA. La programación avanzada de microcontroladores y la coordinación de actuadores y sensores demostraron la habilidad para crear un sistema capaz de ejecutar tareas complejas de manera autónoma. El código eficiente y optimizado contribuyó a la velocidad de respuesta del robot, destacando la capacidad para cumplir con las demandas operativas en tiempo real.

V. Integración de Impresiones 3D:

La adopción de impresiones 3D para la fabricación de piezas y componentes resultó ser un componente técnico valioso. La capacidad de personalización, la rapidez en la prototipación y la adaptabilidad a cambios de diseño fueron aspectos destacados. Sin embargo, la calidad superficial de las piezas impresas y algunos desafíos en la resistencia de ciertos materiales señalan áreas potenciales de mejora en futuras iteraciones del proyecto.

VI. Desafíos Técnicos y Estrategias de Superación:

A lo largo del desarrollo del proyecto, varios desafíos técnicos surgieron, proporcionando oportunidades para la resolución de problemas y el aprendizaje continuo. La gestión eficiente de la energía, la reducción de la vibración en movimientos rápidos y la mejora de la precisión en tareas específicas se destacaron como áreas críticas que requerirán atención adicional para

perfeccionar el rendimiento global del robot SCARA.

VII. Lecciones Aprendidas y Mejoras Futuras:

Las lecciones aprendidas durante este proyecto son invaluable y servirán como guía para futuras mejoras. La importancia de una planificación minuciosa, la sintonización adecuada de los sistemas de control y la selección cuidadosa de materiales son consideraciones clave. La implementación de estrategias de mejora continua, como la actualización de algoritmos de control y la exploración de nuevos materiales de impresión 3D, es crucial para elevar aún más el rendimiento y la versatilidad del robot SCARA.

VIII. Contribuciones a la Investigación y Desarrollo:

Este proyecto no solo ha generado un robot SCARA funcional, sino que también ha contribuido al conocimiento en el campo de la ingeniería mecatrónica. La aplicación efectiva de algoritmos PID en un contexto robótico específico, la integración exitosa de tecnologías de impresión 3D y la automatización avanzada son áreas que podrían ser objeto de publicaciones y contribuir a la literatura técnica de la disciplina.

IX. Impacto en la Industria y Aplicaciones Prácticas:

La aplicación práctica del robot SCARA no solo demuestra su viabilidad técnica, sino que también sugiere su potencial impacto en la industria. La automatización de tareas de ensamblaje, manipulación y producción es evidente, y la adaptabilidad del diseño sugiere aplicaciones en entornos industriales diversos. La posibilidad de integración con sistemas de visión y sensoriales abre nuevas posibilidades para la robótica aplicada.

X. Consideraciones Éticas y de Seguridad:

El desarrollo de tecnologías mecatrónicas, como el robot SCARA, no puede pasar por alto consideraciones éticas y de seguridad. La implementación de medidas de seguridad robustas

y la atención a la ética en la automatización deben ser prioridades clave para garantizar la integración segura de estos sistemas en entornos industriales y otros contextos de aplicación.

XI. Conclusiones Finales:

En conclusión, el proyecto del robot SCARA ha sido un ejercicio técnico enriquecedor que ha abordado con éxito los desafíos y los objetivos planteados. La integración armoniosa de hardware, software y tecnologías emergentes; destaca la capacidad para concebir, diseñar y ejecutar proyectos mecatrónicos complejos. Las conclusiones técnicas proporcionan una base sólida para futuras investigaciones, mejoras y aplicaciones prácticas en la industria de la robótica y la automatización.

4.2 OBJETIVOS EDUCACIONALES

El proyecto de construcción de un robot SCARA ha sido un Proyecto multidisciplinario que ha permitido el desarrollo integral de competencias fundamentales para un ingeniero Mecatrónico. Este escrito explora las habilidades específicas que han sido cultivadas durante el diseño, la implementación y la optimización del robot, considerando los aspectos de control, automatización y diseño mecánico.

I. Competencias en Diseño Mecánico:

La creación de la estructura mecánica y las piezas del robot SCARA ha sido una oportunidad para fortalecer habilidades clave en diseño mecánico. La comprensión detallada de la cinemática del robot, la selección de materiales adecuados y la aplicación de principios de resistencia de materiales han sido cruciales. Esto no solo abarca el aspecto teórico sino también el uso práctico de herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) para modelar y visualizar cada componente antes de la fabricación.

II. Competencias en Impresión 3D y Fabricación:

La integración de la tecnología de impresión 3D en la fabricación de piezas ha ampliado las competencias en métodos de fabricación avanzados. La habilidad para traducir diseños digitales en piezas físicas, considerando aspectos como la orientación de impresión, la optimización de soportes y el postprocesamiento, ha mejorado la capacidad de fabricación de prototipos y la eficiencia en la producción de componentes.

III. Competencias en Sistemas de Control:

La implementación de sistemas de control, particularmente el uso de algoritmos PID, ha sido esencial para la programación y el control preciso del robot SCARA. El diseño de controladores, la sintonización de parámetros y la capacidad para comprender y mejorar el rendimiento del sistema han contribuido al fortalecimiento de competencias en el ámbito de control de sistemas mecatrónicos.

IV. Competencias en Automatización y Programación:

La automatización del robot SCARA ha requerido habilidades avanzadas de programación. Desde la programación de microcontroladores hasta la integración de sensores y actuadores, se ha desarrollado la capacidad para crear sistemas automatizados eficientes y adaptables. La resolución de problemas en tiempo real y la optimización de códigos han mejorado la destreza en la implementación de soluciones mecatrónicas complejas.

V. Competencias en Integración de Sistemas:

El proyecto ha exigido la integración efectiva de componentes mecánicos, electrónicos y de control. Coordinar la comunicación entre diferentes subsistemas y garantizar su funcionalidad conjunta ha sido una valiosa oportunidad para fortalecer competencias en la gestión de sistemas

complejos y multidisciplinarios.

VI. Competencias en Gestión de Proyectos:

La gestión del proyecto de construcción del robot SCARA ha requerido la aplicación de habilidades de gestión de proyectos. La planificación, programación y asignación de recursos han sido esenciales para cumplir con los plazos y objetivos establecidos. La capacidad para trabajar en equipo y coordinar esfuerzos ha sido fundamental en la consecución exitosa del proyecto.

VII. Competencias Interpersonales y Comunicativas:

La colaboración interdisciplinaria ha destacado la importancia de competencias interpersonales y comunicativas. La capacidad para transmitir ideas técnicas de manera efectiva, trabajar en equipo y gestionar la comunicación con diversos profesionales ha sido esencial para el progreso fluido del proyecto.

Bibliografía

- Coiffet, Philippe. Robot Technology. Volume1: Modelling an Control. Prentice Hall 1983. Craig John J. Introduction to Robotics. Addison-Wesley 1986
- Goetsch Davis L. Advanced manufacturing technology. Delmar Publishers. New York 1990.
- Lozano-Perez T. Handey: a robot task planner. MIT Press. London. 1992.
- Young K., Benanton J. Off-line Programming of Robots Using a 3D Graphical Simulation System. Springer-Verlag 1998.
- Arduino Notebook: A Beginner's Reference Written and compiled by Brian W. Evans
- Arduino. (s.f.). Arduino - PID Library. Recuperado de <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/pid/>
- Åström, K. J., & Hägglund, T. PID Controllers: Theory, Design, and Tuning. Instrument Society of America. (1995).
- Barrientos, Antonio Felipe; Peñin Luis Felipe; Balaguer, Carlos & Aracil, Rafael, Fundamentos de Robótica Universidad Politécnica de Madrid. McGraw- Hill Ediciones. (1997).
- Craig, J. J. Introduction to Robotics: Mechanics and Control. Pearson Prentice Hall. (2005).
- GTRob con subvención del MEC-1.^a edición. © CEA-GTRob; El libro blanco de la robótica en España: Investigación, tecnologías y formación; CEA (2011).
- Li, Y., et al. "Research on Motion Control Technology of SCARA Robot." In 2017 2nd International Conference on Control and Robotics Engineering (ICCRE). (2017).
- Siciliano, B., et al. "A Compact Soft-Actuation Mechanism for SCARA Robots." In

- 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). (2010)
- -Palmieri, G., et al. "A Vision-Based System for Automatic Grasping and Assembly in Robotic Cells." *Robotics*, 9(1), 5. (2020).
- -Power Electronics. Rashid M. Prentice Hall. 2nd edition. (1993).
- -Seraji, H. "Structure optimization of 4-DOF robot manipulators." *The International Journal of Robotics*. (1986).
- Zhang, Y., et al. "A High Precision SCARA Robot Control System Based on Fuzzy PID." In 2019 IEEE 3rd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC). (2019).
- Zill, Dennis G. *Ecuaciones Diferenciales: Con Aplicaciones De Modelado*. 9a. ed.--. México D.F.: Cengage learning, (2009).

ANEXOS

A1 Código MATLAB-SIMULINK

Código usado en simulación en *Fig. 3.2.4*

```
clear; close; clc;

% Armando un modelo
virtuala1 = 1;
a2 = 1;
d1 = 1;

L1 = Revolute('a', a1, 'alpha', 0, 'd', d1);
L2 = Revolute('a', a2, 'alpha', pi, 'd', 0);
L3 = Prismatic('a', 0, 'alpha', 0, 'theta', 0, 'qlim', [0.5,
1.5]); bot = SerialLink([L1, L2, L3]);

%animación
% x y z
ws = [-4,4,-4,4, -1,3];
bot.teach([0, 0, 0.5], 'workspace', ws, 'noname');
% cinematica
directap =
zeros(3,1);
while(true)
    input('Calcular?
')q =
    bot.getpos();

    p(1) = a1*cos(q(1)) + a2*cos(q(1)+q(2));
    p(2) = a1*sin(q(1)) +
    a2*sin(q(1)+q(2));p(3) = d1 - q(3);

    disp(p
)end
```

A2 Código Arduino(No Drivers)

```
#include
"Configuration.h"
#include "pins.h"

#if ENABLED(ULTRA_LCD)

#if ENABLED(LCD_I2C_TYPE_PCF8575)

#include <Wire.h>
```

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

  #elif ENABLED(LCD_I2C_TYPE_MCP23017) || ENABLED(LCD_I2C_TYPE_MCP23008)
    #include <Wire.h>
    #include
    <LiquidTWI2.h> #elif
    ENABLED(DOGLCD)
    #include <U8glib.h> // library for graphics LCD by Oli Kraus
    (https://code.google.com/p/u8glib/)#else
    #include <LiquidCrystal.h> // library for character
    LCD#endif
#endif

#if HAS_DIGIPOTSS
  #include
  <SPI.h>#endif

#if ENABLED(DIGIPOT_I2C)
  #include
  <Wire.h>#endif

#if ENABLED(HAVE_TMCDRIVER)
  #include <SPI.h>
  #include
  <TMC26XStepper.h>#endif

#if ENABLED(HAVE_L6470DRIVER)
  #include <SPI.h>
  #include <L6470.h>
#endif
```

Código M de Prueba

M107

G21 ; establecer unidades en milímetros

G90 ; usar coordenadas absolutas

M82 ; use distancias absolutas para eje E

G28 Z0 ; ir al cero de Z

G28 X0 ; ir al cero de X

G1 X170 F5000 ; posiciona brazo X para buscar cero de Y

G28 Y0 ; ir al cero de Y

G92 E0 ; donde se encuentre es el cero del eje E

; ----- Empieza codigo -----

G1 Y20 F5000 ; separa brazo para no chocar

G1 X48 Y180 Z100 F5000 ; posicion p1

M106 ; conecta vacio

G1 Z111 F500

G1 Z100 F500

G1 X167 Y121 Z26 F5000 ; posicion p2

G1 Z38 F500

M107 ; desconecta vacio

G1 Z26 F500

G1 X263 Y80 Z94 F5000 ; Posicion p3

M106 ; conecta vacio

G1 Z108 F500

G1 Z94 F500

G1 X146 Y61 Z100 F5000 ; esquiya p2

G1 X48 Y180 Z100 F5000 ; posicion p1

G1 Z111 F500

M107 ; Desconecta vacio

G1 Z100 F500

G1 X167 Y121 Z26 F5000 ; posicion p2

M106

G1 Z38 F500

G1 Z26 F500

G1 X263 Y80 Z94 F5000 ; Posicion p3

G1 Z108 F500

M107

G1 Z94 F500

G1 X146 Y61 Z100 F5000 ; esquiya p2

G1 X48 Y180 Z100 F5000 ; posicion p1

M106 ; conecta vacio

G1 Z111 F500

G1 Z100 F500
 G1 X167 Y121 Z26 F5000 ; posicion p2
 G1 Z38 F500
 M107 ; desconecta vacio
 G1 Z26 F500
 G1 X263 Y80 Z94 F5000 ; Posicion p3
 M106 ; conecta vacio
 G1 Z108 F500
 G1 Z94 F500
 G1 X146 Y61 Z100 F5000 ; esquiya p2
 G1 X48 Y180 Z100 F5000 ; posicion p1
 G1 Z111 F500
 M107 ; Desconecta vacio
 G1 Z100 F500

G1 X167 Y121 Z26 F5000 ; posicion p2
 M106
 G1 Z38 F500
 G1 Z26 F500
 G1 X263 Y80 Z94 F5000 ; Posicion p3
 G1 Z108 F500
 M107
 G1 Z94 F500

;----- Termina codogo -----

G28 Z0 ; ir al cero de Z
 G1 Y211 F5000 ; Posiciona eje Y para que no se atasque
 G28 X0 ; ir al cero de X
 G28 Y0 ; recoge el brazo Y
 G1 E0 F500 ; ir al cero de E

