



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**DISEÑO ELÉCTRICO Y FABRICACIÓN DE UN ROBOT INDUSTRIAL TELEOPERADO
PARA EL SECTOR LOGÍSTICO**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO:

INGENIERO EN MECATRÓNICA

PRESENTADO POR:

CARLOS ALEJANDRO ESTÉVEZ CASTRO 21641014

FREDY DANILO BONILLA MÁRQUEZ 21611149

ASESOR: ING. JOSÉ LUIS ORDÓÑEZ

CAMPUS: SAN PEDRO SULA;

OCTUBRE, 2020

DEDICATORIA

FREDY BONILLA:

A Dios por acompañarme en todo momento y darme las fuerzas para seguir adelante.

A mis padres, Carmen y Fredy, quienes siempre me han apoyado en todo y han sido todo lo que un hijo necesita que sus padres sean. A toda mi familia que han creído siempre en mí, cuyas palabras de aliento nunca me faltaron. A mi abuelo Luis Márquez, que en paz descanse y a quien le prometí que lo lograría.

A mis hermanos en Cristo de la Iglesia Impacto SPS, porque los títulos son efímeros pero lo que he aprendido con ellos, es para siempre.

Y finalmente, a todas esas personas que conocí en UNITEC con quienes tanto compartí y me ayudaron a ser mejor profesional y persona; Nineth, Rafa, Xiomi, Astrid, Yadalys, Gabo, Luis, Yudhi, Reina, Marcia R, Marcia B, Maryori, Ana y al Ecologic Group.

CARLOS ESTÉVEZ:

A Dios primeramente por siempre darme la fuerza y paciencia para nunca rendirme y por creer en mi aun cuando yo no lo hacía.

A mis padres, Alejandro y Gilda, por apoyarme incondicionalmente, ser los pilares en mi vida, brindarme su apoyo y sus consejos, por ser a lo que aspiro ser constantemente. Al resto de mi familia por estar siempre para mí y apoyarme en este duro camino.

A todas las personas que conocí en mi trayecto por UNITEC, tanto maestros como compañeros, quienes me brindaron amistad al igual que un poco de sabiduría cada uno, para crecer como persona y ser cada vez mejor.

A todas mis amistades y personas queridas, por siempre creer en mí y darme sus palabras de aliento constante.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos al Depto. de Ingeniería Mecatrónica de UNITEC SPS por su labor y apoyo durante nuestra carrera y el desarrollo de este proyecto.

Así mismo agradecemos a los docentes con quienes hemos compartido y quienes en su momento nos facilitaron el conocimiento que aplicamos a este proyecto.

Agradecemos también al Ing. José Luis Ordoñez Ávila, que durante tres meses nos asesoró y trabajo de la mano con nosotros para desarrollar este trabajo.

EPÍGRAFE

"Se el cambio que quieras ver en el mundo."

-Gandhi

RESUMEN EJECUTIVO

La robótica se utiliza a diario en varias tareas que anteriormente realizaban los humanos. La evolución de las ciencias mecatrónicas orienta el proceso industrial para automatizarse progresivamente. Países que carecen de desarrollo tecnológico, como Honduras, tienden a quedarse atrás en estas áreas. El objetivo es desarrollar un robot teleoperado para usos del área logística. También se busca demostrar que siempre hay una opción para crear soluciones en lugar de comprar tecnología importada a un precio excesivo. Para la construcción de este robot, se tomaron en cuenta variable como la masa de la estructura, la posible deformación y el consumo energético. En este proyecto, hay un enfoque cuantitativo con un diseño experimental que luego se analiza con un modelo en "V". Como resultado, se estableció que este tipo de robot se puede construir con un presupuesto de \$2,315.12. La elección adecuada de materiales estructurales permitirá una deformación mínima con una masa final de 26.2 Kg. La teleoperación del robot por medio de Wi-Fi y un servidor web nos brinda una comunicación con un rango ajustable, con buenos tiempos de respuesta y escritura de una cantidad ilimitada de variables. Se concluyó que los procesos industriales apoyados por la robótica pueden lograr una mayor precisión y rentabilidad, siendo hasta seis veces más eficientes que los humanos. Por lo cual merece el esfuerzo el desarrollo local de robots teleoperados aun dentro de un presupuesto. Siendo posible programarlos para ser utilizados en procesos industriales en Honduras.

Palabras clave: Presupuesto de robot, Honduras, Estructura de robot, PLC

ABSTRACT

Robotics is used daily in various tasks previously performed by humans. The evolution of the mechatronic sciences guides the industrial process to be progressively automated. Countries that lack technological development, such as Honduras, tend to linger in these areas. The objective is to develop a teleoperated robot that can be used in logistics area. It also seeks to demonstrate that there is always an option to create solutions instead of buying imported technology at an excessive price. For the construction of this robot, variables such as the mass of the structure, possible deformation and energy consumption were considered. In this project, there is a quantitative approach with an experimental design that is then analyzed with a "V" model. As a result, it was established that this type of robot can be built on a budget of \$2,315.12. The appropriate choice of structural materials will allow a minimum deformation with a final mass of 26.2 Kg. The teleoperation of the robot through Wi-Fi and a web server provides a communication with an adjustable range, good response times and control of an unlimited number of variables. It was concluded that industrial processes supported by robotics can achieve greater precision and profitability, being up to six times more efficient than humans. Therefore, the local development of teleoperated robots even within a budget is worth the effort. Being possible to program the robots to be used in industrial processes in Honduras.

Keywords - Robot budget, Honduras, Robot structure, PLC

ÍNDICE DE CONTENIDO

I	Introducción	1
II	Planteamiento del Problema	2
2.1	Precedentes del problema	2
2.2	Definición del problema.....	3
2.3	Justificación.....	3
2.4	Preguntas de investigación.....	4
2.5	Objetivos	4
2.5.1	Objetivo General	4
2.5.2	Objetivos específicos.....	4
III	Marco teórico	6
3.1	Cuarta Revolución industrial.....	6
3.1.1	Impacto en el área industrial.....	7
3.1.2	Latinoamérica.....	7
3.1.3	Honduras	9
3.2	La Logística.....	9
3.2.1	Impacto Económico	9
3.2.1.1	Índice de Desempeño Logístico (LPI).....	10
3.2.2	Retos.....	12
3.2.3	Métodos Lean	13
3.2.4	Elementos de la Logística Moderna	14
3.3	Procesos Industriales.....	15
3.3.1	Tipos de Procesos Industriales	16
3.4	Robótica	17

3.4.1	Robots Manipuladores	18
3.4.1.1	Tipos de Articulaciones.....	18
3.4.2	Robots Móviles Autónomos.....	19
3.4.2.1	Tipos de Robots Móviles.....	20
3.4.3	Modelos Cinemáticos de Robots.....	20
3.4.4	Tele Robótica.....	22
3.5	Automatización y Robotización	22
3.5.1	Automatización en los procesos industriales.....	22
3.5.1.1	Colaboración Hombre-Robot.....	23
3.5.2	Robots En Los Procesos Industriales.....	23
3.5.2.1	Tipos de Robots.....	25
3.5.3	Automatización y Robotización en la Logística	27
3.5.4	Controladores Lógicos Programables	28
3.5.4.1	Breve Reseña Histórica.....	29
3.5.4.2	Richard Morley.....	29
3.5.4.3	Estructura	30
3.5.4.4	Estándares.....	31
3.5.4.5	Programación y Estándar IEC 61131-3.....	32
3.5.4.6	Software – TIA Portal	37
3.5.5	Sensores.....	38
3.5.5.1	Sensores Capacitivos	38
3.5.5.2	Encoders.....	39
3.5.5.3	Sensores Ultrasónicos	40
3.5.5.4	Celdas de Carga.....	41
3.5.6	Actuadores	42

3.5.6.1	Servomotores	42
3.5.6.2	Transmisión de Potencia	44
3.5.6.3	Relevadores	45
3.6	Procesos De Elaboración De Un Robot	46
3.6.1	Materiales	46
3.6.2	Soldadura.....	47
3.6.2.1	Aluminio	48
3.6.3	Impresión en 3d	50
3.6.3.1	Métodos De impresión	51
3.6.3.2	Materiales y Sus Aplicaciones	53
3.7	Antecedentes de Robotización.....	55
3.7.1	Robot Autónomo para la Cosecha de Fresas.....	55
3.7.2	Cosechadora Robótica de Manzanas.....	56
3.7.3	Robot Móvil Basado en PLC	56
3.7.4	Robot de Limpieza Para Techos de Invernadero.....	57
3.7.5	Robot de Limpieza de Vidrios para Edificios de Gran Altura.....	57
3.7.6	Robot de Inspección de Represas.....	58
3.7.7	El Futuro de la Automatización Industrial	58
3.7.7.1	Inteligencia Artificial (IA)	58
3.7.7.2	Plataformas para OEMs	59
3.7.7.3	Robótica sigue creciendo.....	59
3.7.7.4	TSN (Time-Sensitive Networking).....	59
3.7.7.5	Gemelo Digital	60
3.7.7.6	Realidad Virtual.....	60
IV	Metodología.....	61

4.1	Enfoque	61
4.2	Variables de Investigación.....	61
4.3	Técnicas e Instrumentos Aplicados.....	62
4.4	Materiales	62
4.5	Metodología de Estudio.....	62
4.5.1	Ciclo A de la Metodología "V"	63
4.5.1.1	Etapa I: Nivel de Sistemas.....	63
4.5.1.2	Etapa II: Nivel De Subsistemas.....	63
4.5.1.3	Etapa III: Realización de Partes	65
4.5.1.4	Etapa IV: Integración de Partes.....	65
4.5.1.5	Etapa V: Integración de los Subsistemas	65
4.5.1.6	Etapa VI: Integración de Sistemas	66
4.5.1.7	Resultado del Prototipo: Final del Ciclo A.....	67
4.5.2	Ciclo B de la Metodología "V"	67
4.5.2.1	Etapa I: Nivel de Sistemas.....	67
4.5.2.2	Etapa II: Nivel de Subsistemas.....	67
4.5.2.3	Etapa III: Realización de Partes	68
4.5.2.4	Etapa IV: Integración de Partes.....	69
4.5.2.5	Etapa V: Integración de los Subsistemas	69
4.5.2.6	Etapa VI: Integración de Sistemas	70
4.5.2.7	Análisis de Riesgos Mecánicos.....	70
4.5.2.8	Análisis de Riesgos de Control.....	70
4.5.2.9	Análisis de Riesgos en Periféricos.....	70
4.5.2.10	Resultado del Producto: Final del Ciclo B.....	71
4.6	Metodología de Validación.....	71

4.7	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	71
V	Análisis y Resultados	72
5.1	Análisis De Sustento De Marco Teórico.....	72
5.2	Análisis y Resultados De Metodología en "V"	73
5.2.1	Ciclo A de la Metodología "V"	73
5.2.1.1	Etapa I: Nivel de Sistemas.....	73
5.2.1.2	Etapa II: Nivel De Subsistemas.....	74
5.2.1.3	Etapa III: Realización de Partes	75
5.2.1.4	Etapa IV: Integración de Partes.....	79
5.2.1.5	Etapa V: Integración de los Subsistemas	87
5.2.1.6	Etapa VI: Integración de Sistemas	88
5.2.2	Ciclo B de la Metodología "V"	88
5.2.2.1	Etapa I: Nivel de Sistemas.....	88
5.2.2.2	Etapa II: Nivel De Subsistemas.....	89
5.2.2.3	Etapa III: Realización de Partes	91
5.2.2.4	Etapa IV: Integración de Partes.....	100
5.2.2.5	Etapa V: Integración de los Subsistemas	106
5.2.2.6	Etapa VI: Integración de los Sistemas	107
5.2.2.7	Resultado del Prototipo: Final del Ciclo B	108
VI	Conclusiones	111
VII	Recomendaciones	113
VIII	Bibliografía	114

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Tiempo para alcanzar 50M de usuarios	6
Figura 2. Conocimientos en las MYPYMES sobre temas 4.0.....	8
Figura 3. Robot Industrial Poliarticulado.....	18
Figura 4. Tipos de Articulaciones encontradas en mecanismos.....	18
Figura 5. Richard Morley	30
Figura 6. PLC Modular de ABB	31
Figura 7. Interfaz TIA Portal.....	37
Figura 8. Encoder Rockwell.....	40
Figura 9. Servomotor ABB.....	43
Figura 10. Prueba de Tensión en Soldadura, MPa.....	49
Figura 11. Sistema de abrazadera y fijación, herramienta de soldadura y pieza de trabajo	50
Figura 12. Procesos de Extrusión: Tipo Laser, SLA y Polyjet	51
Figura 13. Variables de la investigación	61
Figura 14. Cronograma de actividades	71
Figura 15. Diseño de robot.....	72
Figura 16. Prueba de Esfuerzos: Acero Inoxidable.....	76
Figura 17. Prueba de Esfuerzos: Acero Galvanizado.....	76
Figura 18. Prueba de Esfuerzos: Aluminio	77
Figura 19. Bloque de control PWM	78
Figura 20. Prueba de Esfuerzos: Deformación	80
Figura 21. Estructura del Chasis Modificada.....	81
Figura 22. Prueba de Esfuerzos: Nueva Deformación	82
Figura 23. Sistema de Transmisión: Banda Dentada con Polea.....	82
Figura 24. Robot de Limpieza de Tres Ruedas.....	83

Figura 25. Diseño de Acople del Motor con el Eje.....	84
Figura 26. Diseño de Superficie de Carrocería.....	85
Figura 27. Puente H conectado a PLC.....	86
Figura 28. Versión Explosionada de la Estructura Final.....	91
Figura 29. Estructura Fabricada de Aluminio.....	91
Figura 30. Sistema de Transmisión: Engrane y Cadena.....	92
Figura 31. Sistema de Cadenas y Sprocket.....	93
Figura 32. Tensores de Cadena de Nylon.....	94
Figura 33. Motores de Taladro.....	94
Figura 34. Acoplamiento de Motor de Taladro con Eje.....	95
Figura 35. Impresión de Superficie de Carrocería con TPU.....	95
Figura 36. Impresión siendo sometida a un impacto.....	96
Figura 37. Impresión de Superficie, Vista Lateral.....	96
Figura 38. Prototipo de Interfaz Web.....	97
Figura 39. Ejemplo de aplicación del robot móvil con tres estaciones.....	98
Figura 40. Comandos AWP.....	98
Figura 41. Configuración de Web Server.....	99
Figura 42. Bloque de función para web server.....	99
Figura 43. Integración de Todas las Partes Mecánicas del Robot.....	100
Figura 44. Sujeción de Chapa Metálica Mecanizada.....	101
Figura 45. Peso del Chasis.....	101
Figura 46. Peso Final de la Estructura Con Todos los Componentes Mecánicos.....	102
Figura 47. Robot durante las pruebas.....	102
Figura 48. Creación de usuario administrativo en TIA Portal.....	104
Figura 49. Sistema de control.....	104

Figura 50. Placa de Control PWM.....	106
Figura 51. Diagrama de Flujo.....	107
Figura 52. Prototipo Resultante.....	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. LPI y PIB en Latinoamérica, 2018.....	10
Tabla 2. Países según su LPI 2018.....	11
Tabla 3. Comparación de Metales	47
Tabla 4 Ventajas Entre Soldadura MIG y TIG.....	48
Tabla 5 Propiedades de los materiales termoplásticos para FDM	53
Tabla 6. Comparación de Materiales de Estructura	80
Tabla 7. Materiales Utilizados y Costos Mecánicos.....	103
Tabla 8. Presupuesto de compras del robot.....	109
Tabla 9. Costos por mano de obra	110

I INTRODUCCIÓN

En este capítulo se encontrarán detallados los pasos a seguir en la elaboración de este proyecto. Comenzando con un análisis de la problemática existente de la falta de elementos automatizados en los procesos industriales. En países como Honduras, la robótica apenas está tratando de irrumpir en el mercado y con costos muy elevados. Es por dicha razón que se evaluarán los pasos a seguir para el diseño y elaboración de un mecanismo, con materiales locales, que cumpla con este cometido, y más.

Capítulo II Planteamiento del Problema: En este capítulo se identificarán las oportunidades de mejora que existen dentro del rubro de la logística empresarial, específicamente en la gestión, separación y transporte de mercancías que se realiza internamente en una empresa y la importancia que esto tiene dentro del tiempo total de la distribución. Además, se identificarán los elementos que afectan directamente a estos procesos logísticos.

Capítulo III Marco Teórico: En este capítulo se abordarán los conceptos necesarios para el correcto desarrollo de la presente investigación. Es importante conocer a detalle que es lo que involucran los procesos logísticos y su relación actual con la automatización y robotización, explorando las oportunidades de mejora que estas tecnologías pueden cubrir. Se detallarán el estado del arte de los distintos métodos a implementar, como ser fabricación de estructuras por superficies, programación de controladores lógicos y otros elementos.

Capítulo IV Metodología: En este capítulo describiremos la metodología de investigación a implementar, describiendo cada uno de los sistemas y requerimientos necesarios para desarrollar el proyecto que acompaña la presente investigación. A la vez, definiremos las técnicas y procesos a llevar a cabo, para la elaboración del robot.

Capítulo V Análisis y Resultados: En este capítulo se mostrará el análisis y los resultados obtenidos a medida se desarrolló el proyecto y se aplicó la metodología de investigación. Este proceso implicara varias pruebas en todos los sistemas involucrados.

Capítulo VI Conclusiones: Se enfocará en dar respuesta a las preguntas planteadas en el capítulo II utilizando la información encontrada tanto en el capítulo III como en el capítulo V.

Capítulo VII Recomendaciones: Incluirá sugerencias para mejorar la calidad de los resultados y para continuar con el desarrollo del proyecto en el futuro.

II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo identificaremos las oportunidades de mejora que existen dentro del rubro de la logística empresarial, específicamente en la gestión, separación y transporte de mercancías que se realiza internamente en una empresa y la importancia que esto tiene dentro del tiempo total de la distribución. Además, identificaremos los elementos que afectan directamente a estos procesos logísticos. Seguidamente justificaremos él porque es necesario analizar estos procesos y definiremos las preguntas de investigación relacionando los procesos logísticos con la implementación de la automatización y robótica como un factor clave.

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

Desde que iniciamos el proceso de las revoluciones industriales, la eficiencia se volvió un tema fundamental en los procesos de los distintos sectores comerciales. Hemos visto a lo largo de la historia como paulatinamente se ha ido reemplazando un conjunto de técnicas por otro que brinde mejores resultados. Con la llegada de la cuarta revolución industrial, este concepto ha tomado mayor fuerza, y todos los comercios buscan optimizar sus procesos. Las grandes industrias ya han empezado con la adaptación y digitalización de sus procesos, consiguiendo ahorros económicos, de tiempo, energéticos y en materias primas. (Pena-Cabrera et al., 2019a)

Sin embargo, no vemos este concepto reflejado en empresas dedicadas a la logística y transporte de mercancías. Son escasas las empresas de este rubro que han invertido en procesos automatizados y/o robotizados. Para ver un ejemplo positivo, tendríamos que analizar a la transnacional DHL, que ha invertido cientos de millones en tecnologías para agilizar sus procesos, además de crear sus propios robots para tareas especializadas. Esta misma compañía nos indica estadísticamente a través de uno de sus artículos que, en la actualidad, alrededor del 80% de los almacenes operan manualmente, con poca o nula automatización, un 15% con ayuda de mecanismos mientras que tan solo un 5% son almacenes automatizados y aun estos requieren de cientos de empleados para ciertas funciones. (Bonkenburg, 2016)

La teoría nos habla que la logística hace uso de métodos y medios para el abastecimientos y distribución de productos, además Gómez Aparicio (2013) nos indica dos factores clave en la función logística, que son el factor coste y el factor tiempo (p. 10), ambos factores podemos ligarlos directamente a la implementación de procesos automatizados, lo que nos lleva a

preguntarnos el porqué de la insuficiencia de implementación de estos métodos para aumentar la eficiencia en los procesos logísticos actuales.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La industria logística general experimenta atrasos relevantes con respecto a otras industrias en cuanto a la automatización de sus procesos internos. Este rubro cuenta con distintas tareas repetitivas y monótonas que se pueden abordar en un análisis de factibilidad de automatización y robótica; cuyos resultados indicarían que la implementación de estas tecnologías nos lleva al aumento de la productividad y la calidad. Esta es una razón por la cual grandes transnacionales utilizan robots en sus procesos de embalaje. (Perdomo & Ordóñez Ávila, 2019)

Se propone hacer uso de la robótica para cumplir labores repetitivas que en su mayoría únicamente requieren de fuerza bruta. Algunas de estas tareas pueden ser paletización, pick & place, embalaje, desplazamiento, carga y descarga.

2.3 JUSTIFICACIÓN

Si lo analizamos desde el punto de vista empresarial, Gómez Aparicio (2013) señala que “la logística se refiere a la forma de organización que adoptan las empresas en lo referente al aprovisionamiento de materiales, producción, almacén y distribución de productos” (p .8). Mencionado esto, el punto que intentamos establecer es que la logística si bien puede ser un sector comercial *per se*, está presente en todas las empresas, especialmente a las que se dedican a la producción de bienes. Esto aplica a las empresas de nuestro país, donde tenemos 322 compañías en el rubro de la manufactura. (*Asociación Hondureña de Maquiladores*, 2020)

Sin embargo, aunque Honduras es un país reconocido en el istmo centroamericano para el “outsourcing” en cuanto a la manufactura, no somos un país avanzado tecnológicamente, además de ser el país más pobre de la región (Naciones Unidas & Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2019, p. 101). Es aquí donde es posible entender el porqué de la carencia de avances tecnológicos, y es que en ocasiones la falta de recursos económicos imposibilita la compra de equipo certificado o importado, que, aunque sabemos tendrá un retorno de inversión a corto o medio plazo, es imposible de adquirir para las empresas hondureñas.

Es por este motivo que surge la necesidad de que fabricantes hondureños tomen la iniciativa de elaborar procesos automatizados y equipo robotizado, que suplan la necesidad de la industria hondureña. Iniciando así una nueva cultura de colaboración donde se promueve la ingeniería hondureña y a la vez se fomenta la automatización de procesos de las compañías nacionales, mejorando la calidad y productividad.

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Qué beneficios brinda la utilización de robots en procesos industriales?

¿Qué requerimientos debería de cumplir un diseño de un sistema mecánico para un robot del área industrial?

¿Se puede fabricar un robot para el área industrial con materiales locales?

¿Qué material sería el más adecuado para elaborar las superficies requeridas?

¿Qué requerimientos debería cumplir un sistema de control y eléctrico para el movimiento apropiado de un robot industrial?

¿Qué tipo de comunicación se necesita para teleoperar y monitorear un robot móvil en el sector logístico?

¿Qué tipo de equipos industriales se necesitan para el sistema de control de un robot móvil?

2.5 OBJETIVOS

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Fabricar y programar un robot el cual ayudara en al área de la logística industrial para dar paso a la automatización en dichos procesos.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar como la aplicación de automatización mediante robots beneficia el área de procesos industriales.
2. Diseñar sistema mecánico a emplear en un robot móvil para procesos industriales.
3. Fabricar una estructura robótica a base de un proceso metalúrgico la cual sea capaz de aguantar los procesos industriales que a este se le sometan.

4. Elaborar una impresión de superficies usando manufactura aditiva refinada y resistente para cubrir y proteger los mecanismos en la estructura del robot.
5. Diseñar el sistema de control y sistema eléctrico para la manipulación del robot móvil.
6. Determinar el mejor sistema de comunicación para la teleoperación de un robot móvil.
7. Determinar el controlador y los actuadores necesarios para controlar el movimiento de un robot móvil.

III MARCO TEÓRICO

En este capítulo se abordarán los conceptos necesarios para el correcto desarrollo de la presente investigación. Es importante conocer a detalle que es lo que involucran los procesos logísticos y su relación actual con la automatización y robotización, explorando las oportunidades de mejora que estas tecnologías pueden cubrir. Se detallarán el estado del arte de los distintos métodos a implementar, como ser fabricación de estructuras por superficies, programación de controladores lógicos y otros elementos. Asimismo, es necesario conocer las características de las herramientas tanto físicas como virtuales que se precisaran para la integración del proyecto a realizar.

3.1 CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

La cuarta revolución industrial está cambiando la manera en que los procesos están siendo realizados en todo el mundo. El incremento del uso de la tecnología decrece exponencialmente el tiempo para el cual dicho mecanismo ha sido elaborado. El tiempo es uno de los recursos más importantes que tenemos y en eso se basa la gran importancia que la tecnología está teniendo en esta época. Día a día, las personas están más conectadas con el resto del mundo debido a la tecnología creando un gran flujo de información, servicios y comercio (Pena-Cabrera et al., 2019b). A medida que va incrementando la tecnología, también se va incrementando la facilidad con la que la información llega a las personas.

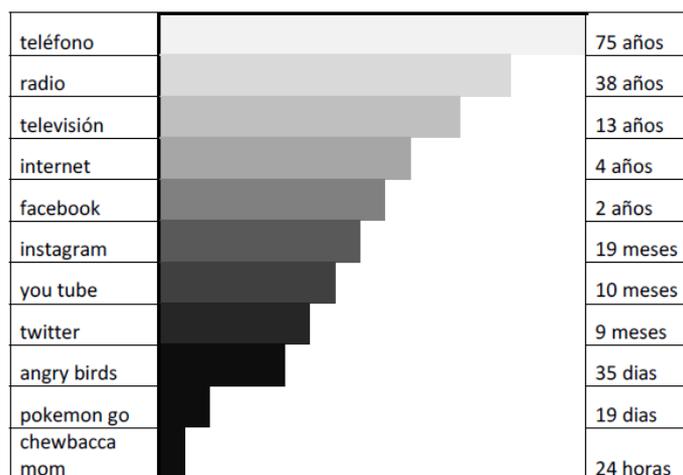


Figura 1. Tiempo para alcanzar 50M de usuarios
(Pena-Cabrera et al., 2019b)

Tiempo en el que le tomaba transmitir información a 50 millones de personas con cada dispositivo antes y ahora.

3.1.1 IMPACTO EN EL ÁREA INDUSTRIAL

El objetivo de la creación y mejora de tecnologías es la habilidad para cortar el tiempo tareas cotidianas y así mismo lograr hacerlas de una manera más sencilla. La convergencia entre la automatización de los procesos industriales nos permite mejorar los procesos industriales, reducir costo al igual que mejorar la calidad de los productos (Pena-Cabrera et al., 2019b). Las industrias tienen como objetivo ir mejorando sus productos al igual que ir reduciendo costos. Implementando mejoras tecnológicas en sus procesos es una inversión onerosa pero muy justificada.

(Pena-Cabrera et al., 2019b) "Los impactos de la I4.0 pueden sentirse como grandes ecosistemas, a nivel organizacional y a nivel individual (empleados y clientes)."

- 1) Ecosistemas: hace referencia a los clientes, la legislación, los inversionistas, los proveedores. Con las nuevas tecnologías, la colaboración entre cada uno de estos entes es más fuerte y participante.
- 2) Organizaciones: los datos, al ser capturados en tiempo real y almacenados en bases de datos bien estructuradas, se reduciría el tiempo de análisis y transmisión lo cual ahorraría costos.
- 3) Individuos: aquí se diferencian dos entidades. Esto significaría un gran cambio en el trabajo del empleado ya que se deberá de capacitar para poder trabajar en conjunto hombre-maquina con dicha tecnología. Con el cliente significa una mayor personalización en los productos y servicios que satisfagan mejor a sus necesidades.

3.1.2 LATINOAMÉRICA

Así como la industria 4.0 ha sido un gran auge en varios países desde que el término fue por primera vez utilizado en Alemania en la feria de Hannover del año 2011 (Pena-Cabrera et al., 2019b) en Latinoamérica no ha sido muy explorada. Mas aun, no muchas personas conocen su significado. En Bogotá, Colombia hay un total de 723.644 negocios activos. De estas, 663.285 son microempresas, 47.098 son pequeñas empresas y 13.261 son medianas empresas (de Jesus Muriel-Pera et al., 2018). Las micros, pequeñas y medianas empresas son clave para

el desarrollo de las economías de los países mesoamericanos, coincidieron los expertos regionales que se reunieron durante el I Encuentro Empresarial Mesoamericano, realizado el pasado 22 de agosto en San Pedro Sula, en el marco de la XVII Cumbre de Tuxtla.

Estudios fueron realizados en varias empresas a lo largo de Bogotá analizando el conocimiento de los componentes que forman lo que hoy entendemos como la industria 4.0. Dichos conceptos fueron: Computación en la nube, Big Data, Internet de las cosas, Ciberseguridad, Inteligencia artificial (de Jesús Muriel-Pera et al., 2018).

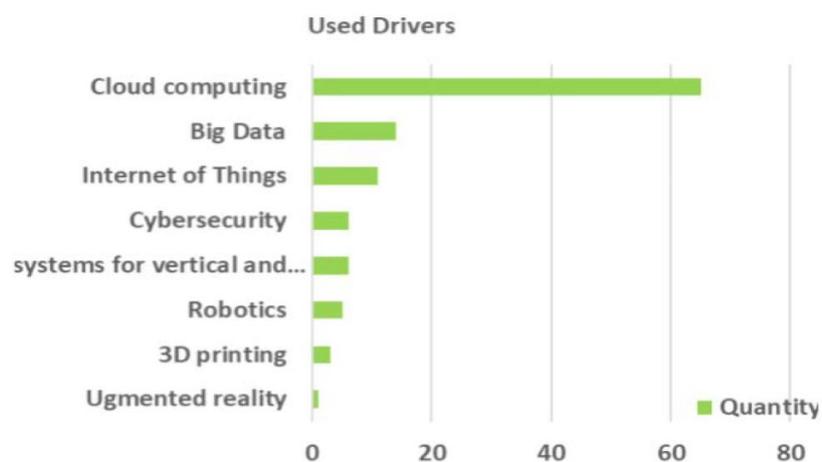


Figura 2. Conocimientos en las MYPYMES sobre temas 4.0

Fuente: (de Jesús Muriel-Pera et al., 2018)

La mayoría de las personas estaban muy familiarizadas con el concepto de computación con la nube ya que es un elemento que se utiliza día a día en todo el mundo. Con los demás resultados se denota que las empresas que son la base de la economía y las que son responsables del flujo del dinero en los países Latinoamericanos no están listas para competir en la industria 4.0.

La cuarta revolución industrial puede llegar a ser una amenaza para este tipo de empresas las cuales no están al día con la tecnología. Así mismo puede llegar a ser una oportunidad para que dichas empresas comiencen a innovar y actualizarse para lograr expandir su mercado. En Latinoamérica hay una gran oportunidad para explotar el material crudo que se tiene en las compañías y lograr dar esos pasos para alcanzar a empresas del primer mundo (de Jesus Muriel-Pera et al., 2018).

3.1.3 HONDURAS

En Honduras, la digitalización del sistema manufacturero solo se aplica en un 30 por ciento en las empresas. No obstante, existe un gran recelo entre muchas de las empresas y los empleados a la hora de querer implementar nuevas tecnologías para su producción. Uno de los mayores miedos se debe al desempleo que este cambio causaría ya que muchos tienen el pensamiento de que un robot llegara a reemplazar a los colaboradores. Aun en grandes empresas que su proceso es enteramente automatizado, la colaboración de hombre maquina siempre está presente debido a que un robot todavía no tiene el sentido común que tiene una persona (Inam et al., 2018).

Durante el Honduras Digital Challenge (HDC) se hizo énfasis en cambiar las barreras culturales que les impide a las personas aventurarse a crear y ofrecer nuevas alternativas en el ámbito laboral. Se tiene que tener en cuenta que los robots jamás podrán suplantar a las personas, pero que este tipo de tecnologías si vendrán hacer más fácil el trabajo y agilizar procesos y crear nuevas alternativas (Santos, 2019).

3.2 LA LOGÍSTICA

Se entiende como logística, también conocida como gestión de la cadena de suministros, al conjunto de partes y actividades involucradas con el flujo de productos desde el fabricante, hasta el consumidor final o quien haya hecho la solicitud, pasando en puntos intermedios por almacenes, medios de transporte y distribuidores. La logística involucra también todas las actividades relacionadas con este proceso, como pueden ser solicitudes, recepción, envío, transporte, planeación, entre otras. (Chopra, 2019)

3.2.1 IMPACTO ECONÓMICO

La existencia de una industria logística fructífera es sinónimo de comercio y economía. Es coherente que un país con una industria manufacturera fuerte necesite de los medios para el movimiento y exportación de productos, o también que un país con altos recursos económicos necesite de los medios para la importación de estos. E incluso se podría argumentar que un gran desarrollo logístico, puede estar ligado al desarrollo económico. En las conclusiones de una investigación realizada por Uludag University et al. (2017) se menciona que el desarrollo de la industria logística es uno de los factores más importantes para el crecimiento económico

de los estados que forman parte de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.

A la vez, D'Aleo & Sergi, (2017), hacen la siguiente afirmación:

El efecto mediador del Índice de rendimiento logístico (LPI) sobre la relación entre el Índice de competitividad global (GCI) y el Producto Interno Bruto (PIB) es estadísticamente significativo. LPI y GCI en conjunto son buenos predictores del crecimiento económico. Resulta que un mejor sistema logístico puede tener un efecto positivo en el crecimiento económico. (p. 27).

Podemos tomar estas afirmaciones y comprobarlas en el contexto latinoamericano. A manera de ejemplo, tomaremos estadísticas de 2018, que se muestran en la tabla 1, donde se puede apreciar la relación que existe entre el índice de desempeño logístico (LPI) y el producto interno bruto (PIB) per cápita (en miles de millones de dólares estadounidenses), que existe entre los países de la región.

Tabla 1. LPI y PIB en Latinoamérica, 2018

País	PIB	LPI	País	PIB	LPI
Panamá	132,966.63	3.28	Rep. Dominicana	192.81	2.66
Paraguay	91,850.11	2.78	Guatemala	149.29	2.41
Brasil	3,131.94	2.99	Bolivia	100.66	2.36
México	2,573.85	3.05	Costa Rica	98.80	2.79
Argentina	1,036.72	2.89	Uruguay	76.29	2.69
Colombia	736.51	2.94	El Salvador	56.61	2.58
Chile	463.79	3.32	Honduras	55.71	2.60
Perú	418.86	2.69	Jamaica	29.28	2.52
Ecuador	202.51	2.88	Haití	20.13	2.11

Fuente: PIB (The World Bank, 2019) y LPI (Jean-François et al., 2018)

3.2.1.1 *Índice de Desempeño Logístico (LPI)*

Para entender mejor este comportamiento macroeconómico es necesario definir qué es y que evalúa el LPI. El Índice de desempeño logístico, creado por World Bank, se utiliza por primera vez en 2007 con el objetivo principal de evaluar el desempeño de las cadenas de suministro logísticas. Este índice es publicado por World Bank cada dos años. El empleo del LPI dio lugar a un debate mundial sobre la importancia de la logística en el crecimiento económico mundial y a la vez reveló la necesidad de implementar políticas concretas para mejorar el rendimiento futuro. Este índice y sus componentes

pueden ayudar a los países (gobiernos y corporaciones) a conocer más de cerca a sus socios comerciales y anticipar cualquier posible ajuste que pueda dañar su competitividad. (Martí et al., 2017)

Sin embargo, cuantificar este tipo de evaluaciones es complicado, por lo que World Bank recurre a la información de retroalimentación de las empresas de exportación, a través de encuestas que brindan la información necesaria para asignar un LPI. Jean-François et al. (2018) nos explican que cada encuestado califica ocho mercados extranjeros en seis componentes principales del desempeño logístico y el LPI se construye a partir de estos seis indicadores utilizando el análisis de componentes principales (PCA), una técnica estadística estándar utilizada para reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos. Los seis componentes principales son:

- La eficiencia del despacho de aduanas y gestión de fronteras.
- La calidad de la infraestructura comercial y de transporte.
- La facilidad de organizar envíos internacionales a precios competitivos.
- La competencia y calidad de los servicios logísticos.
- La capacidad de rastrear y seguimiento de envíos.
- La frecuencia con la que los envíos llegan a los destinatarios dentro de los tiempos de entrega programados o esperados.

Para entender mejor el panorama mundial en el contexto del LPI, en la tabla 2 se detalla el ranking mundial, de América y de Centroamérica, además de mencionar otros países de interés para Honduras, según su LPI del 2018.

Tabla 2. Países según su LPI 2018

País	Ranking	LPI	País	Ranking	LPI
Mejor Posición Mundial			América		
Alemania	1	4.20	Estados Unidos	14	3.89
Suecia	2	4.05	Canadá	20	3.73
Bélgica	3	4.04	Chile	34	3.32
Austria	4	4.03	Panamá	38	3.28
Japón	5	4.03	México	51	3.05
Holanda	6	4.02	Centroamérica		
Singapur	7	4.00	Panamá	38	3.28
Dinamarca	8	3.99	Costa Rica	73	2.79
Reino Unido	9	3.99	Honduras	93	2.60
Finlandia	10	3.97	El Salvador	101	2.58
EAU	11	3.96	Guatemala	125	2.41
Hong Kong	12	3.92	Otros Países de Interés		
Suiza	13	3.90	China	26	3.61
Estados Unidos	14	3.89	Taiwán	27	3.60

Nueva Zelanda	15	3.88	Israel	37	3.31
Francia	16	3.84	Brasil	56	2.99
España	17	3.83	Colombia	58	2.94

Fuente: (Jean-François et al., 2018)

Estas estadísticas nos hacen ver la realidad de Honduras y lo lejos que estamos de proveer servicios logísticos de calidad, en comparación con grandes potencias mundiales, e incluso con países latinoamericanos como Chile y Panamá.

3.2.2 RETOS

Al relacionarse la logística con un flujo, podemos interpretar que es un proceso dinámico, versátil y que cuenta con mucha información, como ser códigos, direcciones, precios, tiempos de entrega, etc. También, al ser un proceso, como se mencionó anteriormente, existe una gran cantidad de etapas, las cuales deben cumplirse correcta y eficientemente para que el producto pueda llegar como se espera en tiempo y forma, hasta el punto final.

Este tipo de procesos varía abruptamente de un caso a otro, existiendo una gran posibilidad de productos, fabricantes, compradores e intermediarios. A la vez, se entiende que un caso puede ser significativamente crítico dependiendo la naturaleza del producto y el solicitante. La única constante en estos procesos es el flujo de información en ambos sentidos. La logística se enfrenta cada vez a más y a nuevos desafíos, por lo cual los dirigentes de los procesos logísticos deben implementar medidas innovadoras para garantizar entregas de carga sin problemas y bajo los parámetros requerido. (Drašković, 2016)

Con el avance de la tecnología, también se ha perfeccionado cada vez más la gestión de la cadena de suministros. Tomemos en cuenta el origen, todo surge del hecho de que, desde el inicio de los tiempos, las civilizaciones han sido obligadas a la búsqueda de los elementos básicos de subsistencia en regiones ajenas o lejanas al lugar de residencia. Este proceso se fue mejorando a lo largo de la historia durante miles de años, hasta llegar a la actualidad. Hoy en día, estamos en un periodo en donde podemos adquirir casi cualquier bien material a través de una compra en línea, y la entrega es increíblemente veloz. El producto puede atravesar la ciudad en cuestión de minutos, el país en horas, el continente en unos cuantos días y el océano en poco más de una semana, y todo sin que el solicitante tenga que cambiar de código postal. Sin embargo, esto no es suficiente, y queremos ser capaces de mejorar esto.

Entre los factores clave para el éxito de los procesos logísticos, tenemos la eficiencia y la rapidez. La continua globalización de los mercados de compras y ventas, así como la distribución mundial de productos, requieren una planificación integral y una optimización de los procesos de valor agregado y las redes logísticas. Estos requerimientos son un reto para los encargados y ejecutivos ya que se ven obligados a implementar mejoras, pero a la vez reducir los costos sin afectar la eficiencia y velocidad que los clientes perciben. (Poluha, 2016)

3.2.3 MÉTODOS LEAN

De la necesidad de optimización de los procesos logísticos, surge el término *Lean Logistics*. En general los métodos *lean* detectan y reducen las actividades del proceso que no generan ningún valor agregado, y buscan objetivos como rentabilidad, eficiencia, capacidad de respuesta, calidad y satisfacción del cliente (Garza-Reyes et al., 2018). Entre los métodos *lean* podemos enumerar algunos como:

- Establecer estándares
- Metodología 5S
- *Value Stream Mapping*
- Control Visual
- Control Productivo Total
- Cambio rápido de herramientas
- *Takt Time*

En ocasiones, la cultura organizacional supone que estas prácticas se limitan al comportamiento humano, sin embargo, la mayoría son aplicables a las tecnologías que apoyan en las actividades productivas. La influencia de la industria 4.0 y el internet de las cosas, cubre distintas áreas industriales, como ser la manufactura y la logística. Es aquí donde los métodos *lean* tienen la oportunidad de explotar su potencial, las empresas se ven obligadas a adoptar nuevas tecnologías, a recolectar datos de manera masiva y a entrar en la digitalización (Varela et al., 2019). Sin embargo, todo esto requiere de una infraestructura, que puede tener distintos nombres, donde uno de los más populares son los robots colaborativos, una tecnología importante para nuestra investigación y que abordaremos más adelante.

Otro tema para tomar en cuenta, que además es muy importante en la actualidad, es la cantidad de beneficios ambientales que actividades relacionadas a métodos *lean* en la industria pueden conllevar. Según un estudio realizado por Campos & Vazquez-Brust, (2016), de 31 actividades relacionadas con métodos *lean* que fueron analizadas, 25 de ellas demuestran tener de alguna manera un impacto positivo al medio ambiente. Lo cual tiene

mucho sentido, ya que muchas de las actividades que ellos analizan en su estudio, están relacionadas con la reducción de desperdicios en procesos de producción, transporte, almacenaje, inventariado, entre otras.

Hablando específicamente del área logística, podemos analizar varias áreas o actividades que necesitan de métodos *lean* para su optimización, podemos mencionar:

- Exceso de stock o almacenaje
- Tiempos de almacenaje largos
- Cuellos de botella
- Errores e iteraciones
- Desplazamientos innecesarios

Estos son algunas de las áreas de mejora que se pueden analizar, sin embargo, podemos encontrar otras y más adelante identificaremos diferentes actividades donde haciendo uso de la tecnología podemos optimizar el proceso general.

3.2.4 ELEMENTOS DE LA LOGÍSTICA MODERNA

Para alcanzar el estado del arte de los procesos logísticos, es necesario tener bien definidos los sistemas involucrados. Shi et al. (2019) definen cuatro tipos de sistemas que componen el funcionamiento de los procesos logísticos de los cuales hablaremos a continuación.

- Sistema de infraestructura logística. Involucra herramientas y equipo de infraestructura, logística y transporte; así como centros de distribución e instalaciones de red de información logística. Su objetivo es promover eficazmente la construcción de un sistema logístico moderno y garantizar su funcionamiento. La elaboración de este sistema debe ir de acuerdo con los objetivos organizacionales y debe ser capaz de interconectar los sistemas logísticos modernos. El diseño y posterior construcción de esta infraestructura es clave para un sistema logístico integral, que abarque los requerimientos de la organización desde el nivel micro hasta el macro.
- Sistema de operación logística. Dentro de un sistema logístico moderno, el sistema de operación se compone principalmente de las funciones puras de logística. Busca establecer una analogía con el internet de las cosas, permitiendo que todo este interconectado, al hacer uso de prácticas como almacenes automatizados, identificación por radiofrecuencia (RFID), plataformas de información de almacén,

entre otras. También busca aplicar conceptos similares en otras funciones involucradas, como ser, transporte interno autónomo o no tripulado, autoinformes, procesamiento de circulación y aplicar tecnologías de inteligencia artificial.

- Sistema de gestión logística. Busca construir una gestión eficaz externamente. Cuenta con múltiples elementos que se van renovando con las nuevas tecnologías. Una gestión correcta y eficiente significa una importante fuerza impulsora para la construcción del sistema logístico y que además aporta una garantía ordenada para la gestión interna y externa del sistema logístico, que incluye: organización de gestión logística, reglas y regulaciones logísticas, proceso comercial logístico, indicadores de evaluación logística y actividades de operación logística.
- Sistema de información logística. El sistema de información de la logística moderna está compuesto por múltiples sistemas funcionales. Su objetivo principal es proporcionar información útil que ayude al desarrollo de un sistema logístico contemporáneo. Requiere de plataformas digitales para el flujo de datos relacionados con los procesos logísticos; la información tratada puede relacionarse con tráfico, oferta y demanda, stocks, etc. Hace uso de los datos proporcionados por identificadores digitales, posicionamiento satelital y comunicaciones por radiofrecuencia, todos estos elementos están involucrados con el sistema de operación logística.

Una vez definidos los cuatro tipos de sistemas, podemos concluir que el sistema de infraestructura es para automatizar la infraestructura e integrar la red de transporte. El sistema de operación logística realiza operaciones de integración inteligente. El sistema de información logística debe formar un entorno compartido, transparente y abierto, y establecer un sistema de gestión logística eficiente y científico. Con todos estos elementos, el desarrollo de un sistema de red logística moderno está garantizado.

3.3 PROCESOS INDUSTRIALES

Un proceso industrial es aquel que se encarga de obtener, transformar o transportar uno o varios productos primarios, también llamadas materias primas. Generalmente consiste en lograr que dichos elementos primarios se conviertan en materiales, herramientas, sustancias y productos que satisfagan una serie de necesidades de un cliente en específico (Enríquez

Harper, 2004). Dichos procesos han ido en constante cambio a lo largo de los años y con cada revolución industrial que ha acontecido. Desde la primera revolución industrial que el método de transporte era con maquinaria a vapor, hasta el día de hoy que brazos robóticos elaboran carros en cuestión de horas.

3.3.1 TIPOS DE PROCESOS INDUSTRIALES

Existen una variedad de casos en los cuales se pueden diferenciar este tipo de procesos. Factores que tomar en cuenta tales como el aprovechamiento de los recursos naturales, el trabajo de calidad, así como la flexibilidad de cambios en el proceso. A medida que nuevas tecnologías van siendo modificadas y creadas, estos procesos van avanzando y cambiando paralelamente (Enríquez Harper, 2004).

Proceso industrial por trabajo

En este proceso, todos los recursos son utilizados para la elaboración de un solo producto a la vez. Es decir, este se centra en elaborar un producto en específico y relativamente único pedido por un cliente. El resultado es distinto en cada ocasión ya que este proceso para y reinicia cada vez que se pide el producto, teniendo como gran dificultad el obtener los mismos resultados para poder mantener un semblante de lo que se produjo anteriormente (Leidenger, 1997).

Procesos por flujo continuo

En este caso, las empresas realizan cientos de miles de productos iguales de manera contante. Este proceso tiene como objetivo estar produciendo las 24 horas del día. Este proceso maximiza los niveles de producción de la empresa ya que reduce los costos de producción que se aumentan al estar encendiendo y apagando para reiniciar el proceso. Hay que tomar en cuenta que se deben tener una variedad de máquinas haciendo el mismo proceso para lograr parar cierta cantidad para hacer revisiones preventivas, pero manteniendo las demás encendidas para no para la producción (Leidenger, 1997).

Procesos por lotes

Estos procesos incrementan su nivel de producción al tener moldes o plantillas a seguir para que sus productos sean hecho a semejanza. La cantidad de los productos depende de la

necesidad y de las ordenes que le hacen los clientes a la empresa, haciendo que la producción tenga cierto límite de elaboración (Leidenger, 1997).

Producción en masa

Ahora en día es uno de los procesos más utilizados en las empresas grandes debido a su alta demanda de producto. De igual manera que lo hace la producción de flujo continuo, este proceso lleva a cabo una gran cantidad de productos, pero con la excepción de tener un comienzo y un final dependiendo de la orden realizada. Como este proceso toma en cuenta la producción de una cantidad muy alta de productos, se toma en cuenta el uso de tecnologías avanzadas para minimizar al máximo el error de elaboración (Leidenger, 1997).

3.4 ROBÓTICA

(Ollero Baturone, 2001) *"El termino robot aparece por primera vez en 1921, en la obra teatral R.U.R. (Rossum's Universal Robots) del novelista y autor dramático checo Karel Capek en cuyo idioma la palabra "robot" significa fuerza de trabajo o servidumbre."* La robótica es una de las ramas de la ingeniería que estudia el diseño y construcción de tecnologías y maquinas que lleguen a ser capaces de imitar los movimientos del ser humano para realizar tareas. Es decir, es la ciencia que en conjunto con teorías prácticas permite automatizar sistemas basados en maquinaria poli articulada, dotándola de cierto grado de inteligencia artificial. Estas tecnologías destinadas para realizar procesos industriales o sustituir a las personas en diversas tareas.

En los sistemas de control automatizado se emplean tecnologías de movimientos como lo son la neumática, la hidráulica, así como la eléctrica. Estos sistemas han venido siendo implementados desde el siglo XIX, pero es hasta 1972 que la aparición del microprocesador comienza a suministrar impulsos de control para obtener sistemas de control meramente automatizados. Uno de los primeros sistemas teleoperados fueron creados en el año 1942 que consistía en una pinza "maestra" y una pinza "esclava". Este mecanismo consistía en que la pinza "esclava" imitaba los movimientos de su pinza hermana, todo con el fin de manipular sustancias peligrosas para el ser humano. (Ollero Baturone, 2001) Todo sistema siempre creado para mejorar y prevenir a las personas de realizar tareas que dañaran su salud.

3.4.1 ROBOTS MANIPULADORES

El robot manipulador es una herramienta de articulaciones múltiples especialmente diseñada para levantar y sostener objetos. El sistema de manipulador tradicional está compuesto por varios sistemas de movimiento, que se apoyan en enredaderas duras que les permiten moverse en varios grados de libertad. Todos estos son para producir movimientos similares a los de un brazo, por lo que generalmente se llama brazo de robot (Ollero Baturone, 2001).



Figura 3. Robot Industrial Poliarticulado

Fuente: (Aristizabal' & Correa, 2016)

3.4.1.1 Tipos de Articulaciones

En la figura 4 logramos apreciar los diferentes tipos de articulaciones que se le pueden adaptar a los sistemas de operación de un mecanismo para que este se mueva en el espacio. La manipulación de los grados de libertad depende de cada uno de estos. Los grados de libertad son aquellos movimientos que un sistema puede hacer en el espacio, dependiendo del tipo y número de articulaciones del que este consiste (Ollero Baturone, 2001).

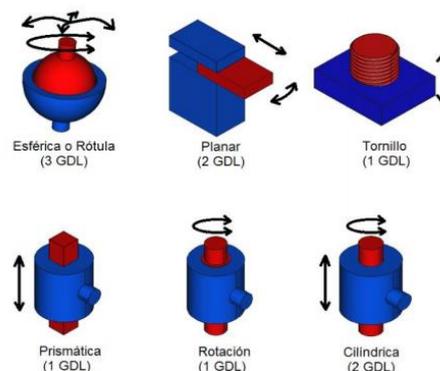


Figura 4. Tipos de Articulaciones encontradas en mecanismos

Tipos de Articulaciones:

- 1) Rotacional: Este tipo de articulación permite que un elemento gire sobre su eje lo cual permite solo un grado de libertad. Este movimiento puede ser similar al movimiento de una bisagra de una puerta.
- 2) Prismática: Esta articulación permite el desplazamiento a lo largo del eje de la articulación, permitiendo que este tenga un grado de libertad.
- 3) Cilíndrica: Esta articulación es una colaboración entre las dos anteriores, permitiendo que el elemento pueda girar alrededor de su eje al igual que trasladarse en sí mismo, permitiendo que existan dos grados de libertad.
- 4) Planar: Así como lo dice su nombre, esta articulación permite un movimiento de desplazamiento en un plano, permitiendo tener dos grados de libertad.
- 5) Esférica: Permite combinar tres giros en tres direcciones diferentes perpendiculares en el espacio. Esta articulación puede ser mejor descrita como el movimiento que hace el brazo en el ser humano.

3.4.2 ROBOTS MÓVILES AUTÓNOMOS

Recientemente, el incremento de las tecnologías y la demanda de los usuarios para obtener mejores productos de calidad a su vez a forzado la evolución de la robótica en la industria. Hemos llegado a una etapa en la cual los robots móviles ya no son una idea vista en las películas si no una realidad al alcance de la mano. Gracias a la creación de sensores y actuadores y su implementación en la industria, los robots son capaces de navegar en todo tipo de ambientes laborales (Koseoglu et al., 2017).

Los robots móviles se pueden calificar en AMR y AGV, que sus siglas en ingles significan Autonomous Mobile Robots y Autonomous Guided Vehicles correspondientemente. La distinción entre ambos es la diferencia de autonomía que estos tienen. Los AGV son vehículos que están elaborados para seguir un camino determinado, frecuentemente para la realización de tareas repetitivas. Este tipo de mecanismos no pueden tomar la decisión de salir de su camino establecido. Los vehículos denominados como AMV están especializados para moverse en terrenos impredecibles. Estos están conformados por una variedad de sensores y de software centrado en la toma de decisión para lograr obtener y cursar el camino óptimo para lograr su tarea.

3.4.2.1 Tipos de Robots Móviles

Dentro de estos se encuentran los robots móviles utilizados para la acción de picking. En este sector podemos encontrar lo que son los AMR para picking de hombre a producto. Los AMR son utilizados para dar seguimiento al colaborador para asistirle mientras este recorre el área de trabajo. Es aquí donde el colaborador es el que toma las decisiones de escoger el producto y depositarlo en el robot. Luego de esto, el robot traslada el producto hacia su destino, evitando que el colaborador se retire de la zona de trabajo y efectuando un traslado de los productos de manera más eficiente y rápida (Koseoglu et al., 2017).

Así mismo están los AMR en sentido contrario, lo cual sería de producto a hombre. Un ejemplo de este tipo de robot lo podemos localizar en los almacenes de Amazon, donde utilizan los sistemas KIVA para trasladar su paquetería dentro del almacén. Estos robots son de tamaño mediano, pero con un par elevado, pueden transportar objetos pesados y mover estantes de un punto a otro en el almacén del operador. Tienen un lector de códigos en la parte inferior para leer los códigos previamente colocados en el área de trabajo para que este se desplace de uno a otro. Una vez terminada la tarea, el robot desplaza el producto hacia su posición para lograr obtener el siguiente (Liu et al., 2019).

3.4.3 MODELOS CINEMÁTICOS DE ROBOTS

La cinemática parte de la mecánica la cual trata de los movimientos en sus condiciones de tiempo y espacio, todo esto sin tener en cuenta causas por las cuales estos son producidos. (Beer et al., 2010) nos indica que la cinemática relacionada con los robots estudia el movimiento de la maquinaria en un sistema de referencia sin tener que considerar las fuerzas involucradas en este proceso. En otras palabras, hay que tomar en cuenta las fuerzas que involucran cada movimiento de un brazo robótico como lo son la gravedad, el producto que se quiere trasladar, la tarea que se desea realizar, así como la masa propia del robot. Es decir, la cinemática es la que se encarga de ayudar al usuario para realizar los movimientos pertinentes de lo mecanismo y sus articulaciones para lograr alcanzar una posición y dirección del sistema para completar su objetivo (Miranda Colorado, 2016).

Dos complicaciones para tomar en cuenta al hablar de la cinemática de los robots son el problema cinemático directo y el inverso.

La Cinemática Directa: Incluye determinar la posición y dirección del extremo final del robot, relativo al sistema de coordenadas utilizado como referencia, y conocer el valor de las articulaciones y los parámetros geométricos de los elementos del robot.

El problema de la cinemática directa se puede resolver de varias formas:

- Mediante métodos geométricos.
- Matrices de transformación homogéneas.
- Mediante el uso de cuaternios.

En el primer caso, en el método geométrico, es necesario encontrar una relación geométrica que nos permita definir una fórmula matemática para calcular el valor extremo. La fórmula es relativamente fácil de ubicar en unos pocos grados de libertad, pero cuando superamos los 3 grados, se complica, lo que la invalida. El segundo método se basa en el álgebra de vectores y matrices, la idea principal es que cada elemento que constituye el brazo robótico constituye una cadena cinemática y cada eslabón está conectado por una articulación. En este caso, es suficiente calcular una matriz de transformación que utilizará las coordenadas básicas como coordenadas para calcular o transformar la posición relativa de cada enlace.

En el caso de utilizar una matriz homogénea, es necesario describir la relación entre los enlaces, aunque se puede utilizar cualquier sistema de referencia, lo más habitual es utilizar la representación de Denavit-Hartenberg (D-H).

El último método se basa en el cálculo de cuaterniones. De estos, podemos definirlos como herramientas matemáticas que permiten el uso del giro y la orientación. El cuartil se compone de cuatro componentes (q_0, q_1, q_2, q_3) que representan las coordenadas básicas $\{e, i, j, k\}$. En este caso, el componente $\{e\}$ generalmente se llama escalar y el componente $\{i, j, k\}$ se llama vector. Por lo tanto, podemos usar $[s, v]$ para representarlo.

Otro gran problema, la cinemática inversa, intenta resolver la cadena del robot para alcanzar la posición y dirección final conocidas. En otras palabras, debe calcular la posición y orientación de cada articulación del robot para colocar el extremo en la posición deseada. De todos los elementos involucrados, esta pregunta es la más complicada (Miranda Colorado, 2016).

3.4.4 TELE ROBÓTICA

La telerobótica es un estudio que está centrado en el control de mecanismo a distancia. Mas aun, con los avances tecnológicos, los sistemas inalámbricos son de vital importancia ya que estos ayudan a un mejor manejo de las conexiones a largas distancias sin la necesidad de cableado. La interfaz hombre-máquina, como ya se ha mencionado anteriormente, es de suma importancia ya que consiste en la búsqueda y diseño de interfaces. La visión artificial, captura los movimientos del hombre y el robot los emula.

También puede ser llamada interfaz de usuario y se utiliza para la comunicación con el usuario. Es importante poder desarrollar una interfaz fácil e intuitiva para el usuario. La ergonomía es importante en el mecanismo, el software y aspectos cognitivos, ya que esto facilitara a las personas en su uso (D. Lee, 2014).

3.5 AUTOMATIZACIÓN Y ROBOTIZACIÓN

La automatización consiste en el uso de tecnologías para llevar a cabo trabajos realizado previamente por humanos, desde aplicaciones básicas como inventarios por códigos de barra hasta procesos de producción completos. El objetivo es hacer que a través de máquinas se puedan realizar tareas monótonas, donde el humano puede ser ineficiente, y permitir que este se concentre en tareas más complejas, creativas y emocionales. En conjunto con la automatización, encontramos un concepto muy importante, la robótica, cuyo objetivo es desarrollar máquinas, robots, que pueden replicar las acciones humanas. Estos tienen distintas aplicaciones dependiendo del ámbito donde sean implementados, ya sean médicos, agrícolas, militares, logísticos, domésticos, etc. Estos pueden ser usados para todo tipo de tareas, desde las repetitivas y peligrosas hasta creativas y de alta precisión (Wang & Siau, 2019).

3.5.1 AUTOMATIZACIÓN EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES

Hoy en día, especialmente en países subdesarrollados, los procesos industriales todavía son realizados de manera manual por varias razones. Muchos de estos procesos son muy difíciles de automatizar y se requerirían de una gran cantidad de inversión para lograr hacerlo. Mas aun, las empresas tienen diversos procesos que tomar en cuenta y se requiere de diversos analizas para lograr decidir cual proceso escoger para automatizarlo. Mas aun, para poder dar un paso pequeño para la automatización de los procesos se puede llegar a implementar

maquinaria que ayuda al operador y crear un lazo hombre-máquina para que el proceso sea semi automático (Wantia et al., 2016).

3.5.1.1 *Colaboración Hombre-Robot*

La colaboración entre hombre y robot es uno de los primeros pasos para la automatización de todo un proceso. Esta idea consiste en la ayuda de un sistema ergonómico robotizado para lograr ayudar al colaborador en las tareas que este lleva a cabo en dicho proceso. En este caso, el robot no lleva a cabo todo el proceso, pero si ayuda al colaborador en la tarea para que esta sea realizada de una manera más rápida, con mayor eficacia y con mayor calidad. La mayor idea en esta colaboración es de tener un espacio de trabajo compartido entre el hombre y la máquina, denominada como robot de servicio. Con esta idea, el colaborador no requiere de capacitarse de manera especial para lograr controlar los mandos del robot, este solo debe ajustar su espacio de trabajo para que el robot le ayude en sus tareas (Wantia et al., 2016).

En los últimos 50 años han existido robots los cuales han estado supliendo a los humanos en la realización de tareas que son demasiado extremas, peligrosas o repetitivas para que un humano pueda hacer. Comúnmente, para prevenir accidentes, los espacios en los que trabajan las personas y los robots deberían ser separados. Sin embargo, con los avances tecnológicos estas líneas han llegado a ponerse un poco difusas ya que la implementación de sensores en los robots ayuda a que estos detecten y prevengan desastres. A medida que los robots vayan evolucionando esta línea cada vez se ira haciendo menos visible hasta que llegue a ser inexistente. (Robla-Gomez et al., 2017).

3.5.2 ROBOTS EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES

Los procesos industriales apoyados por la robótica pueden lograr una mayor precisión y rentabilidad. Son más sostenibles, seguros y efectivos. En la carrera por utilizar la automatización en la fabricación, Europa se destaca de otros continentes. En concreto, en el 65% de los países de la UE, el número de robots industriales por cada 10.000 empleados es superior a la media mundial. Alemania y Suecia encabezan la lista (IndustrialProcessNews), y España ocupa el octavo lugar con 131 robots por cada 10.000 empleados en el entorno de producción (Ruishu et al., 2018).

De hecho, no todo el mundo es originario de la Unión Europea. En el entorno de producción, solo unos pocos se fabrican en Europa y el resto son de Japón, China, Corea del Sur o Estados Unidos. Algunos de estos fabricantes europeos son los siguientes:

- 1) ABB Robotics: La empresa es considerada pionera tecnológica. Desde su establecimiento, ha trabajado en estrecha colaboración con clientes de servicios públicos, industriales, de transporte e infraestructura en aproximadamente 100 países. Hasta el momento, se puede decir que llevan más de cuarenta años a la vanguardia.
- 2) Grupo Bosch: Es el proveedor de servicios y tecnología líder en el mundo. El negocio de la compañía se divide en cuatro áreas comerciales, que incluyen soluciones de transporte, tecnología industrial, bienes de consumo y energía, y tecnología de la construcción.
- 3) Universal Robots: Desarrolla robots industriales que puedan automatizar y simplificar procesos industriales repetitivos. Su robot es ligero y puede moverse de forma flexible en este entorno.

Entre las ventajas de introducir el apoyo de la robótica en los procesos industriales, se encuentran la disminución de los costes de producción al igual que la mejora de la calidad, abarcan tiempos de ciclo más cortos. Así mismo garantiza la optimización del aprovechamiento del espacio en el suelo y minimiza los residuos. Como punto final vemos un aumento de la seguridad.

Las aplicaciones industriales que utilizan este tipo de robot son muy diversas, por lo que daremos algunos ejemplos, los ejemplos principales son los siguientes: Fundición: Fundición de moldes, colocación de piezas en moldes, transporte de moldes a lugar de enfriamiento, limpieza y mantenimiento (Pinkam et al., 2016).

- 1) Trabajos de soldaduras: Estos tipos de robots se utilizan en la industria automotriz con el fin de soldar carrocerías.
- 2) Aplicación de materiales: Estos robots se utilizan para recortar superficies con esmalte, pintura, barniz y otros materiales.
- 3) Aplicación de selladores y adhesivos: Se utilizan en la industria automotriz para sellar parabrisas, ventanas, etc. Aunque otras industrias también los utilizan para otros fines.
- 4) Alimentación de máquinas: Se utilizan especialmente en la industria metalúrgica donde se utilizan prensas.

- 5) En cortes: Estos robots se utilizan para cortar diversos materiales de diferentes formas, tales como: agua pulverizada, láser, combustible oxigenado, etc.
- 6) Operaciones de montaje: Debido a su velocidad y precisión, estos robots se pueden utilizar para ensamblar piezas muy pequeñas.

3.5.2.1 Tipos de Robots

1) Robot industrial cartesiano

Básicamente, el robot industrial cartesiano se caracteriza por posicionarse mediante 3 articulaciones lineales y generar movimiento vertical según los 3 ejes cartesianos X, Y y Z.

Así mismo, este tipo de robot industrial le ofrece 3 beneficios esenciales:

- Buen nivel de precisión y repetibilidad.
- Facilidad de programación.
- Costo económico.

Por lo tanto, se puede considerar como la solución de menor costo en la industria de la soldadura porque puede realizar operaciones simples como soldar, colocar o seleccionar de manera eficiente y económica (Kubela et al., 2016).

Los robots cartesianos tienen muchas aplicaciones en el campo. Un ejemplo de este es el Farmbot construido en Perú para huertos y viveros industriales. En este trabajo se implementó, calibró y configuró el hardware y el software de un robot Cartesiano Farmbot a fin de que trabaje eficientemente en aplicaciones agrícolas (Choque Moscoso et al., 2018).

2) Robot industrial Scara

Aunque este tipo de robot industrial también puede moverse en el mismo plano cartesiano de coordenadas que el anterior, su diferencia es que incorpora el eje final del plano Z para rotar la herramienta o dispositivo en el extremo del brazo robótico. Por tanto, aunque el final de la pluma limita su alcance, el robot Scara no es tan versátil, pero se le considera líder en el proceso de montaje (Kubela et al., 2016).

No obstante, una constante búsqueda para la colaboración segura entre los robots y los humanos es una tarea en la cual se trabaja siempre. (Shariatee et al., 2016) nos indica que "En algunos enfoques se utiliza Microsoft Kinect para obtener imagen de profundidad de la célula robótica debido al modelo humano de 20 articulaciones salida además de su bajo costo. En

un sistema basado en N-Kinect ha sido desarrollado para cubrir todo el espacio de trabajo del robot y reducir oclusión. ”

4) Robot industrial cíclico

Aunque los robots anteriores se centraban en determinar una determinada postura para una determinada ubicación, este tipo de robot industrial es esencialmente diferente ya que puede tener diferentes posturas para una única ubicación. Una analogía ampliamente utilizada que puede utilizar para comprender cómo funciona es compararlo con un brazo humano, que puede mantener las cosas fijas mientras mueve los hombros y los codos. En otras palabras, estos robots pueden colocar sus herramientas o pinzas en posiciones específicas, pero con diferentes posturas (Kubela et al., 2016).

5) Robot industrial de 6 ejes

También se llama 6 grados de libertad; porque sus articulaciones pueden colocar tu herramienta o plantilla en 3 direcciones, es decir, 3 posiciones de movimiento. El contenido anterior le permite tener una mayor flexibilidad para adaptarse a diferentes aplicaciones laborales o industriales, y tiene la capacidad de convertirse en un robot colaborativo.

(Vignesh et al., 2019) no enseña que

“El brazo robótico se utiliza en campos como industrias, medicina, militar. Eliminación de la monitorización del estrés en la operación humana en el trabajo sistemático para lograr la producción deseada en la industria en el futuro. Los futuros cirujanos pueden controlar un robot brazo que asiste al médico o imita sus acciones.”

6) Robot industrial de doble brazo

Finalmente, este es uno de los robots industriales más complejos. Esto se debe a que está elaborado con dos brazos robóticos que pueden trabajar juntos en una sola pieza de trabajo al mismo tiempo. Para ello, la mayoría de ellos están equipados con funciones de detección de visión y fuerza debido a su asombrosa capacidad para realizar tareas autónomas en las que pueden tomar decisiones y actividades complejas como reconocer formas y objetos o ajustar objetos, cantidad y fuerza.

3.5.3 AUTOMATIZACIÓN Y ROBOTIZACIÓN EN LA LOGÍSTICA

Como se mencionó previamente, los sistemas de operación logística realizan operaciones de integración inteligente con el fin de agilizar procesos y mejorar los tiempos y la eficiencia. En los procesos logísticos, existen diversas áreas de mejora, que involucran actividades monótonas o repetitivas y que no requieren de un gran análisis. Algunas de las tareas identificadas son:

- Almacenamiento
- Pick and place
- Embalaje
- Paletización.
- Carga y descarga
- Vehículos autopropulsados
- Identificado
- Inventariado
- Y ya hasta podríamos mencionar, la entregas al consumidor final

En la actualidad, muchas de estas actividades son realizadas por humanos en todo el mundo, y tal vez no precisamente a mano, puede ser que hagan uso de equipo o mecanismos que faciliten el trabajo. Algo que, si es cierto, es que todas estas actividades pueden ser desarrolladas por robots, de manera más veloz, con menos errores, sin pausa y, en fin, con mucha más eficiencia. Mikušová et al. (2017) menciona que los robots operando de manera correcta en la logística son de cuatro a seis veces más eficientes que los humanos, y adicionalmente nos pueden reducir los costos operativos en un 20% y hasta un 40%. Esto nos da una idea del impacto que los robots pueden tener en procesos logísticos.

La industria logística es una de las que mayor crecimiento tiene con respecto a la aplicación de robots (International Federation of Robotics, 2018), sin embargo, por su tardío inicio, aún está muy atrás con respecto a otras industrias en aspectos generales de automatización y robotización, aunque se han visto mejoras considerables en los últimos cinco años. Esto se debe a que se han identificado la gran cantidad de ventajas que el empleo de robots trae a esta industria, entre estas identificamos algunas:

- Mejoras de tiempo y calidad
- Reducción de errores
- Exactitud
- Trabajo no interrumpido
- Retorno de inversión a corto o mediano plazo

- Reprogramable
- Variedad de aplicaciones
- Capaz de llevar registros estadísticos
- Fácil integración a procesos
- Se puede supervisar con SCADAs
- Mejor aprovechamiento de recursos y materiales
- Condiciones de trabajo más seguras
- Menos exposición de humanos a trabajos peligrosos
- Entre otras.

Pudimos entonces definir que la aplicación de robots trae muchas ventajas a las empresas, y que es aplicable a una gran variedad de procesos logísticos. A la vez descubrimos que es una tecnología que ha venido creciendo en los últimos años y grandes transnacionales han invertido una gran cantidad de dinero en adquirir estos equipos. Sin embargo, aunque su retorno de inversión puede ser a corto plazo, su alto precio adquisitivo es un problema para industrias crecientes de países como Honduras, y es por eso por lo que es necesario idear la forma de implementar este tipo de tecnologías en un contexto nacional.

3.5.4 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES

Un controlador lógico programable o más conocido por sus siglas en inglés PLC, se define como un "Instrumento electrónico, que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos" según la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA).

El campo de aplicación de los PLC es muy amplio y se utiliza como una solución de automatización en diversas industrias. Un PLC interconecta numerosos tipos de señales eléctricas y electrónicas externas. Estas señales pueden ser corrientes o voltajes de corriente alterna o continua y se les denominan entradas y salidas. El PLC está diseñado para trabajar en ambientes complejos, con amplios rangos de temperatura, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto. Además de las exigencias físicas, los PLC son sistemas diseñados para trabajar en tiempo real, donde los resultados de salida deben ser producidos

en respuesta a las condiciones de entrada dentro de un tiempo limitado, que de lo contrario no producirá el resultado deseado.

Hoy en día existen una gran variedad de PLCs en la industria, de distintos fabricantes, capacidades de trabajo y costos, todo dependiendo del tipo de proceso a controlar. Estos dispositivos se han venido perfeccionando durante los últimos cincuenta años, y su larga trayectoria demuestra lo valiosos que han sido para la industria. Aunque cada día se desarrollan nuevas tecnologías, los PLCs se mantienen como los favoritos para tareas de automatización. (Department of Electrical and Electronics Engineering, KLE INSTITUTE OF TECHNOLOGY, HUBBALLI-580030, VTU BELAGAVI et al., 2017)

3.5.4.1 Breve Reseña Histórica

El origen del PLC se remonta a la década de 1960, cuando la compañía Bedford Associates, una firma de consultoría profesional de ingenieros electricistas, liderados por Richard "Dick" Morley diseñaban un nuevo controlador, un dispositivo que remplazara los circuitos de control basados en lógica de relés y contactores, ya que existía en ese momento la necesidad de un nuevo tipo de control que fuera versátil, veloz y más potente. Durante el proceso de trabajo, este grupo de personas conseguirían patrocinadores financieros, y comenzarían una nueva empresa, Modicon (Modular Digital Controller), que posteriormente llegaría a ser adquirida por Schneider Electric que hasta el día de hoy aun la poseen. En 1968, Modicon y Bedford trabajarían hasta crear el dispositivo que buscaban, a este le llamaron PC (tomo el nombre de PLC hasta en 1980, con el surgimiento de las computadoras personales que también se llamarían PC), y el nombre o número del modelo específico fue "084", ya que era el octagésimo cuarto proyecto desarrollado por Bedford Associates. Este proyecto tenía entre sus primeros clientes a GM Hydramatic, una división de General Motors, que requerían de un controlador de estado sólido como reemplazo electrónico a sus sistemas de relevadores cableados. El producto satisfacía tanto a GM que pagaron una buena suma de dinero a sus proveedores, \$1millon, que significo adentrarse a la industria. (Brusso, 2018)

3.5.4.2 Richard Morley

Richard "Dick" Morley (1932-2017), a quien vemos en la figura 5, fue un ingeniero mecánico nacido en Clinton, Massachusetts y formado en el Massachusetts Institute of Technology. A Morley se le considera el "padre del PLC", ya que a él no le gustaba que se lo considerara como

el inventor de estos, el argumentaba que había muchas personas trabajando para realizar este tipo de dispositivos, y que su invención se debió a que muchos reclamaban esa solución. Los aportes y liderazgo de Morley para la creación del "084" fueron sumamente relevantes ya que esto fue el inicio de la automatización. Después del éxito del "084", Morley y su equipo siguieron trabajando durante unos años, y llegaron a producir el "184" que corregía errores de la versión anterior, y la compañía Modicon era un éxito total hasta que se vendió en 1977 a Gould Electronics y después a Schneider Electric, que todavía posee la marca hoy. Morley siguió laborando como ingeniero, autor y orador. Se estima que creó más de cien compañías y veinte patentes, además fue reconocido en varias ocasiones por sus trabajos y avances de ingeniería, que impulsaron la automatización. (Dunn, 2008)



Figura 5. Richard Morley

Fuente: (Brusso, 2018)

3.5.4.3 Estructura

Los PLCs son dispositivos versátiles que se pueden encontrar en variedad de diseños dependiendo los requerimientos del proceso, por lo cual su construcción física puede variar entre compacta y modular, sin embargo, sin importar de que tipo sea, existen tres partes principales que todos los PLC tienen de una forma u otra, que son:

- CPU: Es la unidad de procesamiento encargada de realizar las operaciones lógicas matemáticas necesarias para que el PLC cumpla las funciones que se le programen. Su funcionamiento interno se da a base de microprocesadores y componentes electrónicos.
- Fuente de alimentación: Provee la energía necesaria para el funcionamiento correcto del PLC y todos los módulos que se puedan acoplar a este. La magnitud y tipo de

voltaje lo definen cada fabricante, sin embargo, internamente trabajan con pequeños voltajes DC para los dispositivos electrónicos.

- Módulo de entradas y salidas: Este módulo permite recibir señales de entrada de los distintos periféricos que se involucran en el proceso para la toma de decisiones del PLC, y poder establecer señales de salida que actúen de acuerdo con estos parámetros según la programación establecida. Las señales de entradas y salidas pueden ser tanto digitales como analógicas, y estas se relacionan con los sensores y actuadores del proceso.

Adicionalmente, pueden existir otros módulos con funciones específicas, que se acoplan al PLC, por ejemplo, módulos de comunicación, de IO Link, para encoders, de expansión, entre otros. En la figura 6, podemos ver un PLC del tipo modular, de la marca ABB.



Figura 6. PLC Modular de ABB

Fuente: (*Programmable Logic Controllers PLCs* | ABB, 2015).

3.5.4.4 Estándares

Los fabricantes de PLC que buscan estar certificados por las organizaciones internacionales y cumplir todas las normativas industriales, están obligados a cumplir con estándares establecidos por la Comisión Electrotécnica Internacional, más conocida por sus siglas en inglés IEC, en su numeral 61131. Bhakhar Rikin (2015) nos plantea que este estándar busca establecer los parámetros mínimos que deben cumplir los PLC, en cuestiones de funcionalidad, construcción, seguridad, programación, periféricos y en sus características electromecánicas.

El estándar 61131, está dividido en varias secciones o numerales como siguen:

- 61131-1: Información General. Brinda definiciones de terminología, conceptos básicos de funcionamiento y características de los PLCs.
- 61131-2: Requisitos de equipo y sobre las pruebas de verificación. Describe las condiciones normales de servicio de los PLC en cuestiones de clima y temperatura, almacenaje, vibraciones, compatibilidad eléctrica, entre otras.
- 61131-3: Lenguajes de programación. Se definen cinco lenguajes de programación que serán mencionados más adelante.
- 61131-4: Directrices sobre selección, instalación y mantenimiento de PLC.
- 61131-5: Sobre la comunicación con otros dispositivos según la especificación de mensajería de fabricación (MMS - Manufacturing Message Specification), por el estándar IEC 9506.
- 61131-6: Seguridad funcional o *Functional Safety*. Especifica los requisitos para un PLC y sus periféricos asociados, como se define en la Parte 1, que está destinado a ser utilizado como el subsistema lógico de un sistema eléctrico / electrónico / electrónico programable (E / E / PE) relacionado con la seguridad. El objetivo es establecer y describir los elementos del ciclo de vida de seguridad de un FS-PLC, en armonía con el ciclo de vida de seguridad general.
- 61131-7: Programación de control difuso. Define elementos básicos de programación para el control de lógica difusa, un sistema matemático que analiza los valores de entrada analógica en términos de variables lógicas que toman valores continuos entre 0 y 1, en contraste con la lógica clásica o digital, que opera en valores discretos de 1 o 0 (verdadero o falso, respectivamente).
- 61131-8: Directrices para la implementación de lenguajes de programación de PLC definidos en la Parte 3.
- 61131-9: Interfaz de comunicación digital de una sola gota para sensores y actuadores pequeños (SDCI, comercializado como IO-Link)
- 61131-10: Formato de intercambio XML abierto de PLC para la exportación e importación de proyectos IEC 61131-3

3.5.4.5 Programación y Estándar IEC 61131-3

Hoy día existen una gran cantidad de lenguajes de programación para software, y cada año se van creando más y diferentes lenguajes, por lo que sería lógico pensar que la programación

de los PLC estuviera relacionada con estos. O también sería lógico pensar que cada fabricante de PLC tiene su propio lenguaje de programación exclusivo. Sin embargo, gracias al estándar 61131, mencionado previamente, en su numeral tres, se determina que los PLCs deben de poderse programar en al menos uno de los cinco lenguajes determinados, que son: LD, FBD, ST, IL y SFC. En los siguientes párrafos daremos una breve descripción de estos, basándonos en Hanssen (2015) y Ramanathan (2015).

A. Diagramas de Escalera (LD, Ladder Diagram)

Este es el lenguaje de programación más utilizado en los PLC desde sus inicios, esto debido a que es gráficamente similar a los diagramas de circuito eléctrico. Es un lenguaje gráfico de bajo nivel que fue diseñado para reemplazar los circuitos lógicos de relé cableados y recibe su nombre de escalera por la estructura de programación con dos líneas verticales llamadas rieles, que están conectadas por un peldaño horizontal llamado circuito, donde cada peldaño consta de una o más condiciones de entrada que ejecuta una instrucción de salida o una condición de entrada que ejecuta una o más instrucciones de salida. Normalmente las condiciones de entrada se denotan con símbolos de contacto y las instrucciones de salida se denotan con símbolos de bobina. El diagrama de escalera se ejecuta de izquierda a derecha y de arriba a abajo, el renglón 1 se ejecutará de izquierda a derecha y luego el renglón 2 se ejecutará de manera similar.

Entre sus ventajas encontramos que es de fácil construcción y que por su similitud con los diagramas eléctricos es sencillos para los técnicos de mantenimiento, que no tienen un conocimiento profundo en lenguajes de programación, leer, escribir y solucionar problemas de este lenguaje.

Entre sus desventajas podemos mencionar que, si el programa se hace muy grande, se hace difícil de leer y la resolución de problemas consume más tiempo. Además, no es fácil controlar una aplicación usando el diagrama de escalera cuando ocurren múltiples eventos al mismo tiempo.

B. Diagrama de bloques de funciones (FBD, Function Block Diagram)

Este es uno de los lenguajes de programación más utilizados en los PLCs. Es un lenguaje gráfico que se origina en el campo del procesamiento de señales, y los componentes usados para la programación en FBD se conectan precisamente con señales, que se representan con

líneas de conexión verticales u horizontales. Un bloque de funciones es un bloque rectangular que recibe la entrada en el lado izquierdo del bloque y especifica la salida en el lado derecho del bloque. El nombre del bloque de funciones se muestra dentro del bloque y el nombre de la instancia del bloque de funciones se escribe justo encima del bloque. Los nombres de las entradas se muestran en los puntos de entrada y los nombres de las salidas se muestran en los puntos de salida.

En FBD, los bloques gráficos se usan para describir los elementos del programa y estos bloques son reutilizables en el mismo proyecto o también se pueden usar en otros proyectos. Se utiliza en varias ocasiones para definir el flujo de señales y el intercambio de datos de un programa de control.

Una ventaja de este lenguaje es que se presta mucho para la reutilización de código sin necesidad de llamar funciones. Entre sus desventajas podríamos mencionar que puede ser confuso para la lectura de personas ajenas al proyecto, o inexpertas en la materia.

C. Texto estructurado (ST, Structured Text)

Este es un lenguaje de programación no tan común, sin embargo, su implementación es trascendental para programadores experimentados que buscan programar de manera eficiente y minimalista. La programación de texto estructurado es más flexible en comparación con lenguajes gráficos. El texto estructurado es un lenguaje textual de alto nivel que se puede comparar con C o Pascal. Su sintaxis se basa en hacer declaraciones que se pueden usar para asignar valores a variables, construir funciones y bloques de funciones. En el texto estructurado, es posible tener más de una declaración en una sola línea separada con punto y coma. Una declaración también puede tener variables, expresiones, palabras clave y operadores. Además, las condiciones como las declaraciones IF y CASE y las declaraciones iterativas como los bucles FOR, DO y WHILE-DO se pueden usar en el programa de texto estructurado. Estas características, le dan un valor agregado y una dinámica diferente a la programación de los PLCs, además el texto estructurado ayuda a satisfacer la creciente complejidad del PLC y a formular algoritmos complejos.

La gran ventaja del texto estructurado es que es fácil dividir un programa complejo en pequeñas porciones de código, lo que hará que la programación sea menos propensa a errores y fácil de solucionar, además proporciona un mejor manejo y clasificación de datos.

Mientras que su desventaja es que puede ser difícil de aprender, comprender e implementar para personas que no están acostumbradas al código.

D. Lista de instrucciones (IL, Instruction List)

Este lenguaje es el menos utilizado a la fecha, y en la última actualización del estándar en 2013, la IEC desalienta el uso de este lenguaje. La Lista de instrucciones es un lenguaje textual simple de bajo nivel que se compone de una cadena de instrucciones, este se puede comparar con el lenguaje de nivel ensamblador y también se puede convertir a códigos de lenguaje de máquina. El lenguaje de programación de lista de instrucciones también se denomina lenguaje orientado a la línea. En este lenguaje, cada línea consta de una sola instrucción y la siguiente instrucción se especifica en la línea siguiente. Una instrucción consiste en una etiqueta que es opcional seguida de dos puntos, operador o función con modificadores opcionales y operandos. Si una instrucción tiene más de un operando, se separa con una coma.

Entre sus ventajas podemos mencionar que la lista de instrucciones usa menos espacio de memoria en comparación con lenguajes gráficos y la ejecución del programa también es rápida. Sin embargo, entre las desventajas podemos mencionar varias, por ejemplo, que la conversión de la lista de instrucciones a otros idiomas es muy difícil, que la semántica del lenguaje no está bien definida y que no es adecuada para proyectos complejos, ya que es difícil leer y entender el flujo del programa, además de solucionar los problemas. También, los programas de la lista de instrucciones son propensos a errores de tiempo de ejecución y pueden causar bucles infinitos u operaciones aritméticas ilegales. El personal de soporte debe estar capacitado específicamente en el lenguaje de la lista de instrucciones, algo que no es para nada práctico, especialmente cuando hay otros idiomas que pueden abordar las mismas aplicaciones.

E. Graficas de funciones secuencial (SFC, Sequential Function Charts)

SFC es un lenguaje gráfico de alto nivel para especificar el comportamiento secuencial. Las gráficas de funciones secuenciales tienen muchas similitudes con "Grafcet". Consta de pasos que se dibujan como bloques rectangulares que especifican las fases de un proceso de control. Los pasos del proceso se conectan entre sí como si fueran diagramas de flujo y se navega a través de estos con las transiciones que vienen siendo las condiciones del programa. Cuando la condición de transición es verdadera, el paso actual se volverá inactivo y el siguiente paso estará activo.

El lenguaje SFC puede integrarse con otros lenguajes de programación del estándar 61131-3. La graficas de funciones secuenciales representan los principales estados de un proceso de control, el cambio de estados y la razón detrás de él, por lo que es fácil relacionar el proceso, con la programación.

La principal ventaja de los gráficos de función secuencial es la progresión secuencial de los pasos activos que ayudarán a mejorar el rendimiento del PLC y también ayudarán a identificar fácilmente las áreas problemáticas para la resolución de problemas. Cuando un paso está activo, puede realizar alguna acción. Entre sus desventajas podemos mencionar que puede alargarse innecesariamente o su poca versatilidad para condiciones de baja relevancia.

F. Otros aspectos del estándar 61131-3

Además de hablar sobre los lenguajes estandarizados, la norma 61131-3 establece otros parámetros relacionados con la programación. Mencionamos algunos de ellos a continuación, tomando de base el documento de (Hanssen, 2015)

- Tipos de datos: Se utilizan para definir el tipo de cualquier parámetro utilizado. La implementación forzada de tipos de datos evita errores en el momento de ejecución. Los tipos de datos comunes son Boolean, Integer, Real, Byte, Word, String, Date, Time_of_Day y entre otros. También, haciendo uso de los tipos mencionados previamente, los programadores son capaces de hacer tipos de datos propios que ayuden al desarrollo del proceso en cuestión.
- Variables: En todo tipo de programación existen variables que se utilizan para apuntar a valores, ya sean estados de E/S, estados de memoria, parámetros, etc. El uso de variables hace que el proceso de programación sea más rápido y eficiente, además permite que hasta cierto punto podemos aislar nuestra programación de los componentes físicos del proyecto. Un dato importante es que las variables se limitan a la unidad organizativa en la que se declaran.
- Unidades de organización del programa. Los PLC ejecutan su labor por tareas, que invocan la ejecución de bloques de software que conforman el proyecto PLC. Estos bloques de software se denominan Unidades de Organización de Programas. Se pueden dividir en programas, funciones y bloques de función. Los programas son las unidades de organización de programas de más alto nivel y se pueden escribir en cualquiera de los lenguajes de programación IEC 61131-3. Cada programa es una red

Este entorno de desarrollo de software unificado ofrece un alto nivel de eficiencia en todo el proyecto de automatización general. En comparación con las plataformas anteriores, TIA Portal ayuda a ahorrar tiempo y costos significativos para la ingeniería del software de un proyecto de automatización. El diseño de TIA Portal se basa en una arquitectura avanzada de software orientado a objetos y en una gestión centralizada de datos, que proporciona una coherencia de datos perfecta al evitar automáticamente los errores de entrada de datos. Los usuarios pueden encontrar fácilmente bloques de datos y programas en todo el proyecto de automatización utilizando un sistema de referencia cruzada de todo el proyecto, lo que reduce en gran medida el tiempo para solucionar problemas y depurar un proyecto de software típico.

3.5.5 SENSORES

El proyecto por realizar en conjunto con esta investigación requiere de varios tipos de sensores, conoceremos lo más relevante sobre algunos de ellos en las siguientes páginas.

3.5.5.1 *Sensores Capacitivos*

Son una gama de sensores que reaccionan ante metales y no metales que se aproximan a la superficie activa del sensor. La distancia de conexión respecto a un determinado material es tanto mayor cuanto más elevada sea su constante dieléctrica. Muchos tipos de sensores se basan en este principio, podemos encontrar sensores para detectar y medir proximidad, presión, posición y desplazamiento, fuerza, humedad, nivel de fluido y aceleración. (Moermond, 2017)

Los sensores capacitivos actúan como capacitores. Una placa metálica en la cara de detección del sensor está conectada eléctricamente a un circuito oscilador interno y el objetivo a detectar actúa como la segunda placa del condensador. A diferencia de un sensor inductivo que produce un campo electromagnético, un sensor capacitivo produce un campo electrostático.

La capacidad externa entre el objetivo y la placa del sensor interno forma parte de la capacidad de retroalimentación en el circuito del oscilador. A medida que el objetivo se acerca a los sensores, las oscilaciones aumentan hasta que alcanzan un umbral y activan la salida.

La sensibilidad o el nivel de umbral del oscilador de estos sensores puede ajustarse dependiendo de la aplicación que se la vaya a dar a este. El ajuste de sensibilidad se puede hacer ajustando un potenciómetro, usando un botón de aprendizaje integral o de forma

remota usando un cable de aprendizaje. Si el sensor no tiene un método de ajuste, entonces el sensor debe moverse físicamente para detectar el objetivo correctamente. El aumento de la sensibilidad provoca una mayor distancia de operación al objetivo.

3.5.5.2 Encoders

Un encoder o codificador rotatorio, es un dispositivo sensor que proporciona retroalimentación. Funciona como un transductor que convierte la posición angular de un eje a un código digital o señal eléctrica que puede ser leída por algún tipo de dispositivo de control en un sistema de control de movimiento, como un contador o un PLC. La señal de retroalimentación enviada se puede usar para determinar la posición, el recuento, la velocidad o la dirección. El dispositivo de control puede usar esta información para enviar un comando para una función en particular. Existen dos tipos de codificador: absoluto e incremental. (K. Lee et al., 2020)

El tipo absoluto utiliza un disco de vidrio óptico en el que están dispuestos círculos concéntricos (pistas); cada pista tiene una secuencia alterna de sectores transparentes y sectores mate obtenidos por depósito de una película metálica. Se emite un haz de luz en correspondencia con cada pista que es interceptada por un fotodiodo o un fototransistor ubicado en el lado opuesto del disco. Mediante una disposición adecuada de los sectores transparentes y mate, es posible convertir un número finito de posiciones angulares en datos digitales correspondientes. El número de pistas determina la longitud de la palabra y, por lo tanto, la resolución del codificador.

Los codificadores incrementales tienen un uso más amplio que los codificadores absolutos, ya que son más simples desde el punto de vista de la construcción y, por lo tanto, más baratos. Al igual que el absoluto, el codificador incremental consiste en un disco óptico en el que están dispuestas dos pistas, cuyos sectores transparentes y mate (en igual número en las dos pistas) están mutuamente en cuadratura. Sin embargo, las señales incrementales no indican una posición específica, solo que la posición ha cambiado. Los codificadores absolutos, por otro lado, usan una "palabra" diferente para cada posición, lo que significa que un codificador absoluto proporciona tanto la indicación de que la posición ha cambiado como una indicación de la posición absoluta del codificador.

Los codificadores tienen su mayor aplicación controlando electrónicamente la posición de un eje giratorio. En la figura 8 vemos un encoder del tipo absoluto de la marca Rockwell, que se acopla al eje de un motor.



Figura 8. Encoder Rockwell

Fuente: (Rockwell Automation, 2020)

3.5.5.3 Sensores Ultrasónicos

Los sensores ultrasónicos miden la distancia mediante el uso de ondas ultrasónicas. Estos emiten onda ultrasónica y luego recibe la misma onda después de que esta reboto en un objeto. Los sensores ultrasónicos miden la distancia al objetivo haciendo uso de la medida de tiempo entre la emisión y la recepción. La ecuación 1 describe como se realiza el cálculo de la distancia en un sensor ultrasónico.

$$L = \frac{1}{2} * T * V$$

Donde: L=Distancia

T= Tiempo entre emisión y recepción de onda

V= Velocidad del Sonido

Ecuación 1. Cálculo de distancias con sensor ultrasónico

Fuente: (Zhud et al., 2018)

El uso de estos sensores es altamente recomendado por su confiabilidad y versatilidad sobresaliente. Estos poseen la capacidad de hacer mediciones con una precisión milimétrica en las tareas más complejas que involucran la detección de objetos o la medición de nivel. Estos sensores son extremadamente robustos, por lo que pueden trabajar bajo condiciones difíciles sin problemas, aun bajo circunstancias de mucha suciedad, ya que la superficie del

sensor se limpia por vibración. Los sensores ultrasónicos han demostrado su fiabilidad y resistencia en prácticamente todos los sectores industriales. (Pepperl+Fuchs, 2020)

3.5.5.4 Celdas de Carga

Una celda de carga es un transductor que nos permite obtener una señal eléctrica proporcional a la fuerza que se aplica sobre ellos. Estas reciben magnitudes de fuerza como tensión, compresión, presión o par y las convierten en señales eléctricas que se puede medir, registrar, amplificar y estandarizar. A medida que se aumenta o reduce la fuerza aplicada a la celda de carga, la señal eléctrica cambia proporcionalmente. (Ho et al., 2018)

El funcionamiento interno de una celda de carga difiere según la celda de carga que se elija. Algunos tipos de celdas de carga son:

- Células de carga hidráulica: Trabajan en base a un cambio de presión en el fluido interno. Cuando una carga actúa sobre la superficie de la celda de carga se transfiere a un pistón que a su vez comprime un fluido de relleno confinado dentro de una cámara. A medida que aumenta la fuerza, aumenta la presión del fluido hidráulico. La salida es lineal y relativamente no se ve afectada por la cantidad de fluido de relleno o por su temperatura. Las aplicaciones típicas de la celda de carga hidráulica incluyen el pesaje de tanques, depósitos y tolvas. Para obtener la máxima precisión, el peso del tanque debe obtenerse ubicando un sensor de fuerza en cada punto de soporte y sumando sus salidas.
- Células de carga neumática: También funcionan según el principio de equilibrio de fuerza. Estos dispositivos utilizan múltiples cámaras de amortiguadores para proporcionar una mayor precisión que un dispositivo hidráulico. Las celdas de carga neumáticas a menudo se usan para medir pesos relativamente pequeños en industrias donde la limpieza y la seguridad son la principal preocupación. Celda de carga de enlace de tensión de alta capacidad Celda de carga en miniatura
- Celda de carga de galgas extensométricas: Son un tipo de celdas de carga donde se coloca un conjunto de galgas extensométricas dentro de la carcasa de la celda de carga para convertir la carga que actúa sobre ellas en señales eléctricas. El peso en la celda de carga se mide por la fluctuación de voltaje causada en la galga extensométrica cuando sufre deformación. Los medidores están unidos a una viga o miembro

estructural que se deforma cuando se aplica peso. Las celdas de carga modernas tienen 4 galgas extensométricas instaladas dentro de ellas para aumentar la precisión de la medición. Dos de los medidores generalmente están en tensión, y dos en compresión, y están conectados con ajustes de compensación. Cuando no hay carga en la celda de carga, las resistencias de cada galga extensométrica serán las mismas. Sin embargo, cuando está bajo carga, la resistencia del medidor de deformación varía, causando un cambio en el voltaje de salida. El cambio en el voltaje de salida se mide y se convierte en valores legibles utilizando un medidor digital. Los sensores de carga de galgas extensométricas son los más utilizados.

- Células de carga inductivas y de reluctancia: Ambos dispositivos responden al desplazamiento proporcional al peso de un núcleo ferromagnético. Uno cambia la inductancia de una bobina solenoide debido al movimiento de su núcleo de hierro; el otro cambia la reluctancia de un espacio de aire muy pequeño.
- Células de carga magnetostrictivas: El funcionamiento de este sensor de fuerza se basa en el cambio en la permeabilidad de los materiales ferromagnéticos bajo tensión aplicada. Está construido a partir de una pila de laminaciones que forman una columna de carga alrededor de un conjunto de devanados de transformador primario y secundario. Cuando se aplica una fuerza, las tensiones causan distorsiones en el patrón de flujo, generando una señal de salida proporcional a la carga aplicada. Este es un sensor resistente y continúa utilizándose para medir la fuerza y el peso en laminadores y laminadores.

3.5.6 ACTUADORES

El proyecto por realizar en conjunto con esta investigación requiere de varios tipos de actuadores, conoceremos lo más relevante sobre algunos de ellos en las siguientes páginas.

3.5.6.1 *Servomotores*

Los motores eléctricos son dispositivos electromecánicos que transforman la energía eléctrica en energía mecánica, con el fin de aprovechar la rotación e impulsar el funcionamiento de una máquina. Esto ocurre por la rotación de campos magnéticos alrededor de las bobinas del motor. (Chapman et al., 2012)

Desde el momento que se empezaron a emplear los robots, se sabía que se necesitaban movimientos precisos, confiables y seguros para sus articulaciones, es aquí donde los servomotores encuentran algunos de sus mayores aplicaciones.

Un servomotor, también conocido como servo, es un tipo de motor de corriente continua que utiliza una retroalimentación para corregir su salida. Estos hacen uso en su interior de un *encoder*, conocido como decodificador, que convierte el movimiento mecánico (giros del eje) en pulsos digitales interpretados por un controlador de movimiento. También utilizan un *driver* o controlador, que en conjunto forman un circuito para comandar posición, torque y velocidad. (Song et al., 2015)

La fuente de alimentación del servomotor se detiene cuando el eje del motor está en la posición deseada. Si no está en la posición deseada, se gira en la dirección adecuada. La velocidad del motor es proporcional a la diferencia entre la posición deseada y la actual. Estos poseen un mejor desempeño y precisión frente a accionamientos mediante convertidores de frecuencia, ya que éstos no nos proporcionan control de posición y resultan poco efectivos en bajas velocidades. Podemos ver un servomotor de la marca ABB en la figura 9.



Figura 9. Servomotor ABB

Fuente: (ABB, 2020)

Los servos vienen en muchos tamaños y en tres tipos básicos: rotación posicional, rotación continua y lineal.

- Servo de rotación posicional: Estos son los más comunes y populares. Están limitados mecánicamente a girar tan solo un cuarto de vuelta o media vuelta, para proteger el decodificador. Se encuentran fácilmente en robots y automóviles.

- Servomotor de rotación continua: La gran diferencia de estos con respecto a la categoría anterior, es que estos pueden girar de manera indefinida. La señal de control, en lugar de establecer la posición estática del servo, se interpreta como la dirección y la velocidad de rotación. El rango de comandos posibles hace que el servo gire en el sentido de las agujas del reloj o en sentido contrario a las agujas del reloj, a una velocidad variable, dependiendo de la señal de comando. Se encuentran fácilmente en antenas o accionamiento en un robot móvil.
- Servo lineal: Es similar al de rotación posicional, pero con engranajes adicionales (generalmente un mecanismo de piñón y cremallera) para cambiar la salida de circular a adelante y atrás. Estos son poco comunes.

Los servos toman comandos de una serie de pulsos enviados desde el controlador. Un pulso es una transición de bajo voltaje a alto voltaje que se mantiene alta por un corto tiempo y luego regresa a baja. Comúnmente "bajo" se considera tierra o 0 voltios y "alto" es el voltaje de la batería o fuente DC.

Dentro de la robótica, los servomotores son especialmente útiles, ya que su aplicación ofrece múltiples beneficios. Son pequeños, potentes, fácilmente programables y precisos. Sin embargo, lo más importante es que permiten una repetibilidad de movimiento casi perfecta.

3.5.6.2 *Transmisión de Potencia*

En la robótica, hay una peculiaridad en a la manipulación de sus extremidades, ya que en la mayoría de los casos se requieren bajas velocidades con altos pares. En general, es complicado encontrar motores, e incluso servomotores que proporcionen esta característica, ya que generalmente proporcionan altas velocidades con bajos pares en condiciones de funcionamiento óptimas. Es aquí donde se utilizan mecanismos de transmisión de potencia para optimizar la transferencia de potencia mecánica del motor a la articulación.

Existen varias opciones para solucionar esta problemática, e incluso se pueden mezclar métodos de transmisión dependiendo de las exigencias del proyecto. La elección de la transmisión depende de los requisitos de potencia, el tipo de movimiento deseado y la asignación del motor con respecto a la articulación. De hecho, la transmisión permite que las salidas del motor se transformen tanto cuantitativamente (velocidad y par) como cualitativamente (un movimiento de rotación alrededor del eje del motor en un movimiento

de traslación de la articulación). Suponiendo transmisiones rígidas sin reacción, las relaciones entre las fuerzas y velocidades de entrada y de salida son puramente proporcionales.

Las siguientes transmisiones se utilizan generalmente para robots industriales:

- Engranajes: El objetivo de estos es modificar el movimiento de rotación, al cambiar el eje de rotación. Existen de diferentes tipos, por su posicionamiento pueden ser rectos, perpendiculares, con cremallera o con tornillo sin fin.
- Tornillos de avance: Convierten el movimiento de rotación del motor en movimiento de traslación, según sea necesario para el accionamiento de las articulaciones prismáticas
- Bandas o cadenas: Son equivalentes desde un punto de vista cinemático y se emplean para ubicar el motor de forma no concéntrica al eje de la articulación accionada. Normalmente las bandas se usan en aplicaciones que requieren altas velocidades y bajas fuerzas, debido a que sufren daños por estrés fácilmente. Por otro lado, las cadenas se usan en aplicaciones que requieren bajas velocidades, ya que su gran masa puede inducir vibraciones a altas velocidades.

Las características mecánicas del motor utilizado para un sistema de accionamiento a veces pueden permitir una conexión directa del motor a la junta sin el uso de ningún elemento de transmisión (accionamiento directo). De este modo, se eliminan los inconvenientes debidos a la elasticidad de la transmisión y la reacción, aunque se requieren algoritmos de control más sofisticados, ya que la ausencia de transmisión no permite que se descuiden los términos de acoplamiento no lineal en el modelo dinámico. El uso de sistemas de accionamiento de accionamiento directo aún no es popular para los manipuladores industriales, en vista del costo y el tamaño de los motores, así como de la complejidad del control.

3.5.6.3 *Relevadores*

Un relevador o relé, es un dispositivo electromagnético que se usa como interruptor en circuitos eléctricos. Su principio de funcionamiento se basa en cerrar un circuito eléctrico por medio de un juego de contactos, al activar una bobina y un electroimán. Su principal labor es la de activar cargas de alto voltaje y/o alto consumo de corriente, al accionarse su bobina que forma parte de un circuito de control de bajo voltaje.

Un tipo de relevadores muy utilizados, son los relevadores de estado sólido que utilizan semiconductores como tiristores y/o transistores para cerrar el circuito eléctrico. Las aplicaciones para estos son diferentes, ya que se emplean cuando se requiere un uso continuo y múltiples conmutaciones por minuto, algo que en un relé convencional generaría un serio desgaste mecánico. Es necesario mencionar que los relés estado sólido permiten velocidad de conmutación muy superior a la de los relés electromecánicos, ya que no poseen partes móviles, solo semiconductores. Estos vienen siendo un producto mejorado, pero mucho más caro económicamente, por lo que el tipo de uso que se le dará definirá cual es la mejor opción para el comprador.

3.6 PROCESOS DE ELABORACIÓN DE UN ROBOT

Para la elaboración de un robot, se deben tomar en cuenta distintos aspectos, tales como el sistema mecánico, el sistema de control y la logística que este conlleva. En este capítulo se desglosarán los aspectos más relevantes a la hora de la toma de decisión de la fabricación de una estructura robótica según su función.

3.6.1 MATERIALES

(Lin et al., 2018) no expone que:

“Para la reducción de peso en la industria automotriz, la cantidad de chapa de acero con bajo contenido de carbono utilizada en la fabricación de carrocerías ha disminuido. Metales ligeros como aleación de aluminio y la aleación de magnesio ha reemplazado muchas piezas de automóviles fabricado a partir de chapa de acero de bajo carbono. Las aleaciones de aluminio tienen muchas propiedades mecánicas sobresalientes, como resistividad a la corrosión, alta relación peso-resistencia y recuperabilidad.”

(Lin et al., 2018) da a resaltar como los tiempos han cambiado y como se busca modificar las estructuras metálicas de acero a metales más livianos. El acero, debido a su alta resistencia y durabilidad, ha sido por mucho tiempo el metal más usado. Ahora que se han encontrado nuevos métodos para unir metales tales como el aluminio y el magnesio, estos se han convertido en los metales a utilizar. En siguiente tabla se podrá apreciar una comparación entre las propiedades físicas del acero y el aluminio.

Tabla 3. Comparación de Metales

Propiedad	Aluminio	Acero
Esfuerzo ($\frac{N}{mm^2}$)	250	400
Elasticidad E, Modulo de Young (Mpa)	70,000	210,000
Densidad ($\frac{g}{cm^3}$)	2.7	7.8
Punto de fusión ($^{\circ}C$)	660	1500
Rango de temperatura de trabajo ($^{\circ}C$)	-250 a 150	-50 a 500
Coeficiente de expansión lineal $\times 10^{-6}/^{\circ}C$	24	12
Resistente a la corrosión	Si	Si
Mecanizado	Fácil	Fácil
Maleable	Si	Si
Costo	Barato	Caro

Fuente: Propia

3.6.2 SOLDADURA

Las técnicas de soldadura son de gran importancia ya que se encuentra en casi todos los mecanismos que utilizamos a diario. (Jeffus, 2004) nos informa que "La soldadura se utiliza ampliamente en la fabricación de automóviles, equipos agrícolas, electrodomésticos, componentes de computadoras, equipos de minería y equipos de construcción. Los equipos ferroviarios, hornos, calderas, unidades de aire acondicionado y cientos de otros productos que utilizamos en nuestra vida cotidiana también se unen mediante algún tipo de proceso de soldadura" (pag 5).

Dentro de los cuales encontramos el tipo de soldadura TIG o también denominando GTA que utiliza un electrodo de tungsteno no consumible. (Jeffus, 2004) nos informa que "La soldadura GTA es el más limpio de todos los procesos de soldadura manual. Pero debido a que no se usa fundente para limpiar la soldadura en la soldadura GTA, toda la contaminación de la superficie, suca en forma de óxidos, aceite, suciedad y otras sustancias, debe limpiarse de la pieza bien soldada y del metal de aporte para que no contaminen la soldadura" (pag 9). Es por

esto por lo que la soldadura de tipo GTA o TIG, como se conoce en el campo, es muy utilizada por su acabado.

Otro tipo de soldadura muy común se encuentra la MIG/MAG o GMA el cual utiliza un alambre de electrodo sólido que se alimenta constantemente desde un carrete, a través del conjunto del cable de soldadura y hacia afuera a través de la pistola. Así como nos indica (Jeffus, 2004), la soldadura GMA es extremadamente rápida y económica porque puede producir soldaduras largas rápidamente que requieren muy poca limpieza posterior a la soldadura.

Tabla 4 Ventajas Entre Soldadura MIG y TIG

	MIG	TIG
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor productividad • Es posible soldar en cualquier posición • Se reducen las veces del corte • Disminución de las discontinuidades del cordón 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta calidad de soldadura • Se puede soldar metales de espesor delgado • Soldadura más fuerte, as resistente a la corrosión • No hay necesidad de limpiar • El área de soldadura es muy visible

Elaboración: Fuente Propia

3.6.2.1 Aluminio

(Tehyo et al., 2018) nos informa como “El aluminio es uno de los metales de ingeniería más ligeros, habiendo relación resistencia / peso superior al acero. Los componentes

hecho de aluminio y sus aleaciones son vitales para la industria aeroespacial industria y son importantes en otras áreas del transporte y materiales estructurales.” Es por dicha razón que este material ha sido de vital importancia y relevancia en las estructuras robóticas. En este tipo de estructuras se ocupa de un material que sea de poca densidad pero que tenga una alta resistencia para lograr aguantar el peso que se le aplique a este. Mas aun, (Tehyo et al., 2018) también nos dice que:

La soldadura de aluminio y sus aleaciones es difícil debido a la alta conductividad térmica, alta solubilidad en hidrógeno, alta reactividad al oxígeno, etc. Todos estos Los factores limitan el uso de aleaciones de aluminio con soldadura por fusión. El método

más común utilizado para la soldadura de las aleaciones de aluminio es la soldadura por arco de tungsteno con gas (GTAW) también conocida como soldadura de gas inerte de tungsteno (TIG).

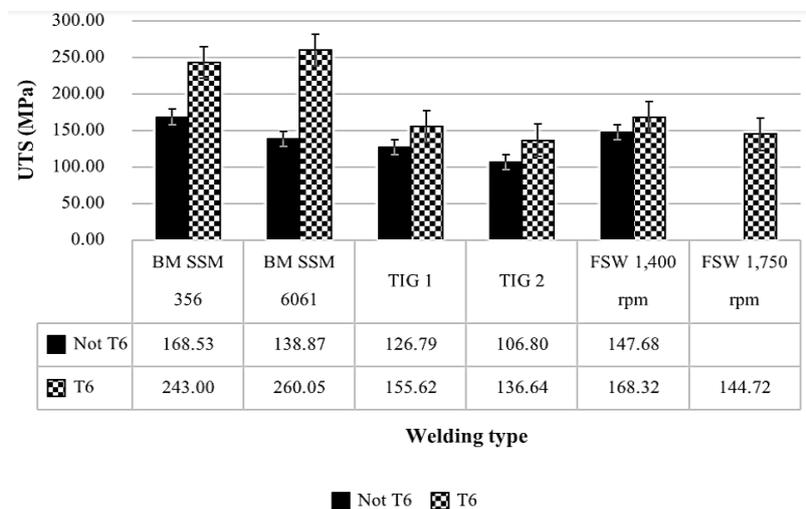


Figura 10. Prueba de Tensión en Soldadura, MPa

Fuente: (Tehyo et al., 2018)

En los estudios que realizaron en este artículo, se pueden ver las tensiones máximas que pueden aguantar diferentes tipos de soldadura en aluminio. Se puede notar como la soldadura de tipo TIG es de las más bajas en comparación con las demás. Aun así, nos da a conocer que esta puede llegar a obtener un máximo de 155.62 MPa con una soldadura de aleación de aluminio a través del T6 tratado térmicamente.

(Abbass & Raheef, 2018) también no da a conocer que “La soldadura por fricción y agitación (FSW) es un proceso de soldadura de estado sólido desarrollado por el instituto de soldadura en 1991 y ahora muy utilizado aumentando para unir aleaciones de aluminio para las cuales la soldadura por fusión a menudo es difícil.” Así como se ilustra en la tabla recopilada por (Tehyo et al., 2018), el proceso de soldadura por fricción y agitación es un proceso muy sólido y recomendable para la unión de estructurar de aluminio.

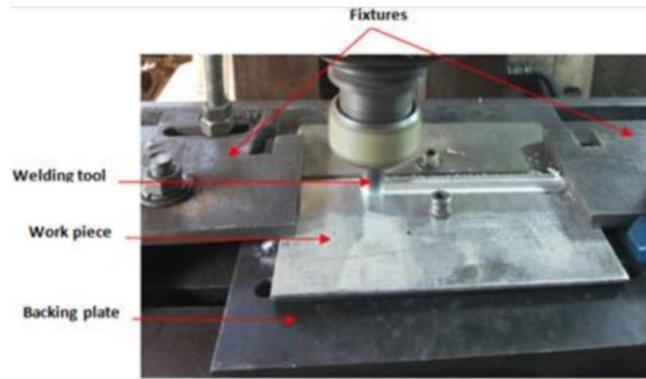


Figura 11. Sistema de abrazadera y fijación, herramienta de soldadura y pieza de trabajo

Fuente: (Abbass & Raheef, 2018)

3.6.3 IMPRESIÓN EN 3D

(León et al., 2019) nos da a conocer que “La fabricación aditiva (AM de Additive Manufacturing), también conocida generalmente como impresión 3D, permite la fabricación de objetos totalmente personalizados con un alto nivel de complejidad geométrica y con una importante reducción del tiempo y del coste de fabricación.” Con la ayuda de la impresión 3D, se pueden diseñar estructuras de una manera más fácil y económica. Por ejemplo, la fabricación de un modelo para fundición en madera requiere de tiempo y una persona especializada la cual cobra una cantidad considerable por el trabajo. Sin embargo, con un molde creado en un software CAD e impreso en 3D se pueden llegar a acortar los tiempos de fabricación al igual q sus costos.

Este método de fabricación está siendo utilizado en muchos aspectos en la industria. Por ejemplo, (Llanes-Cedeño et al., 2019) no da a conocer que:

Las fibras naturales como refuerzo de polímeros se usan en distintos lugares del mundo para la fabricación de autopartes debido a sus características de peso ligero, bajo costo y buenas propiedades mecánicas, atribuyendo la capacidad de fácil reciclaje y la reducción en desperdicios, como también la reducción de emisiones contaminantes gracias al alivianamiento en el peso del vehículo generando ahorro de combustible, contribuyéndose a las políticas ambientales a nivel mundial.

Debido las propiedades físicas de los diversos materiales que existen en el mercado, este tipo de fabricación se está tornando muy popular en la industria. Tal como se dice, en el área automotriz, es clave el uso de partes que sean livianas pero resistentes para evitar que la

carrocería llega a incrementar el peso del vehículo. La impresión 3D es un proceso que está revolucionando muchos aspectos de la industria. (Llanes-Cedeño et al., 2019) descubrieron en sus estudios que mediante la impresión 3D en área automotriz “se consiguió reducir los tiempos de fabricación, incluso en elementos que presentan complejidad geométrica para su desarrollo; esto permitió a las empresas manufactureras reducir tiempos de producción y costos, obteniendo ganancias económicas significativas en la producción en serie.”

3.6.3.1 Métodos De impresión

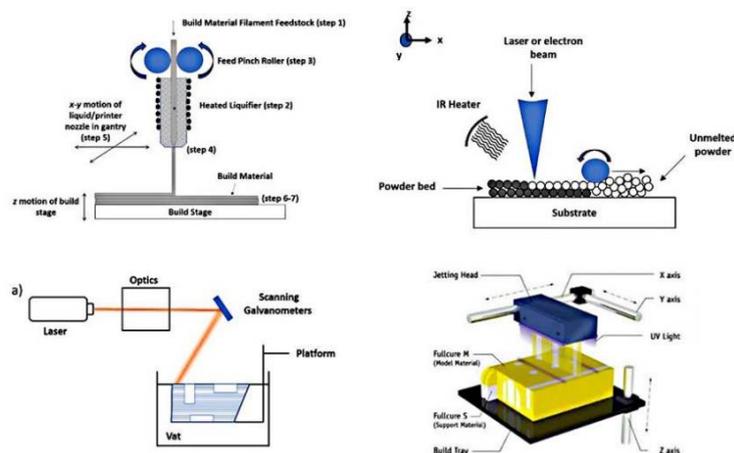


Figura 12. Procesos de Extrusión: Tipo Laser, SLA y Polyjet

(León et al., 2019)

Extrusión de material: Material extrusion (ME):

(León et al., 2019) nos informa como “este método utiliza el polímero en forma de filamento que se expulsa a través de una boquilla cuando se aplica presión constante. La zona de la boquilla está calefactada, lo que permite fundir el material y depositarlo sobre la plataforma de construcción a una velocidad constante.” Este método es el más reconocido ya que es el que se utiliza en muchas de las máquinas que se venden comercialmente. Este método es el más utilizada por su fácil a accesos a productos con los que se pueden trabajar al igual que la maquinaria a utilizar. Los materiales termoplásticos usados en FDM incluyen acrilonitrilo-butadienoestireno (ABS), acrilato–estireno-acrilonitrilo (ASA), nylon 12, policarbonato (PC), polifenilsulfona (PPSF / PPSU), polieterimida (PEI o ULTEM), ácido poliláctico (PLA) y poliuretano termoplástico (TPU) según (León et al., 2019).

Sinterizado/fusión selectiva de polímero en polvo: Selective Laser Sintering (SLS)

(León et al., 2019) nos presenta que “El sinterizado/fusión de polímero en polvo es uno de los procesos de fabricación aditiva en los que se utiliza una fuente térmica como el láser para inducir la fusión parcial o total de las partículas en polvo, utilizando un rodillo para depositar el polvo en cada capa.” La impresión 3D SLS lleva muchos años siendo una opción viable entre los ingenieros que se dedican al desarrollo de productos. Ya que este proceso tiene un muy bajo costo por pieza, un alto nivel de productividad y materiales accesibles, este proceso es ideal para una amplia variedad de aplicaciones.

Fotopolimerización - Vat Photopolymerization (VP) y Polyjet

(León et al., 2019) nos explica que “la estereolitografía se refiere específicamente a la fotopolimerización en cuba en la que las resinas foto curables se exponen al láser y se someten a una reacción química para volverse sólidas.” La fotopolimerización es un proceso fotoquímico de unión de pequeños monómeros en polímeros similares a las cadenas. Este proyecta una máscara que es toda la parte sólida del objeto en esa capa y el resto en negro endureciendo la parte que se requiere endurecer.

Finalmente vemos que en (León et al., 2019) no indica como:

“Polyjet es un procedimiento de fabricación aditiva utilizado en la creación de prototipos rápidos. Al igual que en SLA y DLP, Polyjet también utiliza fotopolímeros líquidos que se endurecen por exposición a un láser ultravioleta. El proceso es mucho menos complicado en comparación con la estereolitografía debido al hecho de que no se requiere el depósito de resina cuando se imprime el objeto.”

Las ventajas de la tecnología Polyjet son las siguientes:

- Su eficacia cuando se utiliza con materiales flexibles.
- Los objetos producidos no requieren un tratamiento adicional en un horno de ultravioleta
- Su eficacia cuando se utiliza para aplicaciones de alta resolución con propiedades geométricas complejas
- Objetos fabricados poseen superficies lisas resistentes al choque
- Su capacidad única de imprimir varios materiales simultáneamente.

3.6.3.2 Materiales y Sus Aplicaciones

“Para cualquier proceso de fabricación, incluidas las tecnologías de AM, la materia prima debe formarse en un estado compatible con el proceso en cuestión (por ejemplo, polvo, lámina, filamento, líquido)” (León et al., 2019). El material para utilizar en una impresión 3D va a depender del tipo de procesos que se quiere utilizar, al igual que las propiedades de cada material. A continuación, en la tabla 5, se pueden apreciar algunos materiales, sus propiedades físicas, al igual que algunas aplicaciones que se le pueden dar en la industria.

Tabla 5 Propiedades de los materiales termoplásticos para FDM

Material	Propiedades	Aplicaciones/Industria
ABS	Resistente y fuerte.	Automoción, aeroespacial, dispositivos médicos.
ASA	Resistencia mecánica y estabilidad UV.	Prototipos funcionales desde soportes y carcasas eléctricas hasta prototipos de automóviles y piezas de producción prácticas para uso en exteriores bajo el sol.
Nylon	Buena resistencia química, alta resistencia a la fatiga y alta resistencia al impacto.	Material ideal para aplicaciones que requieren componentes de protección contra impactos y alta resistencia a la fatiga, incluidas cubiertas y antenas, herramientas de producción personalizada, insertos de ajuste por fricción y ajustes a presión en las industrias automotriz y aeroespacial.
PC	Alta resistencia a la tracción y flexión.	Prototipos funcionales, herramientas y accesorios, moldes para las industrias automotriz y aeroespacial.
PPSF/PPSU	Excelente resistencia química y al calor y fuerza mecánica.	PPSF / PPSU puede soportar varios métodos de esterilización, incluido el óxido de etileno, autoclave y la radiación. Dispositivos médicos esterilizables, prototipos automotrices y herramientas para aplicaciones exigentes en una variedad de industrias.
PLA	Buena resistencia a la tracción y calidad de la superficie.	Ideal para modelos y prototipos que requieren detalles estéticos y ser respetuosos con el medio ambiente tanto para el hogar como para la oficina.
TPU	Excelente resistencia al desgarro y al desgaste, alto impacto, fuerza y dureza.	Flexibilidad excepcional (es decir alargamiento a la rotura) y resistencia a la corrosión para muchos productos químicos y aceites industriales comunes. Material altamente versátil con propiedades de caucho

		y plástico para una variedad de aplicaciones industriales.
--	--	--

Fuente: (León et al., 2019)

Las aplicaciones de la impresión 3D en los últimos años se han centrado en varios aspectos de la ciencia debido a las propiedades físicas que tienen cada uno de sus materiales. Dependiendo de su propiedad, es la aplicación que a este se le puede llegar a dar en la industria. Algunos de los campos en los que podemos encontrar diversos productos fabricados con este proceso se muestran a continuación:

- 1) Medicina y salud: El hecho de que determinadas partes del cuerpo humano puedan crearse con una impresora 3D se ha convertido en una realidad y el organismo es completamente aceptable. En otros campos profesionales como la prótesis y la odontología, puede haber más beneficios. No olvides la gran ventaja de poder realizar obras o sanitarios muy rápidamente.
- 2) Educación: En lo que respecta a la educación y la formación, el hecho de que sea posible crear copias exactas de conceptos muy abstractos ha mejorado enormemente la visualización y la comprensión.
- 3) Industrial: No hay duda de que, en el campo industrial, poder fabricar rápidamente piezas de diferentes materiales puede ahorrar mucho tiempo y dinero.
- 4) Arqueología: En este campo, la impresión 3D también es una gran ayuda y ventaja cuando puede replicar objetos reales sin complicados y laboriosos procesos de modelado, reconstrucción y otros.
- 5) Moda y tejidos: Una de las áreas donde también se utiliza la impresión 3D es la moda. Muchas empresas internacionales han utilizado impresoras 3D para fabricar calzado deportivo, ropa, bolsos, accesorios y joyas.
- 6) Comida y alimentación: Algunas impresoras pueden reemplazar ciertos procesos de cocción, e incluso el uso de la impresión 3D para hacer postres increíbles se ha convertido en una realidad.
- 7) Generalidades: En resumen, incluso en China, las impresoras 3D se pueden utilizar en diferentes áreas de nuestra vida, que tienen muchos usos. Es muy útil para hacer juguetes, copiar antigüedades, copiar proyectos arquitectónicos, etc.

3.7 ANTECEDENTES DE ROBOTIZACIÓN

Como se mencionó al inicio, con el desarrollo de la actual revolución industrial, la robótica ha sido un campo de la ingeniería que ha ido tomando cada vez más fuerza. Las empresas de todo el mundo han ido descubriendo y verificando los beneficios de implementar procesos robotizados. Sin embargo, los años nos han ido enseñando que hay trabajos que un robot no puede realizar, o que al menos necesita del apoyo de un humano para hacerlos. Lo que nos ha llevado a la conclusión de que el mejor punto posible, es aquel en el que los robots realicen las tareas donde el humano es ineficiente, y los humanos realicen tareas de análisis, de apoyo y de toma de decisiones que el robot (todavía) no puede llevar a cabo. Esto crea en las organizaciones un ambiente de trabajo eficiente y competente.

Otros factores importantes para el desarrollo de la robótica son la alta demanda de producción, los requerimientos de calidad y el constante cambio de los mercados globales; esto debido a que es imposible para las distintas industrias mantener el ritmo mientras utilizan métodos antiguos y poco eficientes. El procesamiento en masa es una de las claves de la industria 4.0, y la robótica y automatización han sido la mejor herramienta para llevar esto a cabo. (Goel & Gupta, 2020)

En los siguientes segmentos de este subcapítulo nos dedicaremos a brindar antecedentes de diferentes proyectos de robótica, que al igual que el que estamos desarrollando, buscan cambiar la manera en las que ciertas labores se han venido desarrollando.

3.7.1 ROBOT AUTÓNOMO PARA LA COSECHA DE FRESAS

En su artículo, Xiong et al. (2020) nos exponen sobre el diseño, desarrollo e integración de un robot autónomo capaz de recoger fresas continuamente en túneles de polietileno. Este proyecto represento varios retos por la complejidad de las tareas a realizar y el ambiente de trabajo. Desarrollan un algoritmo de separación de obstáculos para permitir que el sistema de cosecha recoja fresas ubicadas en racimos, usando una pinza para mover hojas, fresas y otros obstáculos circundantes.

Para realizar el trabajo a totalidad, hacen uso de un sistema de visión y un sistema de doble brazo, además de utilizar múltiples elementos como sensores lidar, infrarrojos, de proximidad, y de fin de carrera, además de joysticks, motores y servomotores. En sus últimas pruebas, el robot tuvo una tasa de éxito de del 75-100%. En las pruebas de campo, el sistema no pudo

elegir un objetivo que estuviera completamente rodeado de obstáculos. Esta falla se atribuyó a limitaciones en el sistema de visión, así como a una destreza insuficiente en las pinzas. Sin embargo, la velocidad de picking mejoró respecto a los sistemas anteriores, tomando solo 6.1s para la operación de manipulación en el modo de un brazo y 4.6s en el modo de dos brazos.

3.7.2 COSECHADORA ROBÓTICA DE MANZANAS

En su artículo, Silwal et al. (2017) nos exponen sobre el diseño y la evaluación de campo de una cosechadora robótica de manzanas, la cual fue probada en un huerto de manzanas comercial en el estado de Washington, y financiada por el departamento de agricultura de Estados Unidos.

Este proyecto fue un trabajo excepcional en cuanto a diseño, al realizar completamente sus mecanismos y efector final, además de contar con una gran variedad de sensores para un trabajo óptimo. Entre los sensores utilizados se encuentran de fuerza, visión, PMD y de proximidad. Entre los sensores se encuentran servomotores, motores paso a paso, tendones articulados y una variedad de mecanismos. El sistema de visión artificial era preciso y localizaba el 100% de las frutas, además tenía un tiempo de localización promedio de 1.5s por fruta. El sistema de cosecha de siete grados de libertad recogió con éxito 127 de las 150 frutas intentadas para una tasa de éxito general del 84% con un tiempo de cosecha promedio de 6.0s por fruta.

3.7.3 ROBOT MÓVIL BASADO EN PLC

En su artículo, Saffar et al. (2015) nos exponen sobre un robot móvil que utiliza un PLC para controlar el sistema de navegación, algo que no es muy empleado y es precisamente el objeto de estudio de esta investigación. Ellos mencionan que lo más común para controlar robots móviles, son sistemas embebidos donde cada usuario puede diseñar y crear el sistema que se desea, pero que es posible utilizar PLCs, lo cual es una solución práctica ya que estos están siempre listos para un uso fácil. El equipo utilizado consiste en sensores difusos, relés, motores de CC, interruptores, luces indicadoras, botones de emergencia y baterías de 12V.

Para analizar la funcionalidad del robot móvil, se realizaron cinco pruebas de seguimiento de línea. En los resultados finales, mostraron que el error es inferior al 18%, lo que demuestra que el robot móvil puede navegar utilizando PLC. Al final del experimento, el resultado mostró que

el objetivo final de este proyecto se había logrado al mover el robot móvil utilizando un sistema móvil controlador basado en PLC y permitir que el robot móvil lea y siga la línea.

3.7.4 ROBOT DE LIMPIEZA PARA TECHOS DE INVERNADERO

En su artículo, Seemuang (2017) nos expone sobre el desarrollo de un robot de limpieza para techos de invernadero. Este es un trabajo necesario, dado que los techos de plástico ya evitan el 10% de la luz solar, y el sucio que podría estar en estos, obstruiría aún más la luz y evitaría funcionamiento óptimo de los invernaderos. Para los humanos, esta labor consume tiempo, es repetitiva, es una labor ardua y en ocasiones riesgosa.

Por el material con el cual los techos están contruidos, se necesitaba que el robot tuviera un peso mínimo. El dispositivo posee marcos livianos de cuatro escobillas de limpiaparabrisas que se utilizan para limpiar las láminas del techo en condiciones húmedas. El robot puede moverse a lo largo del invernadero a través de una guía en la parte superior del techo mediante un módulo de guía. La velocidad de movimiento promedio que proporciona una buena calidad de limpieza es de 1.3 metros por minuto. La calidad de limpieza es muy buena y el polvo puede eliminarse en un 85-95%. Además, el robot de limpieza propuesto ayuda al trabajador a limpiar el techo de manera eficiente sin dañar la lámina de plástico y puede limpiar el techo dos veces más rápido que la limpieza manual.

3.7.5 ROBOT DE LIMPIEZA DE VIDRIOS PARA EDIFICIOS DE GRAN ALTURA

En su artículo, Salunke et al. (2019), nos exponen sobre el desarrollo de un robot de limpieza de vidrios para eliminar los peligros y mejorar la efectividad del proceso de limpieza en edificios de gran altura. Esta es una aplicación necesaria, ya es una operación muy laboriosa y arriesgada para los trabajadores humanos. Este robot también puede ser aplicado en la limpieza de paneles solares de gran tamaño.

Este robot consta de dos marcos rectangulares, un mecanismo de limpieza, cilindros neumáticos, ventosas, generadores de vacío, válvulas solenoides, sensores ultrasónicos, relés, y motores de corriente continua. El control general del robot es realizado por un microcontrolador. Entre las conclusiones mencionaron que el uso de soluciones neumáticas reduce considerablemente el consumo energético, y llega a ser tan bajo como 200 vatios por hora. El sistema neumático se usa para agarre y movimiento. En términos de limpieza, se puede

usar junto con boquillas de nebulización que usan agua de baja presión para generar una neblina que cubre un área de superficie más grande y consume tan solo 0.5 litros por minuto. Además, dado que el robot utiliza aire comprimido, es extremadamente ecológico, ya que el aire está disponible de manera adecuada y no hay producto o escape de ningún tipo de desecho.

3.7.6 ROBOT DE INSPECCIÓN DE REPRESAS

En su artículo, Sakagami et al. (2019) nos exponen sobre el desarrollo de un robot submarino que realiza una inspección visual mientras hace contacto mecánico con la superficie de una represa por una fuerza de tracción generada por los propulsores con placas de efecto de presión negativa.

El robot cuenta con sistema de visión, un mecanismo de dirección y debido a la placa de efecto de presión negativa unida a un propulsor produce una presión negativa que mantiene el contacto mecánico entre el robot y la superficie de la pared de la represa y asegura un movimiento estable del robot sobre una superficie de la presa para obtener imágenes continuas claras. Este robot es un proyecto muy avanzado que hace uso de una gran cantidad de sensores y actuadores, y sin olvidar que es completamente sumergible. El peso total asciende a más de 90kg.

Entre sus resultados mencionan que gracias a la placa efectiva de presión negativa es posible generar suficiente fuerza para lograr un movimiento estable del robot en la superficie de la presa, además que el robot desarrollado adquirió imágenes claras de la superficie de la presa continuamente sin un operador o controlador sofisticado.

3.7.7 EL FUTURO DE LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

3.7.7.1 *Inteligencia Artificial (IA)*

La inteligencia artificial siempre ha estado asociada a las películas del futuro, pero parece que el futuro ha llegado. Omron presentó el llamado primer controlador de máquina equipado con algoritmos de inteligencia artificial de aprendizaje automático. Rockwell Automation ha lanzado el módulo de inteligencia artificial Project Sherlock, que utiliza el aprendizaje automático para crear análisis de gran alcance desde la infraestructura de automatización.

Siemens también está combinando inteligencia artificial para controladores Simatic con la nueva unidad de procesamiento neuronal S7-1500TM NPU (Tanha et al., 2018).

3.7.7.2 Plataformas para OEMs

Los fabricantes de máquinas pueden implementar interfaces a través de paneles que permiten monitorear y analizar los datos, y pueden brindar nuevos servicios a sus clientes, como el mantenimiento predictivo. Empresas del campo de la automatización han creado estos servicios. Schneider Electric lanzó recientemente Machine Advisor, Rockwell lo cual proporcionó soluciones en la nube para fabricantes de equipos originales y KUKA proporcionó KUKA Connect, una plataforma completa de monitoreo y análisis para sus robots. La adquisición de B&R (B&R) por ABB comenzó a dar sus frutos y el monitor de rendimiento de activos fue una de las primeras soluciones conjuntas. Sin embargo, no solo las empresas de la industria clásica brindan estos servicios, las nuevas empresas también utilizan el auge de la Industria 4.0 para proporcionar nuevas soluciones, como IXON, que proporciona conexiones remotas a máquinas VPN y servicios Cloud Logging y Cloud Notify (Tanha et al., 2018).

3.7.7.3 Robótica sigue creciendo

En 2018, vimos cambios importantes en este campo porque Rethink Robotics, uno de los pioneros de la tecnología robótica colaborativa, quebró. Omron cooperó con TM para proporcionar tecnología robótica colaborativa después de adquirir Adept, y continuó trabajando en robótica. A nivel nacional, Mecánico Moderna trajo robots ESTUN chinos a España, y FANUC anunció su nueva sede en Sant Cugat. Además, Microsoft también anunció una versión experimental del sistema operativo Robot de código abierto para Windows, y Google planea lanzar una plataforma de robot en la nube (Garip et al., 2018).

3.7.7.4 TSN (Time-Sensitive Networking)

Lo podemos ver en la pasada feria SPS IPC Drives 2018. No cabe duda de que TSN siempre ha sido uno de los principales protagonistas, una red abierta unificada. Dado que TSN es una arquitectura de red compartida totalmente administrada, todo el tráfico de la red (incluidos todos los acuerdos de plantas industriales) debe cumplir con el conjunto de estándares TSN para lograr una comunicación determinista y confiable. Este año, escuchamos la noticia de que la Fundación OPC expandirá OPC UA, incluyendo TSN, a nivel de campo, este plan ha sido

apoyado por los principales participantes de la industria de la automatización y se unió a OPC UA junto con TSN (Bohm et al., 2019).

3.7.7.5 Gemelo Digital

El concepto de gemelos digitales permite la creación de copias virtuales de máquinas o sistemas. Además, la digitalización de fábricas y maquinaria puede garantizar una puesta en servicio eficiente, un diseño mecánico optimizado, un funcionamiento sin problemas y tiempos de conversión cortos. De esta forma, les permite dar respuestas específicas a problemas y optimizar procesos. Las empresas de esta industria están comenzando a ofrecer soluciones centradas en Digital Twin. Lenze utiliza cada vez más la realidad virtual y Digital Twin como herramientas eficaces de ingeniería y formación. El TIA Portal V15.1 de Siemens se centra en nuevas opciones de simulación y puesta en marcha virtual al proporcionar un gemelo digital para el controlador Simatic S7-1500 y la reciente alianza con las soluciones de Aker centradas en gemelos digitales.

3.7.7.6 Realidad Virtual

Hoy en día, la realidad aumentada y la realidad virtual se utilizan en una variedad de entornos, desde aplicaciones de consumo hasta fabricación. Sin embargo, es en este último donde la combinación de AR y otras tecnologías proporciona un gran valor en muchos sentidos. De hecho, las tecnologías VR y AR están revolucionando los complejos procesos de producción y el desarrollo de productos. En el contexto de la automatización industrial y de fabricación, la realidad virtual puede ayudar a los fabricantes a simular productos o entornos digitalmente (Ping et al., 2019).

IV METODOLOGÍA

En este capítulo describiremos la metodología de investigación a implementar, describiendo cada uno de los sistemas y requerimientos necesarios para llevar a cabo el proyecto que acompaña la presente investigación. A la vez, definiremos las técnicas y procesos a llevar a cabo, para la elaboración del robot.

4.1 ENFOQUE

En este proyecto, existe un enfoque cuantitativo con un diseño experimental. La parte experimental se debe a que partimos de diseños previamente realizados, y debemos hacer uso de técnicas de fabricación y programación para validar estos diseños. Mientras que nuestros resultados serán cuantitativos al evaluar el funcionamiento y características de diversos aspectos del robot.

4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Las variables definen el objetivo de estudio de la investigación. Para nuestro proyecto definimos una variable dependiente y cuatro variables independientes, las cuales podemos ver en la figura 13.

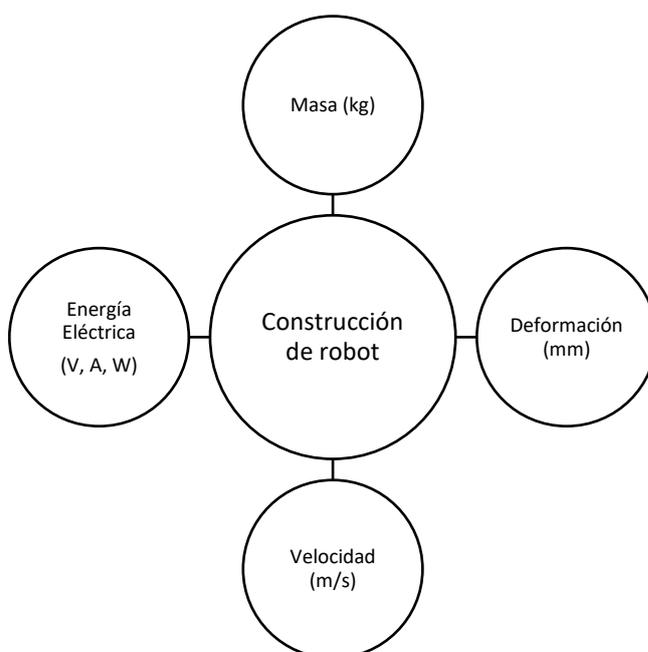


Figura 13. Variables de la investigación

Fuente: Propia

Para nuestra investigación establecimos como variable dependiente la factibilidad de un robot controlado con PLC para la industria logística hondureña, ya que es el producto deseado al final de la investigación. Como variables independientes establecimos cuatro aspectos importantes que varían dependiendo de los equipos y materiales que se utilicen para la integración final del robot.

4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

Para llevar a cabo el proyecto necesitaremos recurrir a distintos métodos y herramientas que cuentan con las características ideales para el desarrollo del robot.

Para la creación de la estructura del robot se aplica la fabricación por superficies, una técnica definida en el marco teórico. También se necesita de impresión 3D para algunas piezas que se fabricaran en ABS. Es necesario aclarar que los diseños en los cuales se basa el robot a fabricar fueron realizados en el programa de CAM, SolidWorks.

Para la programación de la lógica de funcionamiento utilizaremos el programa TIA Portal de SIEMENS, que como detallamos en el marco teórico, nos permite programar y cargar programación en el controlador lógico programable.

4.4 MATERIALES

1. Perfiles cuadrados de aluminio
2. Lamina de acero inoxidable
3. Cadenas dentadas de transmisión
4. Engrandes dentados
5. Llantas de transporte
6. Plástico ABS
7. Motores DC
8. PLC Siemens

4.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

La metodología para utilizar en esta investigación es en V la cual utiliza de 6 etapas para la realización y comprobación de los sistemas en el proyecto. En este modelo, se logran definir los procedimientos de gestión de calidad que lo acompañan. En este se desglosan las tres

fases que conforman nuestro sistema robótico, las cuales son el mecánico, de control y los periféricos.

4.5.1 CICLO A DE LA METODOLOGÍA "V"

4.5.1.1 *Etapa I: Nivel de Sistemas*

En este apartado definiremos los sistemas que integran la metodología.

A. Sistema Mecánico

Se requerirá la fabricación de un chasis el cual soporte el peso de los diversos componentes a establecer en el mecanismo. Tras la evaluación diversos materiales y métodos de fabricación de estos, se establecerá el mejor camino para su producción. Características para tomar en cuenta serían los costos de los materiales, la durabilidad de estos mismos, así como los métodos de producción que estén accesibles en el entorno laboral en el que vivimos.

B. Sistema de Control

Se requerirá de un dispositivo capaz de controlar el funcionamiento completo del robot. Comprende la elaboración de algoritmos de movimiento que controlan los actuadores en función de las señales recibidas por los comandos del operador. Se hace uso de un PLC modelo S7-1200 de Siemens como componente de control.

C. Sistema Periférico

Se requerirá de componentes electromecánicos que se comuniquen con señales eléctricas al sistema de control. Dichos componentes permitirán una integración completa del proyecto, enlazando el sistema de control con el mecánico. Brinda la información del entorno necesaria para que el funcionamiento del robot.

4.5.1.2 *Etapa II: Nivel De Subsistemas*

En este apartado definiremos los componentes o subsistemas que podemos identificar de los sistemas definidos anteriormente.

A. Subsistemas Mecánicos

Los diferentes fragmentos para tomar en consideración para la elaboración de la estructura del robot serían los siguientes:

a) Estructura

1. Soportes metálicos: se utilizarán tubos metálicos previamente evaluados los cuales sean los adecuados para la creación de una estructura resistente y que sea accesible en sus costos.
2. Lamina aluminio: se mecanizarán diversas láminas de aluminio para sostener los diferentes elementos a utilizar en el mecanismo.
3. Impresión 3D: se realizarán impresiones de superficies con materiales adecuados para el cubrimientos y protección de la estructura.

b) Sistema de Transmisión

1. Mecanizado de piñones: se fabricarán piñones dentados para la transmisión de movimiento del motor hacia la rueda posterior o anterior, dependiendo de su posición.
2. Bandas de transmisión: se utilizará bandas adecuadamente confeccionadas para ser superpuestas en los piñones para una transmisión optima de movimiento.
3. Llantas: se comprarán y mecanizarán los ejes de las llantas para ser acopladas en los motores y sus acoples para lograr el movimiento del mecanismo.
4. Acoples: se elaborarán ejes de acople para la transmisión de movimiento entre el motor, las llantas, los engranes y cadenas.

B. Subsistema de Control

Está conformado por módulos de alimentación, entradas y salidas digitales, además de entradas analógicas. Estos módulos reciben las señales físicas necesarias para que el sistema de control realice las operaciones necesarias.

C. Subsistemas Periféricos

Está conformado por componentes eléctricos y electromecánicos.

1. Motores eléctricos: Son necesarios para dar movimiento y tracción al robot. Se elegirán dependiendo las necesidades de fuerza y torque.
2. Interruptores: Serán accionados por el operador del robot para brindar las instrucciones básicas de movimiento.
3. Relevadores: Son integran con el fin de aislar el dispositivo de control de los actuadores y sensores que trabajan a diferentes voltajes.

4.5.1.3 *Etapa III: Realización de Partes*

A. Partes Mecánicas

Se hicieron los estudios pertinentes para evaluar los materiales que conformaran la estructura del chasis del robot. En estos se incluyen los perfiles metálicos al igual que las láminas de metal que se requieren para soportar grandes cargas.

B. Partes del Dominio de Control

Se realizaron pruebas experimentales de las variables de entrada y salida, haciendo uso del simulador integrado en el software.

C. Periféricos

Se realizaron pruebas experimentales de las señales enviadas por los interruptores, así como la respuesta generada por los actuadores al recibir señales.

4.5.1.4 *Etapa IV: Integración de Partes*

A. Integración de Partes Mecánicas

Tras la integración de todas las partes mecánicas, se hicieron estudios evaluando las cargas en diferentes sectores de la estructura para valorar sus resultados. Se conectaron los perfiles metálicos, las láminas metálicas, piñones, bandas al igual que los acoples y llantas en la estructura. Se observaron los resultados para validar el comportamiento en los cuales dichos elementos estaban sometidos para evaluar la unión final de dichas partes.

B. Integración del Dominio de Control

Se diseñó un algoritmo que genera las señales necesarias para que el robot pueda entrar en movimiento.

C. Integración de los Periféricos

Se integraron los interruptores y actuadores para validar el correcto funcionamiento en conjunto, para esto se requirió de conexiones eléctricas adecuadas que funcionaran bajo los parámetros y voltajes definidos para cada uno de ellos.

4.5.1.5 *Etapa V: Integración de los Subsistemas*

1. Soporte metálico: Se verificó la resistencia de los perfiles metálicos para lograr cargar con el peso de la estructura.

2. Lamina de aluminio: Se evaluó la durabilidad y el acoplamiento de las placas de aluminio para conllevar los esfuerzos en la estructura del chasis.
3. Impresión 3D: Se verifico que las estructuras a imprimir fueran del material adecuado y estuvieran protegiendo las partes adecuadas de la estructura.
4. Mecanizado de piñones: se evaluó el uso de dichos componentes para lograr la mejor transmisión de movimiento de una llanta a otra.
5. Bandas de transmisión: se incorporó el uso de bandas para evitar pérdidas de movimiento con fricción.
6. Llantas: se verifico el tamaño y posicionamiento de las llantas para una mejor movilidad de la estructura mecánica.
7. Acoples: se verifico que dichos componentes estuvieran debidamente posicionados para permitir una transmisión de movimientos adecuada.
8. Motores: Se verifico que cumplieran con los requerimientos de torque necesarios, para proveer el movimiento al robot.
9. Interruptores: Se agregaron a las conexiones eléctricas para poder transmitir las señales al sistema de control.
10. PLC: Se conectaron la alimentación y puertos de entradas y salidas, con las respectivas entradas y salidas.

4.5.1.6 *Etapa VI: Integración de Sistemas*

A. Sistema Mecánico

Se integro un chasis en la estructura del sistema mecánico el cual soportaría todas las piezas del robot industrial. Se evaluó la movilidad y el funcionamiento del robot con todas sus partes acopladas.

B. Sistema de Control

Se desarrollo un algoritmo en lenguaje de escalera para manejar el movimiento del robot en función de las señales que le sean proveídas por el operador.

C. Sistema Periférico

Se incorporaron los periféricos que brindan los comandos del operador y los actuadores que van montados en la estructura, y se conectaron a los diferentes módulos de entradas y salidas.

4.5.1.7 *Resultado del Prototipo: Final del Ciclo A*

Se obtuvo un prototipo base conformado por todos los sistemas y subsistemas para la creación de un sistema robótico industrial. Luego de realizar estudios y observaciones de los diferentes mecanismos, se podrán hacer los cambios pertinentes para lograr acercarse a un buen funcionamiento de un producto final. A la vez notamos que, al integrar sensores como señales de entradas, podríamos obtener un movimiento más preciso del robot.

4.5.2 CICLO B DE LA METODOLOGÍA "V"

4.5.2.1 *Etapa I: Nivel de Sistemas*

A. Sistema Mecánico

Si hicieron mejoras en la estructura del chasis del robot para lograr integrar partes para lograr evaluar el peso de algunos objetos. Se evaluó la resistencia del material de esta y permaneció sin cambios.

B. Sistema de Control

Se requirió de una serie de algoritmos más complejos, que permitieran un movimiento más preciso del robot, con una respuesta efectiva a las señales de los sensores.

C. Sistema Periférico

Se requirió de la incorporación sensores que permitan recopilar más información del entorno para un mejor control de los actuadores.

4.5.2.2 *Etapa II: Nivel de Subsistemas*

A. Subsistemas Mecánicos

a) Estructura

Se evaluaron los diferentes elementos a utilizar y estos permanecieron de la misma manera ya que probaron ser óptimos para la fabricación de dicho sistema mecánico.

b) Transmisión

1. Mecanizado de Engranés: Se evaluó el uso de piñones y se optó por el uso de engranes para obtener una mejor transmisión de movimiento.
2. Cadenas de transmisión: Se verificó el uso de bandas y se optó por el uso de cadenas para un mejor acople con los engranes.

3. Llantas: Se incorporaron llantas prefabricadas que son más accesibles y reducción de costos.
4. Acoples: estos permanecieron sin cambios.

B. Subsistemas de Control

Está conformado por módulos de alimentación, entradas y salidas digitales, además de entradas analógicas. Para que el movimiento del robot sea más preciso, se tomaran en cuenta nuevas variables de entrada que brindaran más información sobre el posicionamiento y entorno del robot.

C. Subsistemas Periféricos

Sensores capacitivos: Realizan la labor de detectar la presencia de objetos con el fin de brindar más información al PLC, para un control más preciso del robot. El uso de sensores significa el uso de más relevadores para acondicionar las señales.

Los motores e interruptores no vieron cambios.

4.5.2.3 Etapa III: Realización de Partes

A. Partes Mecánicas

Se hicieron nuevos estudios y evaluaciones de los movimientos en la incorporación de los diversos sistemas para lograr un movimiento óptimo al igual que lograr encontrar costos accesibles para la fabricación de dicha estructura.

B. Partes del Dominio de Control

Se realizaron nuevas pruebas experimentales de las variables de entrada y salida, haciendo uso del simulador integrado en el software, con el fin de evaluar el efecto de las nuevas variables involucradas en el proceso.

C. Periféricos

Se realizaron pruebas experimentales de las señales enviadas por los sensores, así como la respuesta generada por los actuadores al recibir señales.

4.5.2.4 *Etapa IV: Integración de Partes*

A. Partes mecánicas

Al integrar las partes mecánicas, se volvieron a hacer estudios de deformaciones en las diferentes partes para evaluar los nuevos mecanismos. Colocando esfuerzos que estos tendrían en el sistema mecánico.

B. Integración del Dominio de Control

Se diseñó un conjunto de nuevos algoritmos que generan las señales necesarias para que el robot pueda moverse en respuesta a las nuevas variables.

C. Integración de los Periféricos

Se integraron los sensores a utilizarse para validar el correcto funcionamiento en conjunto con los periféricos previamente integrados, para esto se requirió de nuevas conexiones eléctricas que funcionaran bajo los parámetros y voltajes definidos para cada uno de ellos.

4.5.2.5 *Etapa V: Integración de los Subsistemas*

1. Soporte metálico: Se hicieron los cambios pertinentes para lograr acoplar los diferentes elementos que se tomaron en consideración.
2. Lamina de aluminio: Esta se evaluó que podría permanecer de igual manera.
3. Impresión 3D: Se verificó su permanencia similar.
4. Mecanizado de engranajes: Se rectificó el uso de piñones y cambiarlos por engranes por su mejor transmisión de movimiento.
5. Cadenas de transmisión: Se incorporó el uso de cadenas para lograr una mejor transmisión de movimientos junto con los engranes.
6. Llantas: Se verificó su permanencia similar.
7. Acoples: se rectificó su mecanizado para lograr acoplarse con el nuevo sistema de desplazamiento de movimiento de engranes y cadenas.
8. Motores: No vieron cambios.
9. Interruptores: No vieron cambios.
10. Sensores: Se integraron a las conexiones eléctricas para que pudieran brindar más información del entorno a las señales ya existentes.
11. PLC: Se conectaron la alimentación y puertos de entradas y salidas, con las respectivas entradas y salidas. Se agregaron nuevos algoritmos de movimientos.

4.5.2.6 *Etapa VI: Integración de Sistemas*

A. *Sistema Mecánico*

Se integro un chasis mejorado con una base que pueda acoplar los cambios en las diferentes partes mecánicas que en este están integradas. Se evaluó el funcionamiento de este y su movilidad con sus diversos sistemas.

A. *Sistema de Control*

Se desarrollo un conjunto de algoritmos en lenguaje de escalera para manejar el movimiento del robot en función de las señales que le sean proveídas por el operador y también por las señales generadas por los sensores.

B. *Sistema Periférico*

Se incorporaron los periféricos de interrupción por el operador y también los periféricos sensoriales. Además de los actuadores que van montados en la estructura para el movimiento del robot. Todos se conectaron a los diferentes módulos de entradas y salidas.

4.5.2.7 *Análisis de Riesgos Mecánicos*

Las impresiones en 3D con el material dispuesto llegarían a ser demasiado débiles para un enfrentamiento con otro objeto de mayor dureza, logrando una ruptura en la misma. Este podría llegar a dañarse y causar una falta de protección en el mecanismo. El chasis por su parte puede llegar a resistir grandes cantidades de peso, su deformación seria a partir de pesos muy extremos.

4.5.2.8 *Análisis de Riesgos de Control*

Existe el riesgo de sobrecalentamiento del dispositivo de control, o también el ser afectado por las vibraciones mecánicas generadas por el movimiento del robot. A la vez se pueden considerar las fallas en los módulos de entradas y salidas, y no poder procesar las señales correctamente.

4.5.2.9 *Análisis de Riesgos en Periféricos*

Al ser componentes eléctricos y electromecánicos en un robot del tipo móvil, existen varios riegos. Entre ellos las fallas o rupturas por vibraciones mecánicas, sobrecalentamiento o colisión con otras superficies. Específicamente en los periféricos de entradas existe la

posibilidad de que no generen las señales esperadas o correctas. Mientras que en los motores existe la posibilidad de que se atasquen o que por falta de mantenimiento dejen de trabajar.

4.5.2.10 Resultado del Producto: Final del Ciclo B

Se obtuvo un producto completamente funcional, integrando los tres sistemas definidos

4.6 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN

A este proyecto se le harán las respectivas evaluaciones y validaciones tras haber culminado su fabricación y programación para lograr aplicar las pruebas pertinentes.

4.7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tratando de realizar las diversas etapas de investigación, fabricación y procesamiento de logística, se evaluó la siguiente ruta crítica para el tiempo estimado de este proyecto. En la figura 14 podemos ver el plan del desarrollo de actividades.

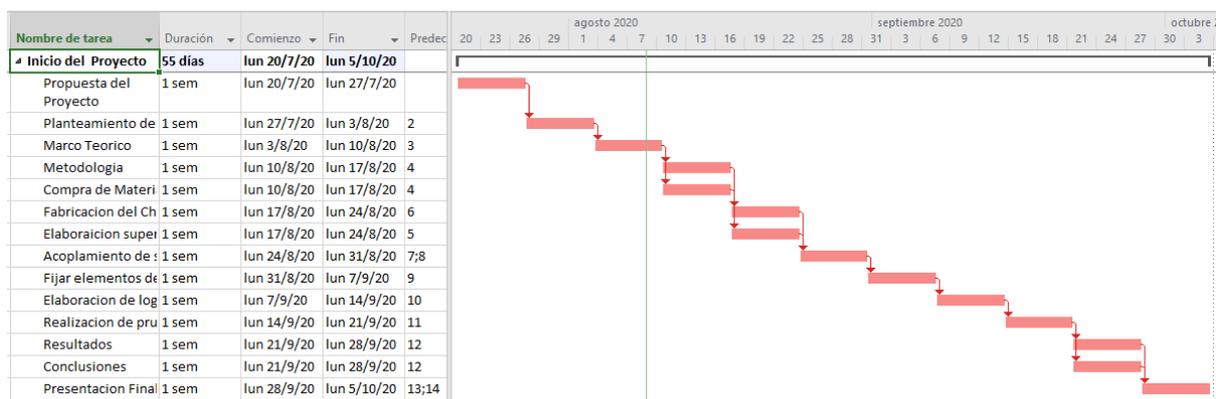


Figura 14. Cronograma de actividades

Fuente: Propia

V ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este capítulo se muestran el análisis y los resultados obtenidos a medida se desarrolló el proyecto y se aplicó la metodología de investigación. Este proceso implica varias pruebas en todos los sistemas involucrados.

5.1 ANÁLISIS DE SUSTENTO DE MARCO TEÓRICO

En el marco teórico se mencionaron los servomotores como posibles actuadores para el proyecto de realización de un robot que acompaña esta investigación. En la figura 15 se muestra el diseño base para el robot que se pretende realizar, se puede apreciar que el robot cuenta con un brazo, el cual necesitaría servomotores. Sin embargo, el alcance de esta investigación se limita a la realización y programación del chasis del robot, esto debido a limitantes en tiempo y presupuesto.

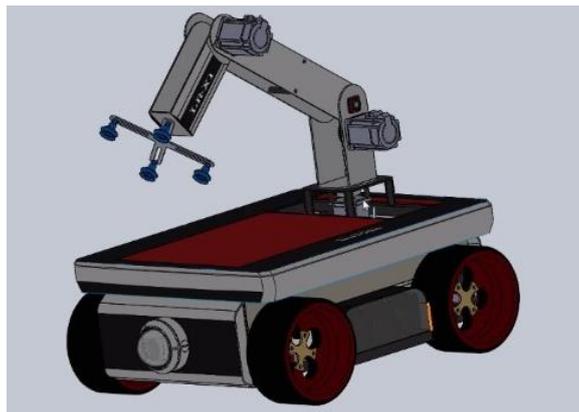


Figura 15. Diseño de robot

Fuente: Pineda (2020)

Para la puesta en marcha del robot, se emplearán motores de corriente continua, estos permitirán que el robot pueda tener movimiento. Para esta función, no se requiere contar con servomotores, ya que es suficiente con instrucciones de movimiento bidireccional de precisión estándar.

Por otro lado, es necesario mencionar, que para el control del robot haremos uso de una interfaz web para el control. Se empleará el servidor web intrínseco del PLC como *host* para los archivos origen. Este medio nos permitirá teleoperar el robot, que significa ser capaces de darle directrices a distancia. Esto requerirá de un dispositivo móvil con acceso a Wi-Fi para acceder a la interfaz web.

Las posibilidades de la obtención de un robot en países tercermundistas para el área de la industria pueden llegar a ser extremadamente caro. Es por esto que se investiga como lo hicieron en (Sandoval Gutierrez et al., 2016) buscar soluciones económicas para la construcción de robots que hagan tareas específicas en un proceso. Tras investigar las diferentes técnicas de manufactura, software, cinemática y control de un robot, se logrará obtener un diseño al alcance de los clientes. De esta manera la implementación de sistemas robóticos estaría al alcance de industrias que quisieran estar incursionar en la cuarta revolución industrial.

Por lo consiguiente, se hacen evaluaciones de los diferentes métodos de elaboración de estructuración de un robot. En (Ollero Baturone, 2001, p. 64) nos da un conocer los diferentes modelos cinemáticas que tenemos que tener en consideración al elaborar una estructura. Podemos utilizar el proceso industrial que se quiere llevar a cabo como un mapa para la construcción de dichos modelos. Un tipo de ingeniería a la inversa, ya que se tendría un proceso final y partir desde ahí.

5.2 ANÁLISIS Y RESULTADOS DE METODOLOGÍA EN "V"

5.2.1 CICLO A DE LA METODOLOGÍA "V"

5.2.1.1 Etapa I: Nivel de Sistemas

A. Sistema Mecánico

Se definió la utilización de tres materiales para el análisis de construcción de la estructura del chasis. Se decidió analizar la estructura elaborada por Pineda (2020) en SolidWorks con materiales accesibles en el entorno del país, Honduras. Dichos materiales fueron el acero galvanizado, el acero inoxidable y el aluminio. Estos materiales fueron con elegidos debido a sus propiedades físicas y facilidad de producción.

B. Sistema de Control

Se definió un sistema basado en un PLC S7-1200 de Siemens, este ejecutará algoritmos que dará ordenes de movimiento al robot en función de las señales recibidas por los comandos del operador. El grado de confiabilidad que brinda un PLC es bastante alto, ya que estos se

aplican principalmente en industrias de alta exigencia, por lo que deben cumplir con diversos estándares.

C. Sistema Periférico

Se definió un sistema compuesto por múltiples componentes electromecánicos que permiten el funcionamiento íntegro del robot. Este sistema se define tanto por las variables de entrada como por las de salida del sistema de control.

5.2.1.2 Etapa II: Nivel De Subsistemas

Analizaremos los subsistemas que componen el proyecto, siguiendo la línea de los sistemas definidos anteriormente, y los resultados de su implementación e integración.

A. Subsistemas Mecánicos

1. Estructura: Esta estructura será obtenida por la soldadura entre varios perfiles cuadrados los cuales formaran 3 partes esenciales. Un marco superior, un marco inferior y los componentes que los unen y crean perfiles para la adhesión los componentes necesarios para su movimiento y control.
2. Sistema de Transmisión: El mecanismo de transmisión de movimiento permite que el robot tenga una traslación de movimiento de una rueda a otra sin cambiar la naturaleza del movimiento. Este se analizará mediante la utilización de bandas dentadas o cadenas.

B. Subsistema de Control

Dentro de los subsistemas de control identificamos dos principales para el ciclo A.

1. Subsistema físico de E/S: El control depende de señales físicas del entorno, que brindan la información necesaria para el movimiento. A la vez, el sistema de control envía señales eléctricas para que los actuadores actúen en función de los algoritmos. Hacemos uso de entradas discretas y analógicas y de salidas digitales y del tipo PWM.
2. Subsistema de Programación en Ladder: Se hace uso de funciones de programación en lenguaje escalera para desarrollar algoritmos de funcionamiento que responden a las señales de entrada con señales de salida. Se desarrolla el programa haciendo uso del programa TIA Portal de Siemens.

C. Subsistemas Periféricos

Dentro del sistema periférico en el ciclo A, podemos definir los siguientes subsistemas:

1. Subsistema motriz: Se compone de los elementos necesarios para llevar a cabo el movimiento del robot, a través de componentes electromecánicos.
2. Subsistema RF: Permite el control y el procesamiento de señales a distancia, haciendo uso de señales de radiofrecuencia. Tiene como objetivo controlar el movimiento del robot por medio de comandos que el operador realizara.

5.2.1.3 Etapa III: Realización de Partes

A. Partes Mecánicas

Como pieza fundamental en la elaboración de un robot móvil esta la construcción de un chasis que sea de un material resistente y que tenga gran durabilidad. El chasis de un robot es la pieza clave donde están superpuestos todos los elementos de control. Elementos que se tienen que tomar en consideración para la búsqueda del material correcto son la disponibilidad, el costo, rendimiento, así como la durabilidad de este. Luego de hacer investigación de campo, se lograr escoger dos tipos de materiales los cuales podrían llegar a ser óptimos para este propósito.

Se hicieron estudios de esfuerzo con el programa de SOLIDWORKS SimulationXpress en la estructura hecha de una aleación de aluminio, así como de hierro galvanizado y acero inoxidable. Dichos materiales a disposición de venta, con costos accesibles y todos utilizados como materiales de construcción. Algunos materiales, tales como el aluminio, ya se encuentran en perfiles cuadrados con las medidas específicas que se ocupan para la realización de la estructura en cuestión. Este material es muy común en la industria, en cambio, los perfiles necesarios en otro tipo de material serían más difícil de conseguir. Es decir, se tendría que extruir el material para las medidas necesarias, aumentando el costo de la estructura.

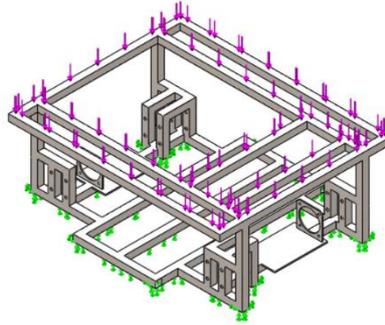


Figura 16. Prueba de Esfuerzos: Acero Inoxidable

Fuente: Propia

Se hizo una prueba de esfuerzos en primera instancia asumiendo que la estructura estaría hecha de acero inoxidable. Este material es muy utilizado debido a su alto nivel de resistencia a la corrosión, resistencia a altas temperaturas y debido a su resistencia mecánica puede ser moldeado con facilidad. Como dicho anteriormente, para conseguir las medidas pertinentes para esta estructura con este material, otros procesos se tendrían que tomar en consideración. Se tendría que conseguir un proveedor que lograra la extrusión de dicho material, aumentando los costos considerablemente.

Tras hacer los estudios debidos con SOLIDWORKS SimulationXpress, además de sus grandes ventajas se logró ver una gran desventaja que sería el peso que este incurriría en la estructura. El chasis con la construcción de este metal llegaría a pesar un aproximado de 19.71 kilogramos o 43.45 libras. Debido a que se quiere obtener una estructura lo menos pesada posible y debido a su alto precio, este material fue descartado.

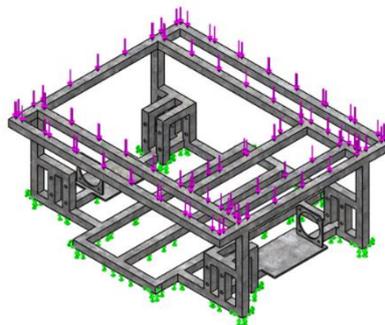


Figura 17. Prueba de Esfuerzos: Acero Galvanizado

Fuente: Propia

Luego se hizo una prueba de esfuerzos con la estructura hecha de acero galvanizado. El acero galvanizado, debido a sus capas de zinc, tiene una gran resistencia a la oxidación al igual que es muy resistente. Este material también es muy usado en la construcción debido a sus propiedades. Pero, al hacer dichas pruebas con el programa de SOLIDWORKS SimulationXpress, se confirmó que este llegaría a ser muy pesado al igual que el material anterior. En el estudio, la estructura pesaría aproximadamente 19.39 kilogramos que equivalen a 42.75 libras. Este material es comúnmente muy utilizado, pero debido al espesor requerido para la elaboración del chasis este pesaría más de lo requerido. Por esta razón, y debido a que los costos del acero galvanizado son muy elevados por sus propiedades físicas. este material también fue descartado.

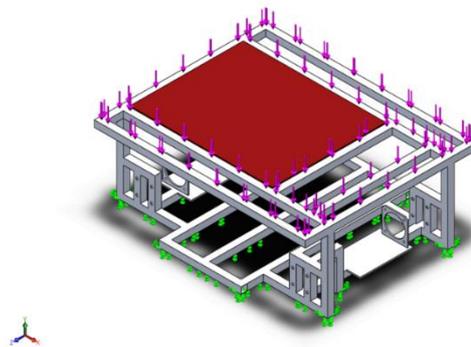


Figura 18. Prueba de Esfuerzos: Aluminio

Fuente: Pineda (2020)

Como ultimo prueba, de utilizo una aleación de aluminio para elaborar la estructura en SOLIDWORKS SimulationXpress la cual resulto con muchos beneficios. El aluminio, al igual que los materiales anteriores, tiene un alto grado de resistencia a la corrosión. Este material es mayormente utilizado en la elaboración de vitrinas por su alta durabilidad. En el reporte, luego de dichos estudios, se estableció que el chasis fabricado con este material estaría pesando un aproximado de 6.65 kilogramos lo que equivale a 14.66 libras.

Tras analizar los tres resultados de la elaboración de la estructura con los materiales de acero galvanizado, acero inoxidable y aluminio, se confirmó que el material más optimo sería el tercero. Esto debido a que el aluminio tiene una buena resistencia a la corrosión, tiene un buen grado de durabilidad, es muy liviano y accesible a la hora de obtenerlo.

B. Partes del Dominio de Control

Para el dominio de control fue necesario realizar lo siguiente:

1. Acondicionamiento de Señales: Dentro del procesamiento interno del PLC, se normalizan y escalan los valores de las señales analógicas recibidas en los módulos de entrada analógicas. Se hace uso de funciones intrínsecas del software. Estas señales procederán del subsistema RF.
2. Función PWM: Se realizó una función que permite el control de una de las salidas digitales del PLC en modo de *Pulse Width Modulation (PWM)*, un método utilizado para controlar el ancho de pulso de una salida digital con la intención de reducir el promedio de la potencia entregada por una señal eléctrica. Dentro del programa TIA Portal es necesario configurar una de las salidas digitales del PLC como salida PWM, En la figura 19 se puede ver el bloque PWM que se utiliza. La dirección 265 indica la constante del hardware correspondiente a la primera salida PWM del PLC, mientras que la dirección QW1000 es donde se escribe el valor PWM correspondiente para la salida Q0.0, ya que así se definió en la configuración del controlador.

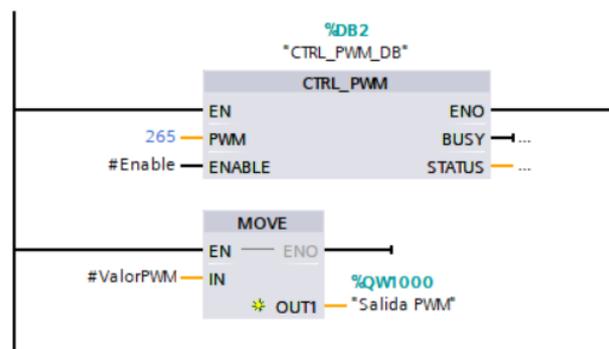


Figura 19. Bloque de control PWM

Fuente: Propia

3. Función de puente H: Se realizó una función que acciona salidas específicas que se usaran para el control del subsistema motriz con diferentes posibilidades de movimientos (adelante, atrás, etc.), en función de las señales de entrada.

C. Periféricos

Para el ciclo A, fue necesaria la elaboración de tres partes principales dentro de los periféricos.

1. Puente H: El movimiento del robot se basa en dos motores eléctricos de corriente continua, los cuales deben ser capaces de rotar en ambas direcciones, independientemente el uno del otro, para ser capaces de brindar al robot la capacidad de tener cuatro movimientos básicos que son avanzar hacia adelante, retroceder y girar

hacia la derecha y la izquierda. Esto se logra haciendo uso de un arreglo de cuatro contactos conmutables, llamado puente "H", por lo que se requieren de dos relevadores para cada motor, que se conmutaran dependiendo las señales enviadas desde el sistema de control.

2. Control del PWM: Además de controlarse la conmutación y rotación de los motores con el puente "H", es necesario controlar la velocidad con la que estos pueden llegar a rotar, para esto se hace uso de un relevador de estado sólido, que controlara el voltaje de alimentación de los motores, y se conmutara varias veces por segundo según la señal PWM generada por el sistema de control.
3. Comunicación RF: La comunicación por radiofrecuencia se realiza por medio de un emisor y un receptor que se comunican a una frecuencia de 2.4GHz. Los dos componentes se adquieren en conjunto, pero se debe realizar una sincronización para que estos puedan funcionar eficazmente. El receptor emite un pequeño voltaje variable con PWM en función de los comandos del emisor. Se hará uso de módulos conversores para convertir la señal PWM en un voltaje análogo de 0 a 10V que pueda ser procesado por el sistema de control.

5.2.1.4 *Etapa IV: Integración de Partes*

A. Integración de Partes Mecánicas

Se tomo como referencia el diseño del chasis elaborado por Pineda (2020). Con este diseño se tomaron en consideración una variedad de elementos a explorar. Uno de ellos fue la decisión del material a utilizar que se probó con el programa de SOLIDWORKS SimulationXpress para verificar el peso de la estructura, así como investigación de campo para verificar la accesibilidad del material. Así mismo se hicieron pruebas de esfuerzo en la estructura para lograr corroborar si esta tuviera fallas o mejoras que se le podrían incorporar. Tomando siempre en consideración el diseño de Pineda (2020), se hicieron los siguientes estudios de esfuerzos. Se coloco una fuerza en la cara superior de la estructura de 255 Newtons lo que equivalen a 57.33 libras como se puede visualizar en la figura 20.

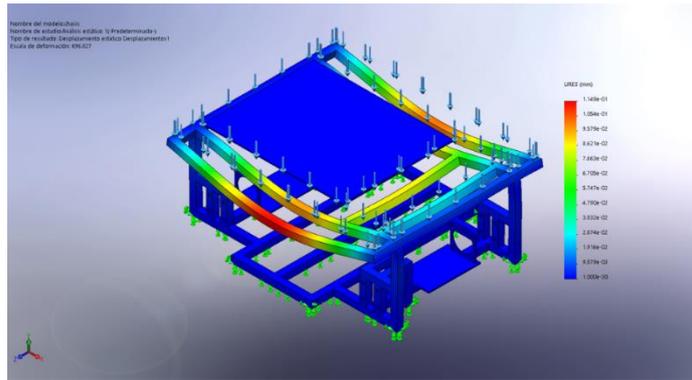


Figura 20. Prueba de Esfuerzos: Deformación

Fuente: Propia

Se puede notar como, en los elementos superiores en las secciones laterales, hay una deformación de un $4.091e^{-05}mm$. Como se puede apreciar en la figura 20, estas áreas están al borde de una deformación crítica la cual puede llegar a causar una ruptura en los elementos si se llega a agregar más fuerza en dichas posiciones. Por consiguiente, se decidió agregar otros elementos a la estructura los cuales agregarían apoyo a algunas secciones del chasis que ocuparían reforzamiento. Primeramente, se agregaron dos elementos laterales donde más se necesitaban para reforzar las secciones superiores donde más había deformación. Por consiguiente, un elemento se agregará para unir ambos tubos laterales para que estos compartieran su carga de peso.

Tabla 6. Comparación de Materiales de Estructura

	Acero Inoxidable	Acero Galvanizado	Aluminio
Masa	19.7101 kg	19.3898 kg	6.65217 kg
Volumen	$0.00246377 m^3$	$0.00246377 m^3$	$0.00246377 m^3$
Densidad	Density: $8,000 kg/m^3$	$7,870 kg/m^3$	$2700 kg/m^3$
Peso	193.159 N	190.021 N	65.1913 N

Fuente: Propia

En la parte superior trasera, se considera que ira un brazo robótico según los estudios realizados por Pineda (2020). Tomando en cuenta dichas consideraciones, un reforzamiento de esta área también es crítico para que la estructura pueda llegar a soportar el peso de un

elemento de gran importancia como lo sería un mecanismo de un brazo con todos sus elementos. Por esta razón, se tomó la decisión de agregar otro elemento vertical en el área media de la estructura la cual única la parte superior e inferior de la estructura. Esto con el propósito de fortificar el área donde ira el mecanismo del brazo en el futuro.

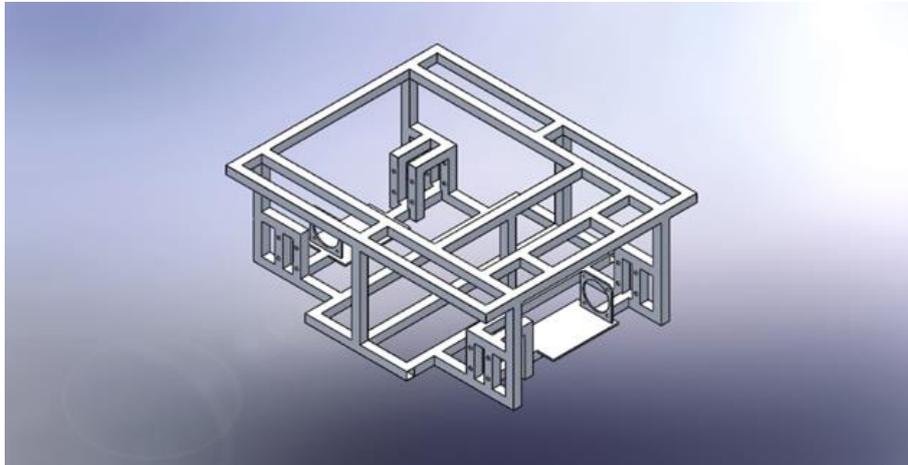


Figura 21. Estructura del Chasis Modificada

Fuente: Propia

En la figura 21 se pueden notar los cambios que se le hicieron al chasis original de Pineda (2020) para poder reforzar áreas donde se consideraba necesario. Se agregaron tres columnas verticales en la estructura en la parte central y laterales para que esta sección de la parte superior tenga más fuerza. Esto con el propósito de poder cargar con mayor peso en estas áreas sin tener que comprometer su forma. Igualmente se agregaron elementos los cuales unen las secciones internas de la parte superior con los bordes de la estructura. Esto le permite al marco poder compartir las cargas que caen sobre las partes internas de la cara superior de la estructura.

Tras hacer los cambios pertinentes en la estructura para lograr un chasis con mayor reforzamiento, se hicieron más estudios en SOLIDWORKS SimulationXpress para visualizar los esfuerzos y deformación que en este incurrirán.

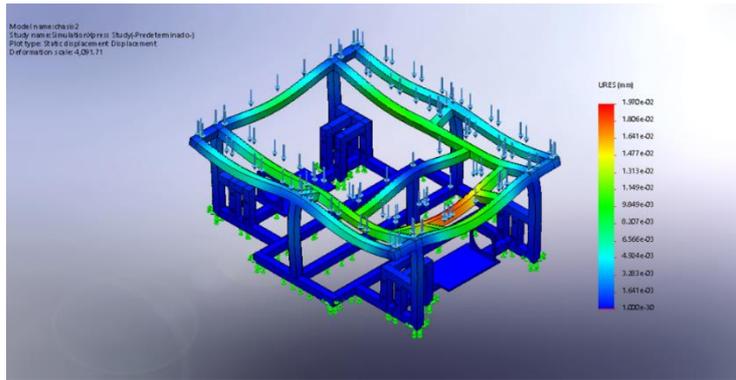


Figura 22. Prueba de Esfuerzos: Nueva Deformación

Fuente: Propia

En la figura 22 se puede notar como en la nueva estructura ya no existe una deformación crítica en las partes laterales de la estructura. Mas, sin embargo, existen una mayor cantidad de elementos que pueden llegar a ser afectados, los cuales anteriormente no lo estaban. Esto se debe a que, con la implementación de uniones a lo largo del marco superior, las cargas son compartidas entre ambos tubos. Esto causa que las cargas se distribuyan de una manera más uniforme a lo largo de marco del chasis superior, permitiendo que esta pieza puede soportar una mayor cantidad de peso a lo largo de su área. El elemento que tiene mayor deformación en esta nueva estructura es en la parte trasera donde sería colocado el elemento del brazo robótico. Mas, sin embargo, debido a que se colocó un elemento vertical en el área central y en la parte posterior donde iría colocado este mecanismo, el peso podría ser aplicado en este. De esta manera, dejando que todo el peso recaiga sobre un área que está completamente reforzada y preparada para poder resistir una fuerza grande.

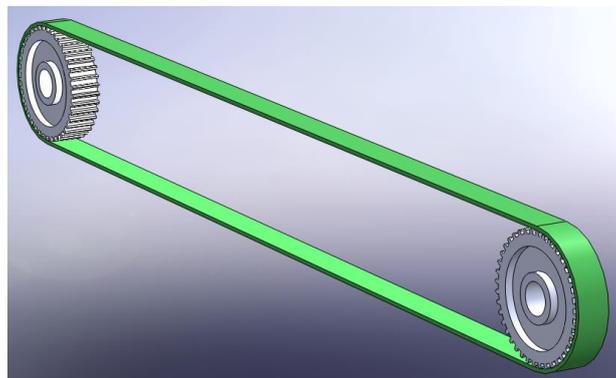


Figura 23. Sistema de Transmisión: Banda Dentada con Polea

Fuente: Pineda (2020)

En el diseño original, se quería implementar un sistema de poleas dentadas con engranes para la transmisión de potencia en el robot. (Mott & González y Pozo, 2006) establece que: “se aplican las transmisiones por banda cuando las velocidades de rotación son relativamente altas, como en la primera etapa de reducción de la velocidad de un motor eléctrico o de combustión.” (p.281) Debido a que las bandas dentadas no cuentan con la suficiente fricción para poder adherirse a las poleas cuando se ocupa de un par alto es que solo se utilizan en sistemas de altas velocidades. Para el sistema que se quiere realizar en este caso, se ocupa de un sistema de transmisión que sea capaz de soportar y poder transmitir un gran par de torsión. Es por esta razón que se decidió optar por otro tipo de elementos a utilizar.

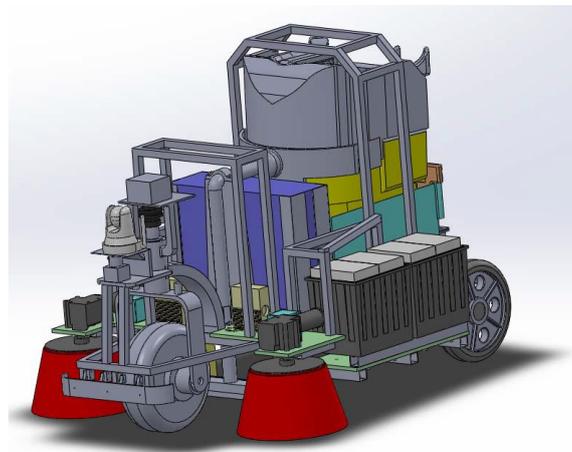


Figura 24. Robot de Limpieza de Tres Ruedas

Fuente: (Huang et al., 2017)

(Huang et al., 2017) utilizó un mecanismo que se divide principalmente en estructura, accionamiento de tres ruedas. Donde el motor de CC trasero es el motor principal y el delantero es un motor paso a paso que se utiliza para cambiar la dirección del frente rueda. Este método es muy conveniente para hacer cambios de dirección rápidos. En proyecto se utilizó el sistema de cadenas para lograr mover el robot como un tanque y así mantener un alto grado de resistencia pesos grandes.

Para poder transmitir la potencia de un motor a un sistema de transmisión, la mayor parte del tiempo se utiliza una barra llamada eje. Este a su vez es puesto a través de rodamientos, o en este caso, chumaceras las cuales logran que el peso de la estructura recaiga sobre sí misma y no en el motor. Un rodamiento es un dispositivo que se utiliza para soportar un eje giratorio y un eje paralelo al eje. Se utilizó este mecanismo ya que los motores a utilizar serían de

taladro, los cuales no soportarían el peso de la estructura. Así mismo, este sistema permite un mejor desplazamiento en el sistema de transmisión.

Para poder transmitir la potencia de un motor a un sistema de transmisión, la mayor parte del tiempo se utiliza una barra llamada eje. Este a su vez es puesto a través de rodamientos, o en este caso, chumaceras las cuales logran que el peso de la estructura recaiga sobre sí misma y no en el motor. Un rodamiento es un dispositivo que se utiliza para soportar un eje giratorio y un eje paralelo al eje. Se utilizo este mecanismo ya que los motores a utilizar serian de taladro, los cuales no soportarían el peso de la estructura. Así mismo, este sistema permite un mejor desplazamiento en el sistema de transmisión.

Se diseño en SolidWorks un acople el cual sería introducido en el mandril del taladro y en el eje de transmisión. Se mecanizo un orificio en el eje de media pulgada con una profundidad de tres cuartos de pulgada. A su vez, se hicieron dos orificios de un cuarto de milímetro en el eje donde irían introducidos dos tornillos prisioneros. Estos con el fin de mantener sujeto el acople del motor para permitir el movimiento simultaneo entre ambos mecanismos. Se mecanizo un acople que en un lado tendría un cilindro que se acoplaría en el eje y en su parte anterior tendría un espacio donde iría acoplado el mandril del taladro. Este sistema se diseñó con para poder ser conectado y desconectado de manera rápida y sencilla.

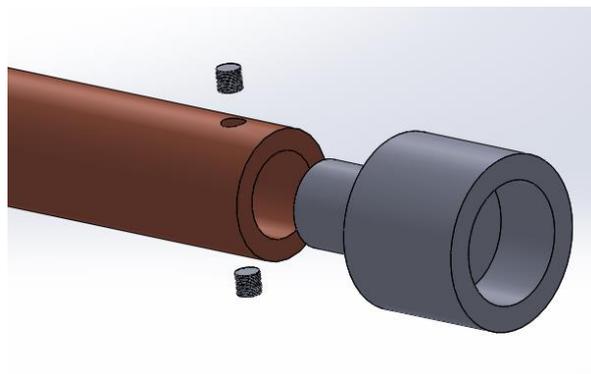


Figura 25. Diseño de Acople del Motor con el Eje

Fuente: Propia

(Kartini et al., 2017) nos informa como:

Modelado computacional de superficies de contacto entre implantes y superficies rugosas requiere el uso de elementos finitos modelado en software CAE. La superficie rugosa de conectar los componentes se puede modelar como una superficie rugosa

homogénea derivado de la ecuación en Matlab. Las superficies de contacto en los implantes biomédicos, por ejemplo. implantación de caderas artificiales y las rodillas tienen una superficie rugosa a microescala.

Para el diseño de implantes en el cuerpo humano se tienen que tomar en cuantas medidas únicas para cada persona. Es por esto por lo que el uso de superficies es un aporte de gran importancia hoy en día. Esta herramienta fue utilizada para la elaboración de un chasis el cual protegerá al robot tele operado de objetos a su alrededor que le puedan dañar. En la figura 26 podemos ver el diseño que se realizó en SolidWorks con la ayuda de la herramienta de superficies. Con esta herramienta, se pueden crear diseños originales sin una geometría específica. Por ejemplo, los controles remotos están diseñados ergonómicamente para que estos puedan ser sujetos por la mano de una manera más cómoda. Estos diseños no son elaborados específicamente de formas geométricas dadas.

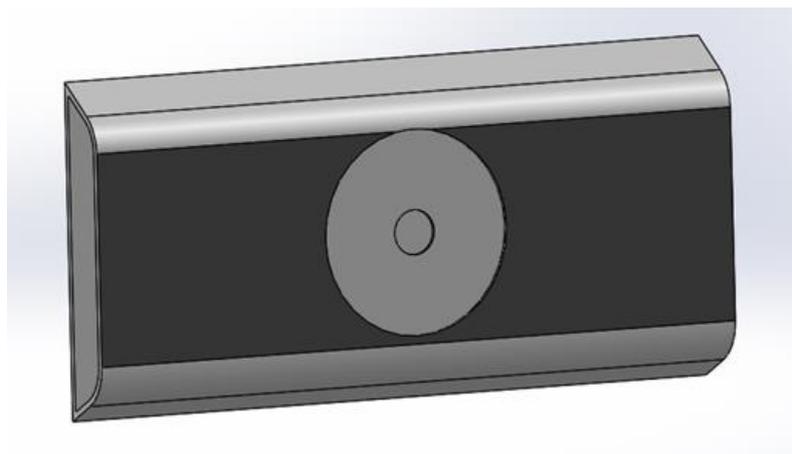


Figura 26. Diseño de Superficie de Carrocería

Fuente: Pineda (2020)

Debido a sus propiedades físicas, se consideró la elaboración de esta pieza con el material denominado TPU. (León et al., 2019) nos indique que el TPU tiene una "Flexibilidad excepcional (es decir alargamiento a la rotura) y resistencia a la corrosión para muchos productos químicos y aceites industriales comunes. Material altamente versátil con propiedades de caucho y plástico para una variedad de aplicaciones industriales." Este material tiene las capacidades específicas para el uso que se le quiere dar. Su versatilidad y propiedades de caucho lo hacen el material idóneo para la construcción de esta protección del robot. Con estas propiedades, los impactos recibidos por el robot serían absorbidos mayormente por esta superficie impresa la cual estará resguardando la parte frontal de la estructura.

B. Integración del Dominio de Control

Se llevaron a cabo pruebas y simulaciones de las funciones y algoritmos desarrollados. La función del puente H trabajo correctamente y las simulaciones mostraron su funcionalidad y precisión.

La función de PWM funciono correctamente en la simulación, sin embargo, es necesario realizar pruebas con las señales físicas y los actuadores para garantizar su confiabilidad.

En cuando al acondicionamiento de las señales analógicas, no fue efectivo, dado que las señales analógicas recibidas en el módulo de entradas no eran las esperadas. Se realizaron distintas pruebas haciendo uso de distintas señales físicas, pero ninguna pudo ser procesada exitosamente. Estas señales presentaban un rango de voltaje muy pequeño, de 0.24V a 0.38V, mientras que se acostumbra a trabajar con rangos de 0 a 10V. Al momento de escalar las señales recibidas, existieron fuertes variaciones, y nunca se logró obtener valores estables que mostraran una relación lineal con el cambio físico de la señal eléctrica.

C. Integración de los Periféricos

Se realizaron pruebas de las partes desarrolladas. El puente H funciona correctamente y permite la conmutación y cambio de giro de ambos motores del subsistema motriz. En la figura 27 se observan los relés que conforman el puente H conectados al PLC.

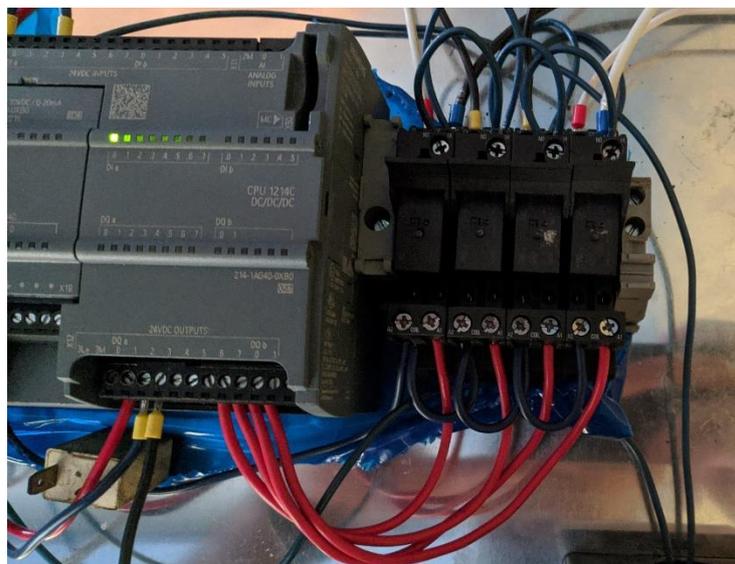


Figura 27. Puente H conectado a PLC

Fuente: Propia

El control de PWM no funciono como se esperaba, pero no se descarta, sino que se plantea cambiar ciertos parámetros del dominio de control y hacer pruebas con voltajes superiores. En un inicio se realizaron pruebas con un control PWM de una señal de 12V y una frecuencia de 100Hz, variando el ancho de pulso desde 0 hasta 100%. Al tener el valor del PWM en un 0%, los motores se mostraban estáticos como se esperaba, y al tener el PWM en un valor superior, los motores si mostraban movimiento, sin embargo, la variación de velocidad al aumentar el valor PWM en intervalos de 10% fui casi imperceptible. Para poder observar una variación de velocidad a simple vista, fue necesario hacer un cambio del valor PWM del 30% al 100% en un solo paso. En el ciclo B de la metodología, haremos cambios con los que se espera obtener mejores resultados.

La comunicación RF mostro ser efectiva en el aspecto de que el receptor respondía rápida y precisamente a los comandos del emisor, estas pruebas se llevaron a cabo conectando pequeños servomotores de 5V a los canales del receptor, y estos respondían a los pulsos PWM que se generaban debido a los cambios en el emisor. Posteriormente se intercambiaron los servomotores por módulos adquiridos que se esperaba fueran capaces de transformar los pulsos PWM, en una señal análoga que fuera posible procesar para el sistema de control. Sin embargo, los módulos no mostraron ningún tipo de respuesta ante los cambios del emisor, y no fue posible generar un valor análogo. Se hizo un intento por hacer una lectura de los valores PWM generados por el receptor, desde el sistema de control, pero como se mencionó en el apartado de la integración del dominio de control, no se logró obtener valores estables con los que fuera posible trabajar.

5.2.1.5 Etapa V: Integración de los Subsistemas

Se logro decidir cuáles serían los materiales adecuados para la construcción del chasis debido a los estudios pertinentes en SolidWorks. Se modifiko la estructura para que pudiera tener una mejor distribución de peso en las áreas que se podrían deformar. Se diseñaron las piezas que serían propias para el ensamblaje de los motores junto con los ejes que harían una mejor transmisión de movimiento. Se descarto el uso de bandas dentadas debido a su aplicación para transmisión rápida. A su vez se utilizarían cadenas y sprockets para lograr una mejor transmisión y un mayor torque.

Se logro integrar un subsistema motriz con motores que respondieran correctamente a los comandos del puente H, controlado por el PLC. El control PWM requiere mejoras en la parametrización y en algunos aspectos físicos con lo que se espera un mejor funcionamiento. En el siguiente ciclo, evaluaremos el desempeño de los motores ya montados en el robot.

Se descarto la utilización de comunicación RF para el control del robot, ya que se imposibilito la opción de procesar las señales generadas por este. Además de que, aunque hubiera funcionado correctamente, existía una limitante en el aspecto de que el PLC a utilizar, cuenta únicamente con dos canales para la lectura de señales analógicas por lo que se hubiera requerido de módulos de expansión para aprovechar los seis canales que brinda la comunicación RF con la que se experimentó. En el siguiente ciclo se elegirá un nuevo método de control.

5.2.1.6 Etapa VI: Integración de Sistemas

Después del ciclo A no se lograron integrar los sistemas debido a fallas en las pruebas y componentes definidos. Para el ciclo B se definirán nuevos componentes y métodos a utilizar para el desarrollo del prototipo.

De manera general, en el sistema mecánico se logró la creación de la estructura principal, sin embargo, está pendiente la integración de los mecanismos y partes móviles importantes para el movimiento del robot.

En cuanto al sistema de control, se desarrolló un algoritmo en lenguaje de escalera para manejar el movimiento del robot en función de las señales que le sean proveídas por el operador.

En el sistema periférico, se logró crear un subsistema motriz funcional, pero con detalles por mejorar. No se logró establecer un subsistema que brinde comandos de movimientos.

5.2.2 CICLO B DE LA METODOLOGÍA "V"

5.2.2.1 Etapa I: Nivel de Sistemas

Se analizo en una segunda instancia, los sistemas que integran la metodología, y los resultados de los cambios realizados después del ciclo A.

A. Sistema Mecánico

Según las modificaciones estudiadas en el ciclo A, se hicieron los planos a partir de dichos cambios y se procedió a elaborar la estructura. Se manipulo el material mecanizándolo de la manera adecuada y uniéndolo mediante soldadura. Mas adelante se incorporaron los demás elementos para la elaboración completa del robot.

B. Sistema de Control

Se agregarán nuevos elementos al sistema de control que permitan el control del robot de manera remota, prescindiendo del subsistema de control por radiofrecuencia que no se pudo implementar en el ciclo A.

La definición del PLC S7-1200 de Siemens como controlador se reafirma, obteniendo buenos resultados de implementación y confiabilidad durante las pruebas.

C. Sistema Eléctrico

Redefinimos nuestro tercer sistema como sistema eléctrico, previamente sistema periférico, ya que expone de mejor manera lo que este conlleva. Se realizaron varios cambios en los subsistemas y componentes a utilizar debido a fallas en las pruebas realizadas después del ciclo A.

5.2.2.2 Etapa II: Nivel De Subsistemas

Analizaremos los subsistemas que componen el proyecto después del ciclo A, y los resultados de los cambios realizados en los subsistemas.

A. Subsistemas Mecánicos

1. Chasis: se hicieron los cortes de acuerdo con los planos finales de la estructura, estos a su vez fueron soldados.
2. Engranajes y cadenas: los sprockets y las cadenas fueron elegidas dependiendo del torque que estas logran soportar. A su vez fueron mecanizados para poder incorporarse a sus debdos ejes y distancias según el largo de chasis.
3. Tensores: Se incluyeron unos tensores de cadena los cuales lograron una mejor transmisión de movimiento. Estos logran mantener la cadena extendida lo cual permite menor ruido y una transmisión más suave.

4. Acoples: Se mecanizaron unos acoples los cuales unieron el movimiento del motor hacia el eje.
5. Impresión de superficies: Se imprimió una superficie con TPU para que esta pieza lograra amortiguar los impactos que la estructura pudiese recibir de la parte delantera.

B. Subsistema de Control

Dentro de los subsistemas de control para el ciclo B, exponemos lo siguiente:

1. Subsistema físico de E/S: Se prescindió del uso de entradas análogas. Siendo ahora las entradas físicas solamente digitales. Las salidas no vieron cambios.
2. Servidor Web: Se definió un control por medio de un *web server* que permitirá el control de manera teleoperada. Para esto se requieren de diversas partes, como una interfaz, un medio de comunicación y un host.
3. Subsistema de Programación en Ladder: Se mejoraron los algoritmos para evitar accionamientos en caso de posibles errores.

C. Subsistemas Eléctricos

Los subsistemas eléctricos para el ciclo B se definen como sigue:

1. Subsistema motriz: No se realizaron cambios después del ciclo A.
2. Subsistema RF: Se eliminó y se reemplazó por un control *web serve* que forma parte del sistema de control.
3. Subsistema de alimentación: Se definieron los componentes de alimentación a utilizar para el correcto funcionamiento de todos los componentes eléctricos y de control.

5.2.2.3 Etapa III: Realización de Partes

A. Partes Mecánicas

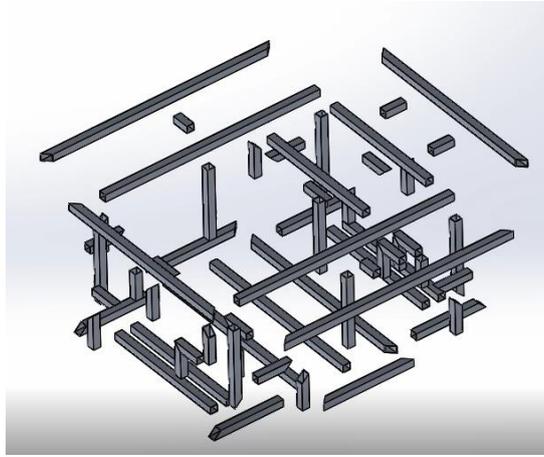


Figura 28. Versión Explosionada de la Estructura Final

Fuente: Propia

Se cortaron las piezas con las medidas pertinentes para alcanzar la estructura deseada. En las esquinas, se hicieron cortes de 45 grados para que el peso sea distribuya de una manera más homogénea en la soldadura. Antes de hacer el cordón de soldadura, primeramente, se hace un pequeño chaflanado en las esquinas de los perfiles a soldar. Esto con el propósito de agregar un mayor aporte de aluminio a la soldadura para que este tenga mayor resistencia. Luego de esto, se hacer puntos de soldadura para mantener la posición correcta de los perfiles y hacer correcciones si es necesario. Se utilizo una soldadura de tipo TIG con material de aporte de aluminio y con gas de Argón. Este método es muy utilizado en la industria para soldar aluminio y el Argón es accesible y más fácil de conseguir. En la figura 29 podemos ver la estructura del chasis terminada y pintada de color negro. La estructura final de aluminio ya soldada tuvo un peso de 10 libras aproximadamente, sin ningún componente agregado.



Figura 29. Estructura Fabricada de Aluminio

Fuente: Propia

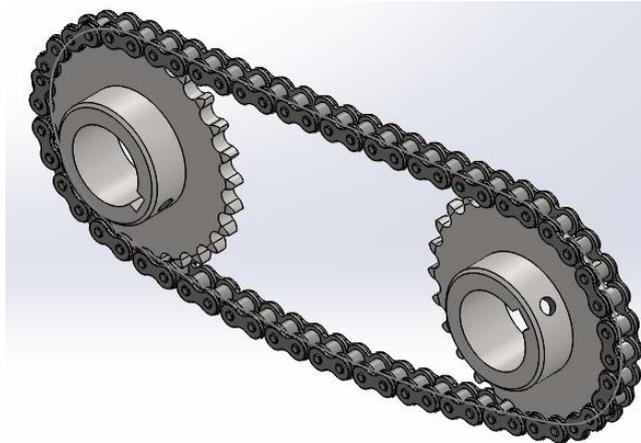


Figura 30. Sistema de Transmisión: Engrane y Cadena

Fuente: Propia

Mott & González y Pozo (2006) nos indican que:

En la condición de baja velocidad y gran par de torsión, las transmisiones con cadenas son adecuadas. El gran par torsional causa grandes fuerzas de tensión en la cadena. En el caso normal, los elementos de la cadena son metálicos, y sus dimensiones resisten las grandes fuerzas. Los eslabones de las cadenas engranan en las catarinas, para formar un accionamiento mecánico positivo, adecuado a las condiciones de baja velocidad y gran par de torsión (p281).

Debido a las propiedades que nos brinda un sistema de engranes y cadenas, se puede transmitir un nivel de potencia con mayor tracción y torsión. La fabricación del robot se hace con la intención de resistir grandes pesos, por lo cual ocuparía gran par de torsión para que este se mueva. Las bandas a su vez, tiene un grado más alto de desgaste y de propiedades elásticas que se degradarían con mayor facilidad al pasar el tiempo.



Figura 31. Sistema de Cadenas y Sprocket

Fuente: Propia

En la figura 31 se puede apreciar el sistema de cadena y sprockets utilizados en el robot para la transmisión de movimiento. Una vez integrado este sistema, se dio a conocer un problema con las cadenas. Se utilizaron cadenas RC 40 utilizadas mayormente para sistemas de motor, por si alta resistencia a la torsión. Estas cadenas son más rígidas y resistentes que las cadenas utilizadas en las bicicletas. Al poner este tipo de cadenas en el sistema, se dio a conocer que estas no adquirirían la tensión necesaria, lo cual provocaba que las cadenas rozaran la parte inferior de la estructura. Es por esto por lo que se decidió implementar un nuevo sistema a la estructura, unos tensores de cadena.

Los tensores de cadena se utilizan en muchos sistemas de transmisión para lograr adquirir la tensión necesaria para que la cadena en cuestión tenga la mayor tracción posible. Se decidió mecanizar rodillos de nylon para lograr este objetivo. (León et al., 2019) no indica que "Material ideal para aplicaciones que requieren componentes de protección contra impactos y alta resistencia a la fatiga, incluidas cubiertas y antenas, herramientas de producción personalizada, insertos de ajuste por fricción y ajustes a presión en las industrias automotriz y aeroespacial."



Figura 32. Tensores de Cadena de Nylon

Fuente: Elaboración propia

Debido a sus propiedades físicas, el nylon es muy utilizado para este tipo de sistemas ya que tiene la suficiente resistencia a la fatiga para ser capaces de aguantar la fricción de la cadena. En la figura 32 se observan los rodamientos mecanizados con sus ejes para permitir el desplazamiento angular de los mismos, al igual que un canal sobre el cual las cadenas mantienen su curso. Dos ángulos fueron atornillados en la parte inferior de la estructura en los cuales fueron introducidos los rodamientos para obtener la tensión necesaria de la cadena. Todo esto con el propósito de obtener una mejor transmisión de movimiento y evitar vibraciones que podrían perjudicar tanto la transmisión como causar daños a la estructura inferior del chasis.



Figura 33. Motores de Taladro

Fuente: Propia

Se utilizaron motores de taladro previamente utilizados para mover un robot en competencias de pelea. Como se puede observar en la figura 33, las llantas fueron soldadas al mandril del taladro, provocando que el peso recayera sobre este. Este método de transmisión no es muy

efectivo ya que provoca un mayor incremento en el esfuerzo del motor. Es por esta razón que se utilizaron chumaceras en la estructura del robot tele operado. Se decidió cortar las secciones utilizadas previamente, solo dejando una sección del mandril.

En la figura 34 se puede ver el sistema de acoplamiento ya terminado y funcional. El acople se fabricó en un torno y, por un lado, este fue soldado al motor. En la extensión que va conectada al eje, se hizo un desbaste con una pulidora en ambos lados del cilindro. Esto se debe a que los prisioneros deben tener una superficie plana para poder cumplir con su cometido a totalidad. Este sistema puede ser intercambiado fácilmente por otro si se quisiera modificar en un futuro por un motor de mayor torque.



Figura 34. Acoplamiento de Motor de Taladro con Eje

Fuente: Propia

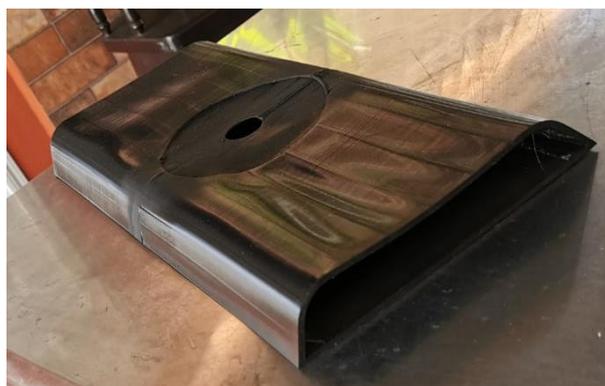


Figura 35. Impresión de Superficie de Carrocería con TPU

Fuente: Propia

En la figura 35 vemos la fabricación terminada de la pieza delantera que va a actuar como protector contra los impactos. Se le hizo una sección en la parte frontal donde una cámara puede ser agregada a la estructura como sensor adicional. Esta estructura fue elaborada con

TPU, con un tiempo de elaboración de 3 días con 12 horas. Se corrobora la elasticidad que se puede llegar a obtener con este tipo de material y con este tipo de metodología de diseño.



Figura 36. Impresión siendo sometida a un impacto

Fuente: Propia

En la figura 36 podemos ver la estructura siendo sometida a un impacto externo. Se pudo apreciar como la estructura recibió el impacto y rápidamente volvió a mantener su forma estructural inicial. Esto gracias a las propiedades flexibles y de tipo caucho que se pueden obtener del TPU. Con esta estructura, el robot puede llegar a obtener una mayor protección de impactos extraños a lo largo de sus tareas diarias.



Figura 37. Impresión de Superficie, Vista Lateral

Fuente: Propia

Debido a su diseño estructural, como se mira en la figura 37, esta pieza puede llegar a recibir gran parte del impacto de otro objeto, pero este requiere de una estructura más firme en su parte central. Se crea una gran deformación en la estructura debido a su poca rigidez. Se sugiere la elaboración de un esqueleto interno en la parte central de la superficie para que este reciba el resto del impacto, y este o se deforme. Esto con el objetivo de que el TPU logre absorber el impacto inicial, ya que este se encuentra en la parte externa, y el esqueleto interno pueda recibir el momento e impacto restante.

B. Partes del Dominio de Control

Para este sistema previamente se habían elaborado funciones de control PWM y de puente H. Para el ciclo B del dominio de control, fue necesario realizar lo siguiente:

1. Medio de comunicación: Se definió un control por medio de Wi-Fi. Para esto fue necesario la implementación de un router y la configuración de una red LAN donde pudieran conectarse el controlador y los dispositivos de control a utilizar,
2. Página Web: Se desarrolló una interfaz web haciendo uso de los lenguajes HTML, CSS y JavaScript. Para esto utilizamos el entorno de Visual Studio Code que permitió la creación de la página.

La interfaz creada es un prototipo sencillo pero funcional que permite controlar una cantidad ilimitada de variables. En la figura 38 se puede apreciar como luce la interfaz web.

VARIABLE	VALUE
Stop	1
Station 1	0
Station 2	0
Station 3	0
PWM	100

Figura 38. Prototipo de Interfaz Web

Fuente: Propia

En la figura 39 se puede ver un renderizado que ejemplifica una posible aplicación del área logística para el robot móvil. Existirán tres estaciones donde el robot llegara dependiendo de la instrucción recibida. Con el uso de sensores el robot detectara cuando haya logrado llegar a la estación.

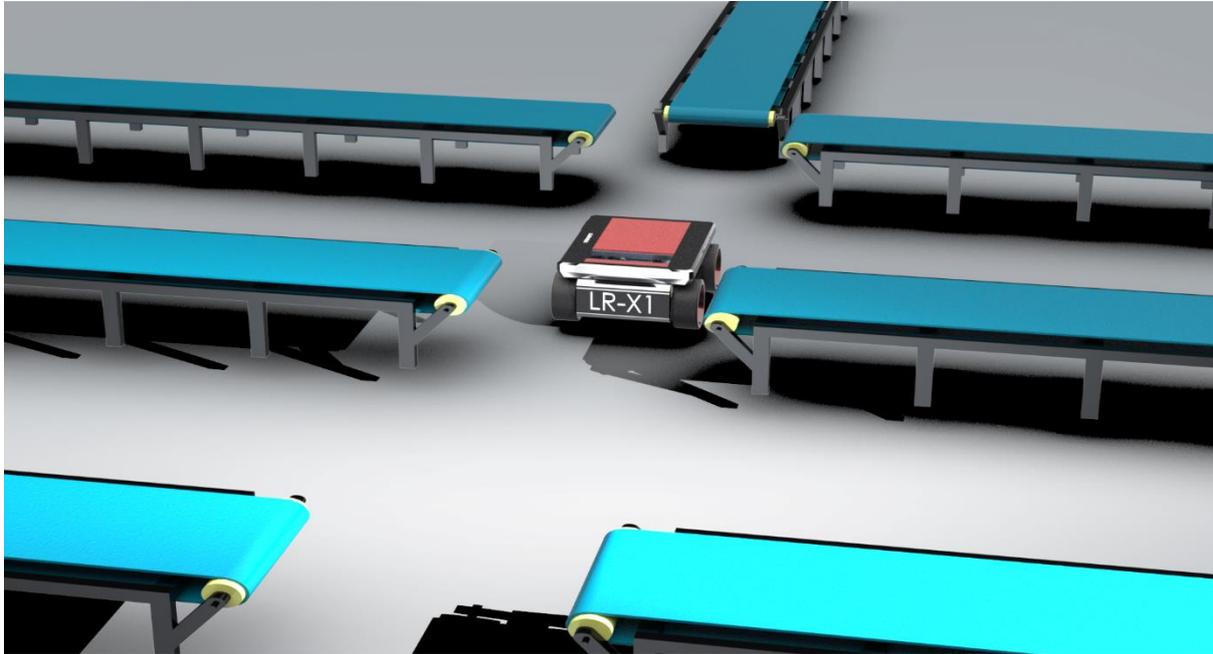


Figura 39. Ejemplo de aplicación del robot móvil con tres estaciones

Fuente: Propia

Fue necesario emplear comandos especiales para leer y escribir variables al PLC Siemens. Estos comandos se definen como AWP y se emplean en conjunto con el web server del PLC para permitir la comunicación. Existe una nomenclatura específica que se debe usar para escribir y para leer variables. En la figura 40 se puede ver la declaración de comandos AWP en Visual Studio Code que se utilizó para escribir las variables de control. Aunque parezca bizarro, los comandos se realizan en forma de comentarios dentro del archivo HTML, y se realiza una declaración por variable a escribir. Sin el uso de estos comandos, no es posible cambiar el estado de las variables en el PLC.

```
PLC Web Server > PLC_WebServer.html
1 <!DOCTYPE html>
2
3 <!-- AWP_In_Variable Name="Web Server Data".pwm'> -->
4 <!-- AWP_In_Variable Name="Adelante"> -->
5 <!-- AWP_In_Variable Name="Atras"> -->
6 <!-- AWP_In_Variable Name="Derecha"> -->
7 <!-- AWP_In_Variable Name="Izquierda"> -->
8 <!-- AWP_In_Variable Name="Detenido"> -->
```

Figura 40. Comandos AWP

Fuente: Propia

3. Web Server: Es necesario configurar la función Web Server intrínseca del PLC Siemens, este permite hostear los archivos necesarios (HTML, CSS, etc.) para poder acceder a la página web. A la vez, es necesario utilizarlo para poder alterar las variables del sistema desde la interfaz web. En la figura 41 se muestra la configuración requerida para cargar los archivos. Es necesario crear una carpeta e indicarle el programa la ruta y cuál será la página HTML de inicio. Al haber especificado los archivos, es necesario generar los bloques de programa. Por defecto los bloques creados son el 333 y el 334.

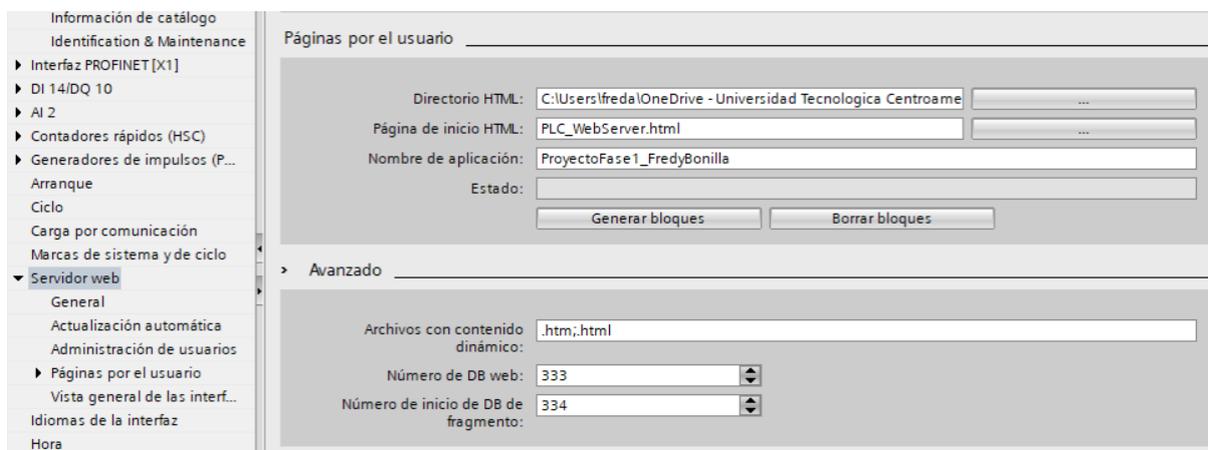


Figura 41. Configuración de Web Server

Fuente: Propia

Después de haber realizado las configuraciones necesarias, es obligatorio llamar el bloque WWW de TIA Portal. En la figura 42 se observa el bloque mencionado y se pasa como parámetro el bloque de datos creado, en este caso el 333 como se mencionó previamente.

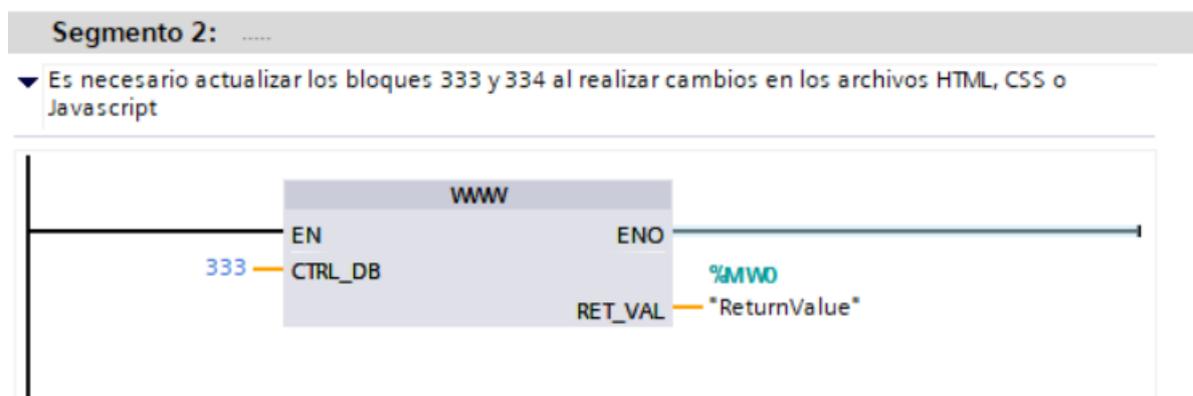


Figura 42. Bloque de función para web server.

Fuente: Propia

C. Partes Eléctricas

Después del ciclo A, quedo establecido el funcionamiento del puente H y se descartó la comunicación por radiofrecuencia, por lo que no se necesitó del acondicionamiento de señales análogas. Para el ciclo B, se realizó lo siguiente:

- Alimentación Eléctrica: Se determino que se necesitaba la alimentación de tres voltajes distintos para los distintos componentes del proyecto. Se utilizaron baterías del tipo LiPo de 14.8V, 9Ah, 100C para los motores, ya que estos demandan un alto pico de corriente en el arranque. Además, se requiere alimentación de 24VDC y de 9VDC a bajo amperaje, para la alimentación del PLC y del router respectivamente.
- Placa de control PWM. Se investigaron alternativas de control del PWM, teniendo ahora dos opciones disponibles a utilizar. Es posible emplear un relé de estado sólido o una placa electrónica a base de tiristores.

5.2.2.4 Etapa IV: Integración de Partes

A. Integración de Partes Mecánicas



Figura 43. Integración de Todas las Partes Mecánicas del Robot

Fuente: Propia

En la figura 43 se logra ver la estructura del robot integrada con todas sus partes mecánicas. En esta se pueden apreciar las cuatro llantas a sus lados laterales siendo sujetadas por sus ejes correspondientes. Estos ejes a su vez son sostenidos por dos chumaceras cada uno a los costados y en los lados internos de la estructura para que esta tenga una mejor distribución de peso en sí misma. En la figura 44 se puede ver el tipo de llantas utilizadas para el movimiento de tracción del robot. Estas llantas pueden llegar a aguantar un máximo de peso

de 230 libras cada uno. Obteniendo un total de soporte de casi mil libras en las cuartas llantas utilizadas. Para la sujeción del eje con la llanta, se elaboraron discos metálicos los cuales fueron soldados a los ejes a utilizar. A su vez, los discos fueron marcados y perforados donde se encontrarían con los tornillos situados en el área central la llanta. Se compraron tornillos de mayor tamaño para lograr lo sujeción propia de la chapa metálica con el eje.



Figura 44. Sujeción de Chapa Metálica Mecanizada

Fuente: Propia

En la figura 45 se logra ver la sujeción final de la chapa metálica con el eje de la llanta para que estos tengan un movimiento homogéneo rotatorio.



Figura 45. Peso del Chasis

Fuente: Propia

Al hacer diseño de la estructura del chasis y posteriormente el estudio de simulación en SolidWorks SimulationXpress, este tiro como resultado que la estructura tendría un peso de aproximadamente 6.65 kilogramos, lo que equivale a 14.64 libras. Luego de la fabricación de la estructura en físico, con el mismo material con el cual se hizo el estudio en el software, el peso total de la estructura fue de aproximadamente 10.5 libras. Esta discrepancia puede ser debido a que el único método que se tenía a mano para pesar la estructura era una báscula de baño. Aun así, no fue mucha la diferencia en el peso establecido por el software y el peso real. En este peso solo fue considerada la estructura, sin ningún aporte de los sistemas que se ingresaron más tarde.



Figura 46. Peso Final de la Estructura Con Todos los Componentes Mecánicos

Fuente: Propia

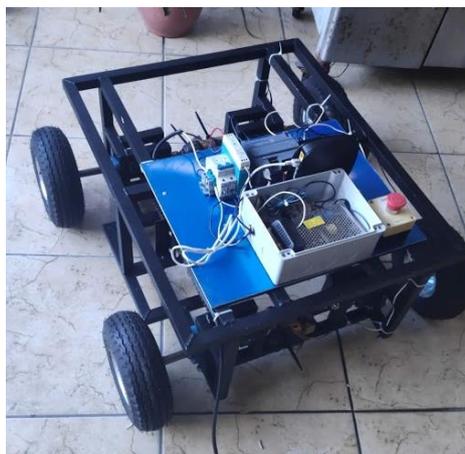


Figura 47. Robot durante las pruebas

Fuente: Propia

Tomando en cuenta todas sus partes mecánicas, al igual que las partes de control, el robot alcanzo un peso de 24 kilogramos aproximadamente, lo que equivale a 52.8 libras. El máximo peso al que este fue sometido fue de aproximadamente 196 libras y la estructura permaneció sin deformaciones y su transmisión sigue sin cambios. En la siguiente tabla se observan todos los materiales utilizados para la construcción de la estructura con todos sus sistemas mecánicos.

Tabla 7. Materiales Utilizados y Costos Mecánicos

	Cantidad	Total
Rueda 10 x 3.5 EJE 3/4	4	L2,175.80
Tubo Aluminio 1x1x20 Pies	3	L999.09
Sprocket	4	L872.02
Cadena	10	L828.00
Unión de Cadena	1	L17.25
Chumacera de Pared 3/4	8	L968.76
Acero Calibrado ¾	4	L361.19
Fabricación de Chasis	1	L7,900.00
Mecanizado de Ejes	1	L1,300.00
Arandela de Presión	16	L12.88
Tornillo 5/16 x 3/4	16	L36.80
Tornillo 7/16 x 2	15	L86.25
Tuerca 7/16	15	L15.18
Pintura Negra	3	L110.40
Impresión 3D	1	L 2,450.00
		L18,133.62
		\$ 725.34

Fuente: Propia

B. Integración del Dominio de Control

Se llevaron a cabo pruebas de comunicación para el intercambio de información y de estado de variables desde la interfaz web hasta el PLC. Para esto se requirió del uso de Wi-Fi y un router conectado al PLC, mismo que sirve de *host* para la página web. Al PLC se le configuro con la IP 192.168.1.31 de la red LAN creada. Cualquier dispositivo (smartphone, tableta o computadora) conectado a esta red, podría ingresar a la IP del PLC para monitorear el estado de las variables. En caso de querer describir el estado de las variables es necesario ingresar un usuario y contraseña preconfiguradas desde el PLC con el software TIA Portal. En la figura 48 se muestra la creación de un nuevo usuario llamado "admin" con acceso administrativo que permitirá el control total. Al tener los accesos, es posible cambiar el estado de cualquier de cualquier variable y hacer uso completo de la interfaz web. Por su parte, el PLC responde a las

instrucciones de manera inmediata, teniendo un control confiable y con tiempos de respuesta extremadamente rápidos.

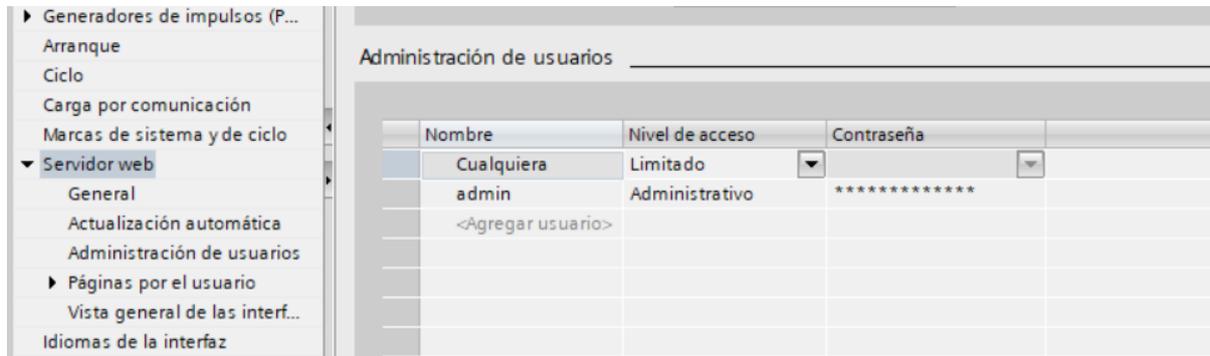


Figura 48. Creación de usuario administrativo en TIA Portal

Fuente: Propia

Dentro de los resultados podemos mencionar que se elaboró un sistema de comunicación confiable y que permite el control teleoperado desde distintos aparatos. Se hizo uso de distintos medios y herramientas para la configuración de esta. En la figura 49 se describe el ciclo de comunicación.

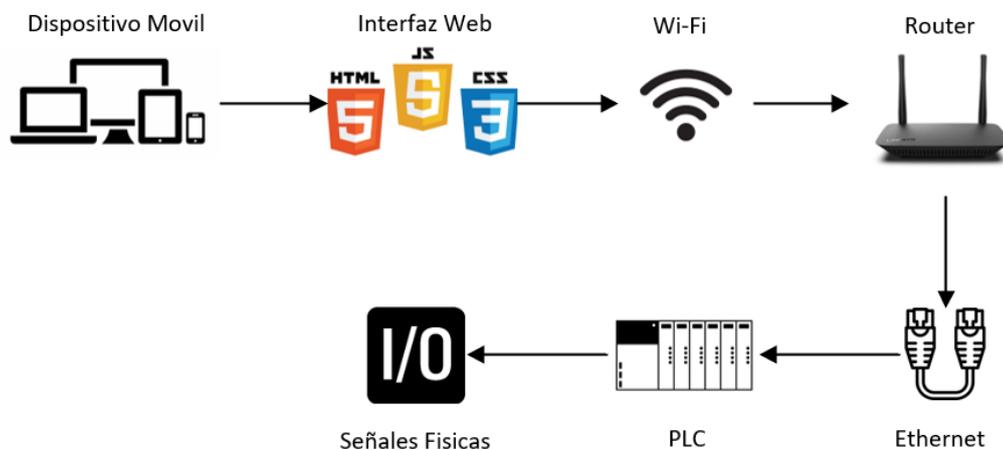


Figura 49. Sistema de control

Fuente: Propia

El uso de estos medios nos brinda distintos beneficios, como ser:

- Su alcance puede ser constantemente mejorado al depender de las especificaciones del router y sus posibles repetidores empleados
- Haciendo uso de un enrutador genérico se obtuvo un alcance de 60m con una comunicación instantánea.

- No dependemos de un solo dispositivo de control ya que haciendo uso de cualquier aparato con acceso a Wi-Fi es posible controlar y monitorear el robot, tan solo accediendo a la IP del controlador lógico, con un usuario y contraseña.
- Podemos leer y escribir una cantidad ilimitada de variables al PLC, por lo cual nuestra interfaz no se ve limitada en parámetros de control.

Algo a mejorar en este aspecto del proyecto es la fluidez de la página web. Con conocimientos básicos de desarrollo web se logró desarrollar un prototipo funcional que cumple con lo necesario, sin embargo, teniendo un conocimiento más amplio de JavaScript y JSON sería posible utilizar librerías como JQuery que permitirían que la interfaz fuera más dinámica y sus tiempos de respuesta fueran mejores.

C. Integración de Partes Eléctricas

Durante el ciclo A se validó el funcionamiento del puente H y el correcto accionamiento de los dos motores que dan la movilidad al motor, haciendo uso de fuentes de alimentación de 12VDC de 60W. Sin embargo, en las primeras pruebas, los motores estaban al vacío, y cuando se realizaron las pruebas con los motores montados y acoplados en la estructura mecánica, no se logró obtener movimiento. Esto se debe a la alta demanda de potencia de los motores para lograr mover la estructura.

Al cambiar la alimentación de los motores por la batería que se definió previamente (LiPo de 14.8V, 9Ah, 100C), el funcionamiento fue correcto y se obtuvo un accionamiento que permitió el movimiento del robot. Los resultados de las mediciones de consumo nos brindaron los siguientes resultados:

- Voltaje: 16.8V (Batería LiPo a 100% de carga)
- Pico de arranque: 18.8 A
- A trabajo pleno: 9.1 A

En cuanto al funcionamiento del PWM, se logró obtener variaciones significativas de voltaje promedio, en función de la instrucción dada al PLC. Con parámetros de duración de ciclos de 205ms se logró variar el voltaje desde 10.2 hasta los 16.8VDC que entrega la batería, esto haciendo uso de un relé de estado sólido conmutado por el PLC.

Por lo cual, es posible variar la velocidad de un motor DC haciendo uso de un relé de estado sólido genérico conmutado por un PLC. Sin embargo, este únicamente nos permitió variar la

velocidad en un motor DC en el último 40% del voltaje. Haciendo uso de relés de estado sólido de nivel industrial es posible obtener mejores resultados de control PWM.

Para objeto de este proyecto, requerimos de una variación de PWM más amplia que la proporcionada por el relé de estado sólido genérico. Por lo cual se acudió a una placa electrónica a base de tiristores con la funcionalidad específica de regular la velocidad de motores DC con un consumo de hasta 40 A. Esta placa se puede observar en la figura 50.



Figura 50. Placa de Control PWM

Fuente: Propia

5.2.2.5 *Etapas V: Integración de los Subsistemas*

En la integración de los subsistemas mecánicos se tuvieron que crear varias piezas para lograr un acoplamiento adecuado de todo el sistema. Se crearon placas para lograr una sujeción apropiada de los ejes con las llantas para obtener un sistema tipo rin de este. A su vez, debido a la distancia entre los sprockets, un sistema de tensores de cadena se tuvo que implementar para lograr obtener la tracción adecuada en el sistema de transmisión. La utilización de chumaceras es de vital importancia ya que permite a los motores liberarse del estrés de carga de la estructura misma.

La integración de los subsistemas de control implicó pruebas de accionamiento del puente H para el control de los motores. Controlando desde un dispositivo móvil, fue posible activar las salidas digitales que corresponden a los relevadores, sin ningún problema, con una comunicación eficaz e instantánea a través de Wi-Fi a una distancia de 50m.

El sistema eléctrico funcionó correctamente, con una alimentación que suple lo necesario para la activación de los motores, sin importar el pico de corriente que estos puedan alcanzar. Por

medio de un puente H es posible cambiar el giro de cualquiera de los dos motores de manera individual y por medio de una placa electrónica de tiristores es posible regular la velocidad de estos.

5.2.2.6 Etapa VI: Integración de los Sistemas

Se logro integrar un robot con un sistema mecánico capaz de moverse según los comandos proporcionados por un sistema de control a través de un sistema eléctrico. El diagrama de la figura 51, resume el funcionamiento del prototipo.

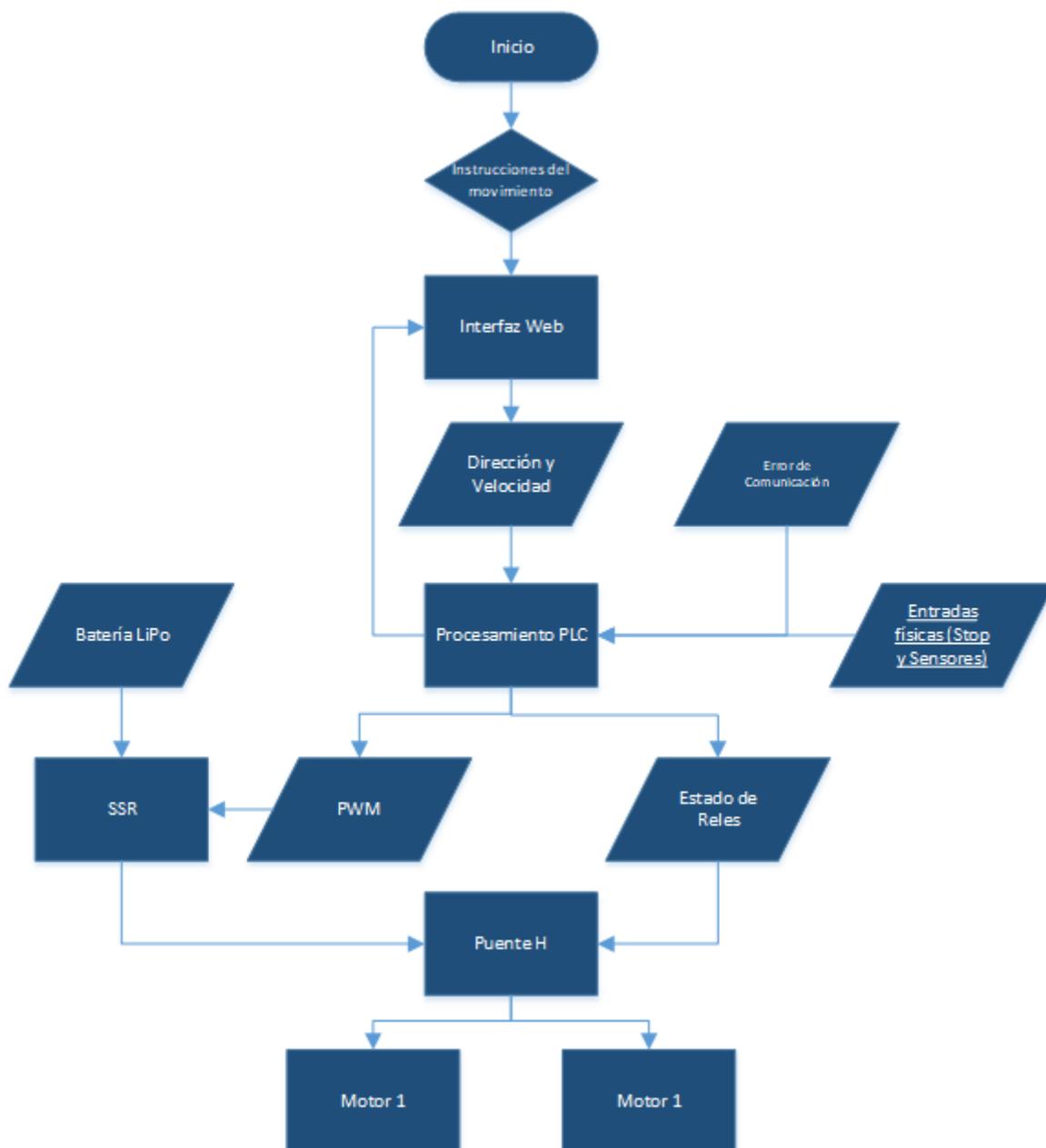


Figura 51. Diagrama de Flujo

Fuente: Propia

5.2.2.7 Resultado del Prototipo: Final del Ciclo B

Se logro fabricar y programar un robot teleoperado el cual puede soportar altas cargas para los procesos industriales. En la figura 52 se puede apreciar el resultado. En esta figura se logran apreciar todos los sistemas integrados y listos para su correcto funcionamiento. El robot logra su cometido de soportar cargas pesadas. La teleoperación de un robot por medio de Wi-Fi y un servidor web nos brinda una comunicación de buen alcance y que puede ser ampliado según los dispositivos de red que se apliquen. La incorporación de un PLC al sistema provee de un sistema de control capaz de aguantar el ambiente poco amigable al que pueda estar sometido el robot en la industria.



Figura 52. Prototipo Resultante

Fuente: Propia

En la tabla 8 se logra corroborar todos los costos de los materiales y procesos que fueron involucrados en la elaboración de este robot. Con esto podemos concluir que la construcción de un robot en países de poco auge en la robótica es posible. Se pueden encontrar las piezas

claves para elaborar sistemas que se pueden utilizar en procesos industriales. Mas aun, son pocos los elementos que no se encuentran en nuestro mercado. El sector industrial de países como el nuestro se cohibe al pensar en implementar la robótica en sus procesos industriales debido a los costos que este implicaría. Ahora, con estos resultados, este temor se puede llegar a aplanar ya que, con un debido estudio del proceso, es posible la creación de un sistema robotizado en nuestra industria. Mas aun, con la propia adquisición de elementos de soldadura y torneado, los costos podrían bajar aún más debido a que la mano de obra se reduciría exponencialmente.

Tabla 8. Presupuesto de compras del robot

Componente	Cantidad	Precio (USD)
Llantas	4	87.03
Tubos cuadrados de aluminio (20 ft)	3	39.96
Sprockets	4	34.88
Cadena acerada	10	34.00
Chumaceras 3/4"	8	38.75
Acero calibrado 3/4"	4	14.45
Tornillería	1	11.00
Latas de pintura	3	14.97
Impresión 3D	1	106.00
S7-1214 Siemens PLC	1	320.00
Batería LiPo (4S, 9Ah, 100C)	1	71.00
Relés	4	36.00
Relés de estado solido	1	40.00
Router	1	40.00
Motores DC	2	95.00
Componentes Eléctricos	1	40.00
Sensores ultrasónicos	2	160.00
TOTAL		\$1,183.04

Fuente: Propia

Adicionalmente, es necesario determinar los costos por concepto del trabajo realizado por las personas que desarrollaron el proyecto. Habiéndose realizados distintos tipos de trabajos, ya sean de ingeniería o de mano de obra técnica. Estos costos los detallaremos en la tabla 9.

Tabla 9. Costos por mano de obra

Descripción	Horas	Precio por hora	Total
Diseño del sistema de control y sistema eléctrico	40	5.00	200.00
Programación de PLC	24	5.00	120.00
Programación de interfaz web	20	5.00	100.00
Conexión de sistema eléctrico	16	1.50	24.00
Diseño de sistema mecánico	24	5.00	120.00
Fabricación del chasis	40	7.90	316.00
Trabajo de torno	24	2.17	52.08
Integración de diseño mecánico	40	5.00	200.00
TOTAL (USD)			\$ 1,132.08

Después de haber calculado los respectivos presupuestos, obtenemos un precio total de \$2,315.12, al haber sumado el precio de los componentes (\$1,183.04), y los costos por mano de obra (\$1,132.08).

VI CONCLUSIONES

En el presente capítulo se mostrarán las conclusiones obtenidas en base a las diferentes pruebas y resultados.

1. Los procesos industriales apoyados por la robótica pueden lograr una mayor precisión y rentabilidad. Son más sostenibles, seguros y efectivos. Los robots que operan de manera correcta en la logística son de cuatro a seis veces más eficientes que los humanos, mejorando la calidad y con tiempos de ciclo más cortos. Adicionalmente nos pueden reducir los costos operativos en un 20% y hasta un 40%. (Mikušová et al., 2017)
2. Se logro completar los requerimientos adecuados de un sistema de transmisión confiable para el movimiento del robot. Así como una estructura la cual soporte cargas elevadas con materiales resistentes.
3. La construcción de una estructura resistente y liviana de un robot es posible. Se encontraron los materiales adecuados al igual que los procesos apropiados para la elaboración de una estructura de aluminio con peso de 4.54 kg. Esta estructura se analizó con un peso de 45.45 kg con una deformación máxima de $4.091e^{-05}mm$. Al colocar todos los elementos mecánicos y de control la masa final del robot es de 24 kg.
4. El TPU es un material confiable para la elaboración de carrocería de un robot para evitar que este reciba daños debido a sus propiedades de alto impacto.
5. EL conjunto del sistema de control y eléctrico de un robot móvil debe cumplir con estándares de confiabilidad, tiempos de reacción y facilidad de operación para que la manipulación sea eficiente.
6. La teleoperación de un robot por medio de Wi-Fi y un servidor web nos brinda una comunicación de buen alcance y que puede ser ampliado según los dispositivos de red que se apliquen. Los tiempos de respuesta son muy altos dentro de redes locales y permiten la escritura y lectura de una cantidad ilimitada de todo tipo de variables.
7. El uso de PLC en la teleoperación de procesos industriales para el control de robots brinda varios beneficios debido a su alto rendimiento y confiabilidad al momento de aplicarlos, ya que estos deben cumplir diversos estándares (Bhakhar Rikin, 2015). Se

logro controlar un movimiento básico haciendo uso de puentes H y relés de estado sólido para determinar la dirección y velocidad del robot. Se alcanzo una velocidad de 2.3 m/s, con un consumo de corriente de 18.8A en el arranque y 9.1A a trabajo pleno de los motores, con un voltaje nominal de 16.8VDC.

VII RECOMENDACIONES

En este capítulo se darán a conocer algunas recomendaciones que se consideran pertinentes a tomar en consideración en el proceso y elaboración que se dio a cabo en la realización del robot tele operado.

1. El TPU es un material idóneo para la elaboración de un recubrimiento externo de la carrocería, la cual se pudo diseñar en SolidWorks y ser impresa en 3D. Mas, sin embargo, es recomendable la construcción de un esqueleto interno para obtener una mayor absorción de impacto. Debido a que el TPU tiene propiedades de tipo caucho, su firmeza no es suficiente y se deforma con facilidad. Por esta razón se recomienda una estructura interna de otro material de alta resistencia al impacto, como lo es el nylon.
2. Se recomienda el uso de servidores web para el control de procesos con PLC. Este tipo de control permite la tele operación desde varios dispositivos móviles mientras tengan acceso a Wi-Fi. Es posible leer y escribir una cantidad ilimitada de variables de todo tipo con una comunicación instantánea.

VIII BIBLIOGRAFÍA

- ABB. (2020). *Servo Motors*. <https://www.baldor.com/brands/baldor-reliance/products/motors/servo-motors>
- Abbass, M. K., & Raheef, K. M. (2018). Evaluation of the mechanical properties of friction stir lap welded joints for dissimilar aluminum alloys(AA1100 To AA6061). *2018 1st International Scientific Conference of Engineering Sciences - 3rd Scientific Conference of Engineering Science (ISCES)*, 192–197. <https://doi.org/10.1109/ISCES.2018.8340552>
- Aristizabal', L. A. G., & Correa, J. C. (2016). Desarrollo de aplicaciones para un manipulador serial en el laboratorio de robotica de la Universidad Pontificia Bolivariana. *2016 IEEE Colombian Conference on Robotics and Automation (CCRA)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/CCRA.2016.7811407>
- Asociación Hondureña de Maquiladores*. (2020). <http://www.ahm-honduras.com/>
- Beer, F. P., Johnston, E. R., Cornwell, P. J., Ríos Sánchez, M. Á., & Hidalgo Cavazos, F. de J. (2010). *Mecánica vectorial para ingenieros: Dinámica, novena edición*. McGraw-Hill.
- Bhakhar Rikin. (2015). *IEC STANDARDS FOR PLC*. <https://doi.org/10.13140/2.1.2088.5284>
- Bohm, M., Ohms, J., & Wermser, D. (2019). Multi-Domain Time-Sensitive Networks—An East-Westbound Protocol for Dynamic TSN-Stream Configuration Across Domains. *2019 24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, 1363–1366. <https://doi.org/10.1109/ETFA.2019.8869280>
- Bonkenburg, T. (2016). *Robotics in Logistics*. DHL Customer Solutions & Innovation. https://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/about_us/logistics_insights/dhl_trendreport_robotics.pdf

- Brusso, B. C. (2018). 50 Years of Industrial Automation [History]. *IEEE Industry Applications Magazine*, 24(4), 8–11. <https://doi.org/10.1109/MIAS.2018.2820440>
- Campos, L. M. S., & Vazquez-Brust, D. A. (2016). Lean and green synergies in supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*, 21(5), 627–641. <https://doi.org/10.1108/SCM-03-2016-0101>
- Chapman, S. J., Rodríguez Pérez, C., & Santana Díaz Alfredo. (2012). *Máquinas eléctricas*. McGraw-Hill.
- Chopra, S. (2019). *Supply chain management: Strategy, planning and operation* (Seventh edition). Pearson Education.
- Choque Moscoso, C. J., Fiestas Sorogastua, E. M., & Prado Gardini, R. S. (2018). Efficient Implementation of a Cartesian Farmbot Robot for Agricultural Applications in the Region La Libertad-Peru. 2018 IEEE ANDESCON, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ANDESCON.2018.8564607>
- D'Aleo, V., & Sergi, B. S. (2017). Does logistics influence economic growth? The European experience. *Management Decision*, 55(8), 1613–1628. <https://doi.org/10.1108/MD-10-2016-0670>
- de Jesus Muriel-Pera, Y., Diaz-Piraquive, F. N., Rodriguez-Bernal, L. P., & Galeano-Camacho, E. G. (2018). Adoption of Strategies the Fourth Industrial Revolution by Micro, Small and Medium Enterprises in Bogota D.C. 2018 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI), 1–6. <https://doi.org/10.1109/CONIITI.2018.8587071>
- Department of Electrical and Electronics Engineering, KLE INSTITUTE OF TECHNOLOGY, HUBBALLI-580030, VTU BELAGAVI, Hudedmani, M. G., Umayal, R. M., Kabberalli, S. K.,

- & Hittalamani, R. (2017). Programmable Logic Controller (PLC) in Automation. *Advanced Journal of Graduate Research*, 2(1), 37–45. <https://doi.org/10.21467/ajgr.2.1.37-45>
- Drašković, V. (2016). *Management and logistics: Selected topics*. SPH - Scientific Publishing Hub.
- Dunn, A. (2008). The father of invention: Dick Morley looks back on the 40th anniversary of the PLC. *Manufacturing Automation*.
- Enríquez Harper, G. (2004). *El ABC de la instrumentación en el control de procesos industriales*. Limusa/Noriega Editores.
- Garip, Z. B., Atali, G., Karayel, D., & Ozkan, S. S. (2018). Path Planning for Multiple Mobile Robots in Static Environment using Hybrid Algorithm. *2018 2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ISMSIT.2018.8567321>
- Garza-Reyes, J. A., Kumar, V., Chaikittisilp, S., & Tan, K. H. (2018). The effect of lean methods and tools on the environmental performance of manufacturing organisations. *International Journal of Production Economics*, 200, 170–180. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.03.030>
- Goel, R., & Gupta, P. (2020). Robotics and Industry 4.0. En A. Nayyar & A. Kumar (Eds.), *A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development* (pp. 157–169). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14544-6_9
- Gómez Aparicio, J. M. (2013). *Gestión logística y comercial*. McGraw-Hill/Interamericana de España. <https://elibro.net/ereader/elibrodemo/50240>

- Hanssen, D. H. (2015). *Programmable Logic Controllers: A Practical Approach to IEC 61131-3 using CODESYS*. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118949214>
- Ho, M.-H., Lee, P.-H., & Wang, P. (2018). The Research of Low-profile Load Cell Design Sensitivity. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 423, 012044. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/423/1/012044>
- Hui, H., & McLaughlin, K. (2018, agosto 1). *Investigating Current PLC Security Issues Regarding Siemens S7 Communications and TIA Portal*. 5th International Symposium for ICS & SCADA Cyber Security Research 2018. <https://doi.org/10.14236/ewic/ICS2018.8>
- Inam, R., Raizer, K., Hata, A., Souza, R., Forsman, E., Cao, E., & Wang, S. (2018). Risk Assessment for Human-Robot Collaboration in an automated warehouse scenario. *2018 IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, 743–751. <https://doi.org/10.1109/ETFA.2018.8502466>
- International Federation of Robotics. (2018). *Executive Summary World Robotics 2018 Service Robots*. https://ifr.org/downloads/press2018/Executive_Summary_WR_Service_Robots_2018.pdf
- Jean-François, A., Ojala, L., Wiederier, C., Shepherd, B., Raj, A., Dairabayeva, K., & Kiiski, T. (2018). *Connecting to Compete 2018: Trade Logistics in the Global Economy*. World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/29971/LPI2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Jeffus, L. F. (2004). *Welding: Principles and applications* (5th ed). Thomson/Delmar Learning.

- Koseoglu, M., Celik, O. M., & Pektas, O. (2017). Design of an autonomous mobile robot based on ROS. *2017 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/IDAP.2017.8090199>
- Kubela, T., Pochyly, A., & Singule, V. (2016). Assessment of industrial robots accuracy in relation to accuracy improvement in machining processes. *2016 IEEE International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC)*, 720–725. <https://doi.org/10.1109/EPEPMC.2016.7752083>
- Lee, D. (2014). Robots in the shipbuilding industry. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 30(5), 442–450. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2014.02.002>
- Lee, K., Gu, T., & Bang, Y. (2020). Analysis of Accuracy and Measuring Range of Dual Absolute Encoder System. *IEEE Sensors Journal*, 20(6), 2997–3004. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2019.2955381>
- Leidenger, O. M. (1997). *Procesos industriales*. Pontificia Universidad Católica del Peru: Fondo Editorial.
- León, M., Marcos-Fernández, A., & Rodriguez Hernandez, J. (2019). *Impresión 3D con materiales elástoméricos*.
- Lin, H.-L., Lee, C.-H., Chen, H.-Y., & Nan, F.-J. (2018). Effects of the MIG weld-brazing parameter on the lap-joint performance of aluminum alloy to galvanized steel sheet. *2018 IEEE International Conference on Advanced Manufacturing (ICAM)*, 40–43. <https://doi.org/10.1109/AMCON.2018.8615082>

- Liu, Y., Chen, M., & Huang, H. (2019). Multi-agent Pathfinding Based on Improved Cooperative A* in Kiva System. *2019 5th International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR)*, 633–638. <https://doi.org/10.1109/ICCAR.2019.8813319>
- Llanes-Cedeño, E. A., Peralta-Zurita, D., Pucha-Tambo, M., Rocha-Hoyos, J. C., Llanes-Cedeño, E. A., Peralta-Zurita, D., Pucha-Tambo, M., & Rocha-Hoyos, J. C. (2019). Caracterización mecánica a flexión de materiales compuestos con matriz fotopolimérica reforzados con fibras de abacá y cabuya mediante impresión 3d. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, 22, 100–112.
- Martí, L., Martín, J. C., & Puertas, R. (2017). A Dea-Logistics Performance Index. *Journal of Applied Economics*, 20(1), 169–192. [https://doi.org/10.1016/S1514-0326\(17\)30008-9](https://doi.org/10.1016/S1514-0326(17)30008-9)
- Mikušová, N., Čujan, Z., & Tomková, E. (2017). Robotization of Logistics Processes. *MATEC Web of Conferences*, 134, 00038. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201713400038>
- Miranda Colorado, R. (2016). *Cinemática y dinámica de robots manipuladores*. Alfaomega: Marcombo.
- Moermond, J. (2017, junio 7). *What is a Capacitive Sensor?* AUTOMATION INSIGHTS. <https://automation-insights.blog/2017/06/07/what-is-a-capacitive-sensor/>
- Naciones Unidas, & Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2019). *Panorama social de América Latina 2019*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Ollero Baturone, A. (2001). *Robótica: Manipuladores y robots móviles*. Marcombo.
- Pena-Cabrera, M., Lomas, V., & Lefranc, G. (2019a). Fourth industrial revolution and its impact on society. *2019 IEEE CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering*,

Information and Communication Technologies (CHILECON), 1–6.
<https://doi.org/10.1109/CHILECON47746.2019.8988083>

Pena-Cabrera, M., Lomas, V., & Lefranc, G. (2019b). Fourth industrial revolution and its impact on society. *2019 IEEE CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON)*, 1–6.
<https://doi.org/10.1109/CHILECON47746.2019.8988083>

Pepperl+Fuchs. (2020, julio 29). *Ultrasonic Sensors*. Pepperl+Fuchs. https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/classid_182.htm

Perdomo, M. E., & Ordóñez Ávila, J. L. (2019). Simulación con robots colaborativos para prácticas de sistemas de información logística con estudiantes de ingeniería. *Innovare: Revista de ciencia y tecnología*, 8(2), 116–119.
<https://doi.org/10.5377/innovare.v8i2.9086>

Ping, J., Liu, Y., & Weng, D. (2019). Comparison in Depth Perception between Virtual Reality and Augmented Reality Systems. *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 1124–1125. <https://doi.org/10.1109/VR.2019.8798174>

Pinkam, N., Bonnet, F., & Chong, N. Y. (2016). Robot collaboration in warehouse. *2016 16th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*, 269–272.
<https://doi.org/10.1109/ICCAS.2016.7832331>

Poluha, R. G. (2016). *The quintessence of supply chain management*. Springer Berlin Heidelberg.

Programmable Logic Controllers PLCs | ABB. (2015). <https://new.abb.com/plc/programmable-logic-controllers-plcs>

- Ramanathan, R. (2015). The IEC 61131-3 programming languages features for industrial control systems. *2014 World Automation Congress (WAC)*, 598–603. <https://doi.org/10.1109/WAC.2014.6936062>
- Robla-Gomez, S., Becerra, V. M., Llata, J. R., Gonzalez-Sarabia, E., Torre-Ferrero, C., & Perez-Oria, J. (2017). Working Together: A Review on Safe Human-Robot Collaboration in Industrial Environments. *IEEE Access*, 5, 26754–26773. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2773127>
- Rockwell Automation. (2020). *Absolute Encoders*. Rockwell Automation. <https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/hardware/allen-bradley/motion-control/encoders/absolute-encoders.html>
- Ruishu, Z., Chang, Z., & Weigang, Z. (2018). The status and development of industrial robots. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 423, 012051. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/423/1/012051>
- Saffar, S., Jafar, F. A., & Idris, S. A. (2015). Navigation method of PLC based mobile robot. *2015 12th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)*, 507–511. <https://doi.org/10.1109/URAI.2015.7358816>
- Sakagami, N., Yumoto, Y., Takebayashi, T., & Kawamura, S. (2019). Development of dam inspection robot with negative pressure effect plate. *Journal of Field Robotics*, 36(8), 1422–1435. <https://doi.org/10.1002/rob.21911>
- Salunke, A., Ramani, S., Caisucar, M., Dessai, S., Trindade, V., & Vernekar, J. (2019). Glass Cleaning Robot for High Rise Buildings. *2019 International Conference on Innovative Sustainable Computational Technologies (CISCT)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/CISCT46613.2019.9008144>

- Sandoval Gutierrez, J., Herrera Lozada, J. C., Alvarez Cedillo, J. A., Medel Juarez, J. D. J., & Olguin Carbajal, M. (2016). DISEÑO, FABRICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE UN ROBOT DELTA DE BAJO COSTO. *DYNA INGENIERIA E INDUSTRIA*, 91(1), 346–352. <https://doi.org/10.6036/7687>
- Santos, D. (2019, noviembre 1). ¿Estamos listos para la cuarta revolución industrial? *Honduras Digital Challenge*. <https://hondurasdigitalchallenge.com/2019/11/01/estamos-listos-para-la-cuarta-revolucion-industrial-shaping-the-future-of-work/>
- Seemuang, N. (2017). A cleaning robot for greenhouse roofs. *2017 2nd International Conference on Control and Robotics Engineering (ICCRE)*, 49–52. <https://doi.org/10.1109/ICCRE.2017.7935040>
- Shariatee, M., Khosravi, H., & Fazl-Ersi, E. (2016). Safe collaboration of humans and SCARA robots. *2016 4th International Conference on Robotics and Mechatronics (ICROM)*, 589–594. <https://doi.org/10.1109/ICRoM.2016.7886809>
- Shi, N., Zeping, L., & Zhou, L. (2019). The construction elements of modern logistics system. *Journal of Physics: Conference Series*, 1176, 042060. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1176/4/042060>
- Silwal, A., Davidson, J. R., Karkee, M., Mo, C., Zhang, Q., & Lewis, K. (2017). Design, integration, and field evaluation of a robotic apple harvester. *Journal of Field Robotics*, 34(6), 1140–1159. <https://doi.org/10.1002/rob.21715>
- Song, J., Xi, N., Xu, F., Jia, K., & Zou, F. (2015). Servomotor modelling and control for safe robots. *2015 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, 1221–1226. <https://doi.org/10.1109/ROBIO.2015.7418938>

- Tanha, S. D. N., Dehkordi, S. F., & Korayem, A. H. (2018). Control a mobile robot in Social environments by considering human as a moving obstacle. *2018 6th RSI International Conference on Robotics and Mechatronics (ICRoM)*, 256–260. <https://doi.org/10.1109/ICRoM.2018.8657641>
- Tehyo, M., Palasai, P., Mekharat, A., Muangjunburee, P., Suthummanon, S., Binraheem, A., Binahmad, H., Meengam, C., & Chainarong, S. (2018). Experimental Comparison of TIG and Friction Stir Welded for Dissimilar Aluminum Alloy Plates. *2018 Third International Conference on Engineering Science and Innovative Technology (ESIT)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ESIT.2018.8665345>
- The World Bank. (2019). *GDP (current US\$)—Latin America & Caribbean | Data*. https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?locations=ZJ&most_recent_value_desc=true
- Uludag University, Sezer, S., Abasiz, T., & Bulent Ecevit University. (2017). The Impact of Logistics Industry on Economic Growth: An Application in OECD Countries. *Eurasian Journal of Social Sciences*, 5(1), 11–23. <https://doi.org/10.15604/ejss.2017.05.01.002>
- Varela, L., Araújo, A., Ávila, P., Castro, H., & Putnik, G. (2019). Evaluation of the Relation between Lean Manufacturing, Industry 4.0, and Sustainability. *Sustainability*, 11(5), 1439. <https://doi.org/10.3390/su11051439>
- Vignesh, T., Nivetha, R., Mowneka, G., & Selvakumar, D. (2019). Design and Fabrication of 6-axis Gesture Controlled Robot. *2019 5th International Conference on Advanced Computing & Communication Systems (ICACCS)*, 246–250. <https://doi.org/10.1109/ICACCS.2019.8728465>

- Wang, W., & Siau, K. (2019). Artificial Intelligence, Machine Learning, Automation, Robotics, Future of Work and Future of Humanity: A Review and Research Agenda. *Journal of Database Management, 30*(1), 61–79. <https://doi.org/10.4018/JDM.2019010104>
- Wantia, N., Esen, M., Hengstebeck, A., Heinze, F., Rossmann, J., Deuse, J., & Kuhlenkoetter, B. (2016). Task planning for human robot interactive processes. *2016 IEEE 21st International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/ETFA.2016.7733523>
- Xiong, Y., Ge, Y., Grimstad, L., & From, P. J. (2020). An autonomous strawberry-harvesting robot: Design, development, integration, and field evaluation. *Journal of Field Robotics, 37*(2), 202–224. <https://doi.org/10.1002/rob.21889>
- Zhmud, V. A., Kondratiev, N. O., Kuznetsov, K. A., Trubin, V. G., & Dimitrov, L. V. (2018). Application of ultrasonic sensor for measuring distances in robotics. *Journal of Physics: Conference Series, 1015*, 032189. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1015/3/032189>