



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**AUTOMATIZACIÓN DE
PALETIZADO DE ENVASES DE
PINTURA CON UN ROBOT
INDUSTRIAL**

Autor:

Fernández Román Ricardo Andrés

Urb. Yuma II, calle N°3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE MECÁNICA

**AUTOMATIZACIÓN DE PALETIZADO DE ENVASES DE PINTURA CON UN
ROBOT INDUSTRIAL**

Proyecto del Trabajo de Grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO

Autor:

Fernández Román Ricardo Andrés

Tutor:

Ing. Wilmer Sanz

San Diego, abril de 2024



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME DE PASANTÍA ☐

TRABAJO DE GRADO ☒

El jurado designado por la Facultad de Ingeniería para la evaluación del **Informe de Pasantía o Trabajo de Grado** titulado:

Automatización de paletizado de envases de pintura
con un Robot Industrial

Realizado por el (la) Br. Ricardo Fernández

C.I. N° 27549449 cursante de la carrera de Ingo Mecánica

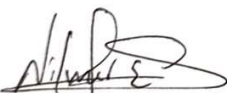
hace constar, después de haber analizado su contenido y oída la exposición oral,

considera que el mismo ha sido:

APROBADO ☒

NO APROBADO ☐

El Jurado



Tutor Académico (Coordinador)
Nombre: Wilmar Saez
C.I.: 7132496



Jurado
Nombre: LUIS ORTEGA
C.I.: 3.476.80



Jurado
Nombre: Fredy BARRABAN
C.I.: 11.151.670



Fecha: 02/10/2024



UNIVERSIDAD
JOSÉ ANTONIO PÁEZ

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA

FI-N-006-2023-2CR-TG

San Diego, 01 de diciembre de 2023

Ciudadano(s):
FERNÁNDEZ ROMÁN, RICARDO ANDRÉS
C.I.: 27549449

Presente. -

Cumplo con informarle que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería, en su reunión N° 17-2023 de fecha 3/11/2023, aprobó el proyecto de grado titulado:

**AUTOMATIZACIÓN DE PALETIZADO DE ENVASES DE PINTURA
CON ROBOT INDUSTRIAL**

Presentado por usted(es) como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Se ratifica la designación del Tutor Académico que lo asesorará en el desarrollo de este proyecto al profesor Sanz Fernández, Wilmer Eduardo, titular de la cédula de identidad V-7130496.



Atentamente,

Dra. Laura Aurora Sáenz Palencia
Decana de la Facultad de Ingeniería

c.c. Coordinación de Pasantía y Trabajo de Grado de la Facultad de Ingeniería

Urb. Yuma II, calle 3, Municipio San Diego, estado Carabobo

(0241) 871.42.40 (Master)

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por darme la fortaleza, sabiduría, dedicación, constancia y resiliencia, para cursar este camino que está a punto de culminar.

Agradezco a mis padres, **Ricardo Fernández** y **Carmen Román** y mi hermana **Emilia Fernández**, que me han apoyado en todos los ámbitos de mi vida, dándome todo el cariño, comprensión, aliento y confort siempre que lo necesite. A ustedes, mis ejemplos a seguir, que han sido una pieza clave en mi vida, les dedico este logro que también es suyo, siempre me han hecho saber lo orgullosos que están de mí, y con esto se los atribuyo.

A mi **familia Fernández**, que me han tomado de la mano en este proceso, desde mis inicios, hasta ahora que estoy en la etapa final, a ustedes les debo mi alegría y distracción en todo momento, incluso hasta en los más difíciles, ustedes son los encargados de hacerme ver el lado positivo a las cosas y sacarme una carcajada cuando más lo necesito.

A mi novia, **Sahira Nazar** que con su invaluable cariño y compañía ha hecho de esto más llevadero. El apoyo incondicional, las palabras de aliento, la atención, la comprensión, paciencia y entendimiento en cada punto de esta travesía han sido una ayuda indispensable para seguir adelante y poder conseguir el éxito, que también se debe a ti. Gracias por ser mi soporte, alegría, compañera de vida, por estar presente en esta etapa y festejar mis logros.

Agradezco a mis amigos, en especial a **Gabriela Camarán, Leopoldo Lander, Giuseppe Román, Efraín Alvarado, Alexandra Hernández, José Briceño**, ustedes han sido testigos del empeño que le he empleado a esta carrera. Les doy gracias porque nunca me ha faltado su compañía, su seguimiento, su atención, confianza y complicidad. Para mí es un honor después de tantos años mantener esta amistad tan valiosa.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	pp.
ÍNDICE DE CUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABLAS	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO

I EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Formulación del Problema.....	6
1.3. Objetivos de la Investigación.....	6
1.3.1. Objetivo General	6
1.3.2. Objetivos Específicos	6
1.4. Justificación	7
1.5. Alcance y Limitaciones.....	8

II MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes	9
2.2. Bases teóricas.....	12
2.2.1. Teoría Central de la Investigación.....	12
2.2.2. Robótica Industrial	13
2.2.2.1. Robots Industriales	13
2.2.2.2. Clasificación de los Robots Industriales.....	13
2.2.2.3. Estructura de los Robots Industriales.....	14
2.2.2.4. Robot paletizador.....	14

2.2.2.5.	Herramienta terminal de trabajo	15
2.2.3.	Parámetros Denavit-Hartenberg (D-H)	16
2.2.4.	Entorno de simulación.....	16
2.2.4.1.	Simuladores de Robótica Industrial.....	16
2.2.5.	Paletizado	16
2.2.5.1.	La paletización.....	16
2.2.5.2.	El apilado de los productos.....	17
2.3.	Bases Legales.....	17
2.4.	Definición de términos.....	18
III	MARCO METODOLÓGICO	
3.1.	Paradigma de investigación	20
3.2.	Tipo de investigación.....	20
3.3.	Diseño de investigación	21
3.4.	Nivel de investigación.....	21
3.5.	Población.....	22
3.6.	Muestra	22
3.7.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	22
3.8.	Técnicas de recolección de datos.....	22
3.8.1.	Observación directa	22
3.8.2.	Entrevista.....	23
3.8.3.	Revisión documental	23
3.9.	Instrumentos de recolección de datos	23
3.9.1.	Lista de cotejo.....	23
3.9.2.	Guión de entrevista.....	23
3.9.3.	Cámara fotográfica	23
3.9.4.	Fichas técnicas.....	24
3.10.	Técnicas de análisis de datos	24

3.11. Validez de los instrumentos	25
3.12. Fases Metodológicas	25
1.13. Cuadro de Operacionalización de Variables	27
IV RESULTADOS	
Fase I Diagnóstico del proceso de paletizado de envases de pintura en versiones de cuñetes, galones y cuartos de galón en la empresa Seven Colors C.A.	28
4.1.1. Lista de cotejo	28
4.1.2. Entrevista	29
Fase II Seleccionar la alternativa del sistema de automatización y los elementos involucrados en el mismo para automatizar el proceso de paletizado de envases de pintura en versiones de cuñetes, galones y cuartos de galón en la empresa Seven Colors C.A.	36
4.2.1. Análisis del proceso de paletizado actual en la empresa Seven Colors, C.A. ...	36
4.2.1.1. Diagrama de Ishikawa	36
4.2.1.2. Diagrama de pareto	40
4.2.1.3. Cuadro comparativo	41
4.2.2. Selección de la mejor solución	42
4.2.2.1. Planteamiento de alternativas o posibles soluciones para la automatización del proceso de paletizado de envases de pinturas en versiones de cuñetes, galones y cuartos de galón en la empresa Seven Colors, C.A.	42
4.2.2.2. Restricciones para las soluciones	45
4.2.2.3. Criterios a soluciones	46
4.2.2.4. Ponderación de criterios	46
4.2.2.5. Ponderación de soluciones respecto a cada criterio	46
4.2.2.6. Ponderación final de soluciones	47
Fase III Diseño del proceso de automatización de paletizado de envases de pintura en función a la alternativa seleccionada.	48
4.3.1. Herramienta de terminal de trabajo del Robot	50
4.3.1.1. Funcionamiento	55

4.3.1.2. Componentes neumáticos.....	58
4.3.1.3. Piezas de la herramienta.....	61
4.3.1.4. Análisis estático de Von Mises	75
4.3.2. Robot Industrial	80
4.3.3. Transportador para galones y cuartos de galón.....	82
4.3.4. Transportador para los cuñetes	86
4.3.5. Distribución de la celda robótica	91
Fase IV Desarrollo del programa para la automatización del proceso en un ambiente de simulación 3D.....	93
Fase V Estudio de la viabilidad económica, técnica, operativa, ambiental y social.	99
4.5.1. Viabilidad económica	99
4.5.2. Viabilidad técnica	100
4.5.3. Viabilidad operativa.....	100
4.5.4. Viabilidad ambiental.....	101
4.5.5. Viabilidad social	101
CONCLUSIONES	102
RECOMENDACIONES.....	103
REFERENCIAS.....	104
ANEXOS	105

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	DESCRIPCIÓN	pp.
Cuadro 1.	Clasificación de Robots Industriales.....	13
Cuadro 2.	Elementos terminales	15
Cuadro 3.	Cuadro de Operacionalización de Variables.....	27
Cuadro 4.	Lista de cotejo	28
Cuadro 5.	Entrevista	30
Cuadro 6.	Cuadro comparativo entre paletizado manual y automatizado	41
Cuadro 7.	Posibles soluciones vs Restricciones	45

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	DESCRIPCIÓN	pp.
Figura 1.	Instalaciones anuales de robots industriales 2015-2020 and 2021*-2024*	3
Figura 2.	Espacio de paletizado	5
Figura 3.	Plastificadora de galones y cuartos de galón.....	5
Figura 4.	Paletizado de cuartos de galón	5
Figura 5.	Paletización y despaletización automática	14
Figura 6.	Articulaciones del robot antropomórfico	15
Figura 7.	Modelos de los envases de pintura.....	32
Figura 8.	Matriz de paletizado de cuñetes	33
Figura 9.	Plastificado de los envases	34
Figura 10.	Banda con termoencogible	34
Figura 11.	“Four pack” de galones	35
Figura 12.	“Six pack” de cuarticos	34
Figura 13.	Matriz de galones	35
Figura 14.	Diagrama de Ishikawa	37
Figura 15.	Modelo paleta (1)	38
Figura 16.	Modelo paleta (2)	38
Figura 17.	Modelo paleta (3)	38
Figura 18.	Modelo paleta (4)	39
Figura 19.	Modelo paleta (5)	39
Figura 20.	Diagrama de Pareto	40
Figura 21.	Posible solución 1.....	43
Figura 22.	Posible solución 2.....	44
Figura 23.	Posible solución 3.....	44
Figura 24.	Posible solución 4.....	45
Figura 25.	Paletizador a diseñar.....	48
Figura 26.	Cuñete 1.....	50
Figura 27.	Cuñete 2.....	49
Figura 28.	Cuñete 3.....	50
Figura 29.	Cuñete 4.....	49
Figura 30.	Cuñete 5.....	50
Figura 31.	Cuñete 6.....	49

Figura 32. Galón 1	51
Figura 33. Galón 2	50
Figura 34. Galón 3	51
Figura 35. Galón 4	50
Figura 36. Vista isométrica herramienta terminal de trabajo del Robot.....	51
Figura 37. Vista frontal herramienta terminal de trabajo del Robot.....	51
Figura 38. Vista lateral herramienta terminal de trabajo del Robot.....	52
Figura 39. Vista parte inferior de la herramienta terminal de trabajo del Robot.....	52
Figura 40. Vista posterior herramienta terminal de trabajo del Robot	52
Figura 41. Vista parte superior de la herramienta terminal de trabajo del Robot.....	53
Figura 42. Herramienta con cuñetes	53
Figura 43. Herramienta con galones	53
Figura 44. Herramienta con galones	54
Figura 45. Accionamiento de herramienta con paleta (vista frontal)	54
Figura 46. Accionamiento de herramienta con paleta (2).....	54
Figura 47. Cilindros neumáticos guiados presionadores de envases.....	55
Figura 48. Placa superior central	55
Figura 49. Placa presiona envase	56
Figura 50. Cajón, cilindros y ejes guías.....	56
Figura 51. Placa tope	57
Figura 52. Placas tridente y garras sujetas a cilindros guiados.....	57
Figura 53. Elevación de garra para la toma de paleta.....	58
Figura 54. Isla de válvulas y bus de campo CM + EtherNet/IP	59
Figura 55. Cilindro neumático ISO 15552 (50x283).....	59
Figura 56. Cilindro guiado METAL WORK (40x200)	60
Figura 57. Cilindro guiado SMC (50x100).....	60
Figura 58. Fuerzas generadas durante el empuje y tracción de los cilindros neumáticos según marca METAL WORK.....	61
Figura 59. Plano placa central superior	62
Figura 60. Plano base brida.....	62
Figura 61. Placas fijación entre base brida y placa central.....	63
Figura 62. Plano placa tope.....	64
Figura 63. Plano cajón para cilindro y eje guía	64
Figura 64. Plano bocina ultraleno para cajón	65

Figura 65. Plano eje guía	65
Figura 66. Plano bocina para fijación eje guía.....	66
Figura 67. Plano fijación de eje de cilindro empuja tridente	66
Figura 68. Separador entre fijación de eje y placa tridente posterior	67
Figura 69. Base fijación cilindro guiado presionador de envases.....	67
Figura 70. Plano placa presiona envase	68
Figura 71. Plano placa tridente delantera.....	69
Figura 72. Placa tridente trasera	69
Figura 73. Plano acople para garras a los cilindros guiados.....	70
Figura 74. Plano garras del tridente fijadas a cilindros guiados	70
Figura 75. Plano garras del tridente fijadas a la placa tridente	71
Figura 76. Plano extensión para el paletizado de los cuartos de galón.....	72
Figura 77. Tornillo para placa central.....	72
Figura 78. Perno para garras	73
Figura 79. Plano herramienta terminal de trabajo.....	73
Figura 80. Características del Material Duraluminio SolidWorks	74
Figura 81. Propiedades de masa de la herramienta terminal	74
Figura 82. Análisis Von Mises garras fijadas a placa tridente.....	75
Figura 83. Análisis Von Mises garras fijadas a cilindros guiados.....	76
Figura 84. Análisis estático Placa Central	76
Figura 85. Análisis estático placa brida	77
Figura 86. Análisis plaquita pie (1)	77
Figura 87. Análisis plaquita pie (2)	78
Figura 88. Análisis estático Eje guía	78
Figura 89. Análisis estático separador	79
Figura 90. Análisis estático tornillo M10	80
Figura 91. Análisis estático Perno M8.....	80
Figura 92. Render robot con herramienta	82
Figura 93. Banda con termoencogible	83
Figura 94. Plano banda con termoencogible.....	83
Figura 95. Banda de rodillos para galones.....	84
Figura 96. Plano banda de rodillos para galones	85
Figura 97. Transportador de galones y cuartos de galón	85
Figura 98. Transportador de galones y cuartos de galón	86

Figura 99. Plano Transportador de galones y cuartos de galón	86
Figura 100. Plano Banda transportadora de cinta para cuñetes	88
Figura 101. Banda transportadora de cinta para cuñetes	88
Figura 102. Plano Banda de rodillos para cuñetes.....	89
Figura 103. Banda de rodillos para cuñetes	89
Figura 104. Plano transportador de cuñetes.....	90
Figura 105. Transportador de cuñetes.....	90
Figura 106. Transportador de cuñetes (1).....	90
Figura 107. Croquis celda.....	91
Figura 108. Distribución de la celda robótica (1)	92
Figura 109. Distribución de la celda robótica (2)	92
Figura 110. Distribución de la celda robótica con cuñetes	92
Figura 111. Distribución de la celda robótica con galones.....	93
Figura 112. Elementos de la celda en RoboDK.....	94
Figura 113. Llegada de cuñetes al punto de toma.....	94
Figura 114. Paleta de cuñetes	95
Figura 115. Reposición de paleta (1)	95
Figura 116. Reposición de paleta (2)	96
Figura 117. Llegada de los galones al punto de toma.....	96
Figura 118. Paleta de galones	97
Figura 119. Reposición de paleta galones	97
Figura 120. Tiempo paletizado cuñetes	98
Figura 121. Tiempo paletizado galones	98

LISTA DE TABLAS

TABLA	DESCRIPCIÓN	pp.
Tabla 1.	Diagrama de Pareto.....	40
Tabla 2.	Ponderación de soluciones respecto a C1	46
Tabla 3.	Ponderación de soluciones respecto a C2	47
Tabla 4.	Ponderación de soluciones respecto a C3	47
Tabla 5.	Ponderación final de soluciones.....	47
Tabla 6.	Resultados de la ponderación final de soluciones.....	47
Tabla 7.	Selección del robot antropomórfico.....	81
Tabla 8.	Presupuesto	99



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

AUTOMATIZACIÓN DE PALETIZADO DE ENVASES DE PINTURA CON UN ROBOT INDUSTRIAL

Autor: Ricardo Andrés Fernández Román

Tutor: Ing. Wilmer Sanz

Fecha: Octubre 2023

RESUMEN

La industria busca mayor automatización para optimizar procesos, donde los Robots Industriales desempeñan un papel crucial en tareas repetitivas y peligrosas. La automatización del paletizado mediante robots mejora velocidad, precisión y seguridad, reduciendo costos y riesgos laborales. Este enfoque beneficia a empresas como Seven Colors C.A., especializada en fabricación y venta de pintura. El objetivo de la investigación es proponer un sistema de automatización de paletizado con un Robot Industrial, representando el proceso en un software de simulación 3D. Basada en teorías de automatización, computación y energía de distorsión máxima, la investigación está vinculada a Avances Tecnológicos en Tecnologías de Información y Comunicación, con enfoque cuantitativo y metodología de diseño documental y de campo. Se emplearon instrumentos como lista de cotejo, guión de entrevista, fichas técnicas, y técnicas de análisis como el Diagrama de Ishikawa, Pareto y tablas comparativas. Esto condujo a resultados como la selección de elementos de la celda robótica, diseño de herramienta del Robot y desarrollo del programa del proceso de paletizado en el software de simulación de Robótica Industrial.

Descriptores: Robots Industriales, paletizado, automatización, simulación, herramienta.



**BOLIVARIAN REPUBLIC OF VENEZUELA
JOSE ANTONIO PAEZ UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING**

AUTOMATION OF PALLETIZING OF PAINT CONTAINERS WITH AN INDUSTRIAL ROBOT

Author: Ricardo Andrés Fernández Román
Tutor: Eng. Wilmer Sanz
Date: October 2023

ABSTRACT

Industry is looking for more automation to optimize processes, where Industrial Robots play a crucial role in repetitive and dangerous tasks. Robotic palletizing automation improves speed, accuracy and safety, reducing costs and labor risks. This approach benefits companies such as Seven Colors C.A., which specializes in the manufacture and sale of paint. The objective of the research is to propose a palletizing automation system with an Industrial Robot, representing the process in a 3D simulation software. Based on theories of automation, computation and maximum distortion energy, the research is linked to Technological Advances in Information and Communication Technologies, with quantitative approach and documentary and field design methodology. Instruments such as a checklist, interview script, data sheets, and analysis techniques such as Ishikawa Diagram, Pareto and comparative tables were used. This led to results such as the selection of robotic cell elements, Robot tool design and development of the palletizing process program in the Industrial Robotics simulation software.

Keywords: Industrial Robots, palletizing, automation, simulation, tool.

INTRODUCCIÓN

En la industria actual, la creciente automatización es evidente gracias a la Robótica Industrial, que fusiona la ingeniería mecánica, electrónica, informática e inteligencia artificial. Los Robots Industriales, líderes en esta transformación, desempeñan un papel clave al realizar tareas previamente realizadas por humanos, especialmente aquellas repetitivas, peligrosas o de alta precisión. El paletizado de productos, esencial en la logística y el transporte, es uno de los procesos que se benefician de esta tendencia.

La automatización del paletizado, a través de robots especializados, ofrece ventajas significativas en términos de velocidad, precisión y seguridad en la manipulación de productos. Empresas como Seven Colors C.A., dedicada a la fabricación de pintura y con una variedad de envases que incluye cuñetes, galones y cuartos de galón, actualmente posee un proceso de paletizado netamente manual, lo que perjudica la productividad y afecta a los empleados físicamente. La automatización de este proceso es una solución que no solo mejora la eficiencia y la calidad del producto final, sino que también promueve la seguridad laboral y reduce los costos operativos, fortaleciendo así su competitividad en un mercado globalizado y en constante cambio.

El propósito de la investigación es una propuesta de la automatización del proceso de paletizado con un Robot Industrial, obteniendo como resultado final, la simulación del proceso en un software de ambiente de simulación 3D de Robótica Industrial. El proyecto se basa en unas teorías para su desarrollo las cuales son la automatización, la computación y la teoría de la energía de distorsión máxima de Von Mises.

Esta investigación está compuesta de cuatro (IV) capítulos los cuales contienen lo siguiente: Capítulo I, El planteamiento del problema, los objetivos que dirigen la investigación, la justificación del estudio en curso y los alcances y limitaciones del mismo. Así mismo, el capítulo II plantea los antecedentes y las bases teóricas utilizados como soporte del trabajo de grado. En el capítulo III se desarrolla el marco metodológico que ayudará con la orientación del proyecto, tomando en cuenta aspectos importantes como lo son el tipo de investigación y las técnicas e instrumentos. Finalmente, en el capítulo IV se hace mención a los recursos con los cuales cuenta el proyecto. Este trabajo de investigación se centrará en la selección y diseño de todos los elementos que componen la celda robótica, incluyendo así el robot y la herramienta terminal para dicha aplicación, para finalmente su modelado 3D.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

La industria, año tras año está evolucionando hacia una automatización cada vez mayor que permita impulsar la productividad, mejorar la continuidad de la fabricación y flexibilizar los procesos para mantener la producción y la calidad. Este es el caso de la Robótica Industrial, esta valiosa disciplina que absorbe y combina la ingeniería mecánica, la electrónica, la informática y la inteligencia artificial, donde los Robots Industriales juegan un papel muy importante en la automatización, siendo lo suficientemente versátiles en cualquier ámbito, ambiente, y en tareas que pudiesen llegar a ser repetitivas, peligrosas o de alta precisión que anteriormente eran realizadas por trabajadores humanos, sin importar la robustez o delicadeza que requiera la misma, ya que estos robots son específicamente programados y equipados con sensores y actuadores para detectar y manipular los objetos de la manera en que sea deseada por el operador.

Al mismo tiempo, la Robótica Industrial presenta complicaciones en la implementación, esto se debe a varios factores como el costo, ya que los Robots Industriales pueden llegar a ser costosos de adquirir e implementar, especialmente para pequeñas y medianas empresas donde el presupuesto para nuevas tecnologías (a pesar de ser una buena inversión) no está del todo previsto. Sin olvidar una parte fundamental que es el mantenimiento y la reparación adecuada de los robots. Otros factores entran en juego, como la programación, debido a que dichos autómatas deben ser programados correcta y profesionalmente para la tarea destinada, así como también se presentan desafíos como la integración, flexibilidad y comunicación en la implementación de Robots Industriales que están relacionados con la capacidad de los robots para adaptarse a diferentes situaciones y procesos de producción, y la necesidad de una coordinación efectiva con otros equipos y máquinas en el proceso. Además, la capacitación de los trabajadores en la operación y mantenimiento de los robots puede ayudar a asegurar una integración efectiva y un uso seguro de los robots en la industria.

En este orden de ideas, debido al punto de globalización en el que nos encontramos y la alta competitividad que existe en cualquier campo de la industria, las empresas deben adaptarse para mantenerse competitivamente. Así, la mejora continua de procesos tarde o temprano acaba desembocando en la automatización de estos mismos. Ahora, con la robótica, las industrias a nivel global están en constante desarrollo y evolución. En los últimos años, ha

habido un aumento significativo en el uso de robots en la industria como lo demuestra International Federation of Robotics (IFR) en la figura 1.

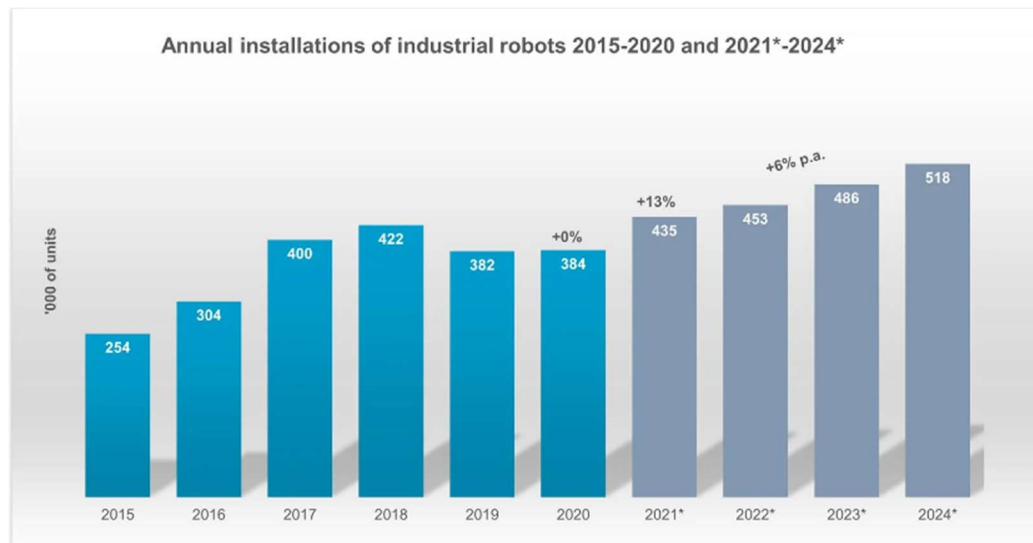


Figura 1. Instalaciones anuales de robots industriales 2015-2020 and 2021*-2024*

Fuente: International Federation of Robotics. (2021)

Por otra parte, el paletizado es un proceso muy común en las industrias, especialmente en aquellas que manejan grandes volúmenes de mercancías y necesitan transportarlas y almacenarlas de manera eficiente y segura. El paletizado consiste en la colocación ordenada de los productos sobre un pallet, los cuales son elementos auxiliares que sirven para colocar y apilar productos en ellos, facilitando su transporte y almacenamiento con transportes de elevación o montacargas, estos pueden ser de diferentes materiales, como madera, plástico, metal o cartón, y de diferentes medidas, según el tipo y la cantidad de productos que se quieran paletizar. El paletizado tiene grandes beneficios como el aumento de la eficiencia en el manejo y transporte de mercancías, la reducción de los tiempos de carga y descarga, la optimización del espacio de almacenamiento, la protección de los productos durante su manipulación y transporte, además facilita la identificación y conteo de los productos. Este método de almacenamiento se puede hacer de forma manual o automática, y existen diferentes técnicas y métodos para realizarlo, dependiendo del tipo de producto, su forma, tamaño, peso y destino final.

Sin embargo, el paletizado de forma manual posee desventajas importantes que afectan la eficiencia, seguridad y productividad del proceso. Esto se debe a que este tipo de paletizado implica la manipulación repetitiva de objetos, lo que aumenta el riesgo de lesiones en el operador, además de ser un proceso lento y agotador que puede afectar la productividad y aumentar los costos de mano de obra. También puede ser menos preciso que el paletizado

automático, lo que aumenta el riesgo de errores, pérdidas de productos, y tiene limitaciones en la altura de apilamiento debido a la capacidad física del operador.

Por otro lado, y con mucha más objetividad se encuentra la paletización automatizada, la cual utiliza robots o máquinas que pueden apilar los productos de forma rápida, precisa y segura, sin necesidad de intervención humana. Por lo tanto, la automatización del paletizado es una solución que permite mejorar el rendimiento, la seguridad y la flexibilidad de esta operación. Estos robots de los cuales se habla que suelen llamarse “paletizadores”, pueden apilar los productos en pallets de manera ordenada y eficiente, adaptándose a diferentes tamaños, formas y pesos de los productos. Además, los robots de paletizado pueden ser integrados en línea con otras máquinas y sistemas de control automatizados, como sistemas de transporte y almacenamiento, lo que permite una mayor eficiencia en la producción, una solución integral y una reducción en los costos de mano de obra.

En relación con el punto anterior, la industria de la fabricación de pintura es una de las que puede beneficiarse ampliamente de la automatización del paletizado, ya que maneja envases de diferentes tamaños y pesos, que deben ser apilados en patrones específicos para optimizar el espacio y la estabilidad de las cargas, lo que permite una mayor eficiencia en la producción y una mayor capacidad para satisfacer las demandas del mercado. Además, al realizar el paletizado de manera automatizada y precisa, se reduce el riesgo de errores y daños en los productos, lo que mejora la calidad del producto final. Es importante acotar que, al reducir la manipulación manual de los productos, este tipo de paletizado puede ayudar a mejorar la seguridad de los empleados en el lugar de trabajo, evitando todos los problemas antes mencionados que pueden surgir de la acción del paletizado manual.

Sin embargo, no todas las empresas de este sector han adoptado esta tecnología, ya sea por desconocimiento, el tamaño de la empresa, la capacidad de producción, falta de recursos o resistencia al cambio. Este es el caso de Seven Colors C.A. con RIF: J-40379638-6, una pequeña y mediana empresa (PYME) ubicada en la Zona Industrial la Quizanda, Valencia, Estado Carabobo, Venezuela, dedicada a la fabricación, distribución y venta de pintura, entre sus productos tiene diversos tipos de envases, tales como cuñetes (de cuatro galones), galones y los envases más pequeños llamados “cuarticos” el cual contiene un cuarto de galón. La pintura una vez envasada por los operadores, se tapa y se lleva manualmente a las paletas o a una plastificadora (depende del envase a utilizar) por ellos mismos, donde son apiladas en sus varias distribuciones según el tipo de envase que se esté utilizando como se muestra en las figuras de la 2 a la 4.



Figura 2. Espacio de paletizado

Fuente: Fernández R. (2023)

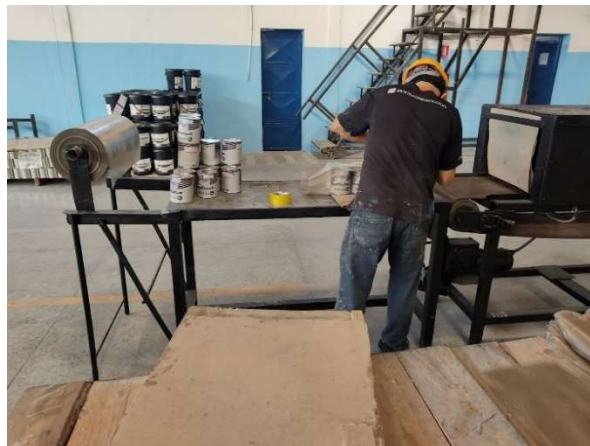


Figura 3. Plastificadora de galones y cuartos de galón

Fuente: Fernández R. (2023)



Figura 4. Paletizado de cuartos de galón

Fuente: Fernández R. (2023)

Asimismo, tan solo tomando en cuenta el envase más pesado, el cuñete, que, debido a su gran dimensión, posee un peso de aproximadamente 20 kg, resulta un desgaste físico para los operarios encargados de la paletización, al tomar este objeto de gran peso de un lado a otro de manera repetitiva, ocasionando fatiga y riesgo de lesiones, como también bajo rendimiento, productividad y calidad del proceso. De igual manera lo afirma el Jefe de Operaciones del Departamento de Planta de la empresa Seven Colors, C.A, “No han sucedido accidentes laborales importantes, sin embargo, hay ocasiones en las cuales, al momento de paletizar, el asa del cuñete se desprende del envase lo que hace que se le caiga de las manos al operador y haya derrame de material. Además, ahora somos pocos trabajadores y nos vendría bien la automatización para mejorar la eficiencia del proceso”. Es preciso trabajar en soluciones que permitan atacar esta necesidad sentida en dicha empresa que integre la innovación y la tecnología para así poder avanzar y sobresaltar junto al resto del mundo en este proceso.

1.2. Formulación del Problema

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, es notoria la necesidad que implica el problema antes mencionado respecto al proceso de paletizado de los diversos envases de pintura en la empresa Seven Colors C.A. Por lo tanto, surge la siguiente interrogante:

¿Cómo se podría mejorar el proceso de paletizado de envases de pintura en versiones de cuñetes, galones y cuartos de galón en la empresa Seven Colors C.A.?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Proponer un sistema de automatización de paletizado de envases de pintura con un Robot Industrial en la empresa Seven Colors C.A.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Diagnosticar el proceso de paletizado de envases de pintura en versiones de cuñetes, galones y cuartos de galón en la empresa Seven Colors C.A.
- Seleccionar la alternativa del sistema de automatización y los elementos involucrados en el mismo para automatizar el proceso de paletizado de envases de pintura en versiones de cuñetes, galones y cuartos de galón en la empresa Seven Colors C.A.
- Diseñar el proceso de automatización de paletizado de envases de pintura en función a la alternativa seleccionada.
- Desarrollar el programa para la automatización del proceso en un ambiente de simulación 3D.

- Estudiar la viabilidad económica, técnica, operativa, ambiental y social.

1.4. Justificación

A partir de lo anterior mencionado, la paletización es un proceso imprescindible en la industria, por lo cual, al eliminar dicho proceso en la modalidad manual, llevando este hacia la automatización total, permitiría obtener diversos beneficios como mejorar la seguridad y salud laboral de los trabajadores al reducir el esfuerzo físico e incluso lesiones relacionadas con la manipulación de cargas pesadas y repetitivas. De igual manera, esta investigación basada en la Robótica Industrial, contribuye al desarrollo tecnológico y productivo del país, al ofrecer una solución innovadora y eficiente. Es posible que la misma pueda servir como referencia o modelo para otras empresas que quieran automatizar sus procesos de paletizado con robots industriales.

Esta investigación puede generar un impacto positivo en la productividad, la calidad y la competitividad de la empresa Seven Colors C.A, al implementar un sistema de paletizado automatizado con un Robot Industrial, que puede aumentar la velocidad, la precisión y la flexibilidad del proceso, también optimizar el uso del espacio y los recursos. Además, al reducir la intervención humana en el proceso, se podría disminuir la posibilidad de errores humanos en el paletizado, lo que podría mejorar la calidad del producto final.

Este proyecto requiere un conjunto de conocimientos científicos y técnicos en las áreas de diseño, programación y operación de sistemas de paletizado automatizado con Robots Industriales. Este enfoque se puede llevar a un nivel más profundo, al integrar diversos elementos como sensores, actuadores, controladores, software y hardware. Esto contribuye al desarrollo de un entendimiento sólido de las tecnologías del futuro. Así mismo, este proyecto puede contribuir al avance de investigación del campo de la robótica colaborativa, que es una rama emergente de la ingeniería que busca crear robots que puedan interactuar de forma segura y eficaz con los humanos.

Para la gran problemática hallada en la empresa Seven Colors C.A, se presenta una propuesta muy visual y creativa para automatizar el paletizado de envases de pintura en presentaciones de cuñetes, galones y cuartos de galón con Robótica Industrial, que puede adaptarse a las características y necesidades específicas de la empresa. Otro rasgo importante a mencionar, se utilizarán herramientas y metodologías innovadoras para el desarrollo del proyecto, como un software de simulación de Robótica Industrial (SRI), que permite planificar, diseñar, programar, y simular la configuración del sistema.

1.5. Alcance y Limitaciones

El alcance de este proyecto se basa en la automatización del proceso de paletizado con Robótica Industrial de envases de pintura en versiones de cuñetes, galones y cuartos de galón en la empresa Seven Colors C.A, dando así solución a la problemática antes presentada. Se llevarán a cabo las observaciones y consideraciones pertinentes del proceso de paletizado actual para entonces poder analizar y seleccionar la alternativa automatizada que sea más óptima para esta empresa específicamente. De tal manera, se diseñará todo el entorno de trabajo robótico (celda robótica), tomando en cuenta los componentes que los incluyen, así como bandas transportadoras, pallets, base para robot, entre otros. Además, se seleccionará el robot adecuado en base a sus características técnicas, como el tipo de robot, su alcance, capacidad de carga, y el diseño de su herramienta terminal de trabajo para recoger y colocar cada envase conforme a sus dimensiones y morfología antes previstas. Este proceso de paletización de manera automatizada mediante Robots Industriales se llevará a cabo en un software de simulación de robótica en un ambiente de tercera dimensión, para poder visualizar su funcionalidad y eficacia en el proceso.

Es importante destacar que en el presente proyecto debido a que se basa únicamente en una propuesta del diseño de la celda robótica y sus elementos y no en la implementación de la misma, la investigación no cuenta con limitaciones. Sin embargo, eventualmente para su implementación contiene limitaciones previsibles a considerar, así como una inversión para la compra del robot junto a la herramienta de trabajo diseñada para el paletizado de los envases de pintura, también todos los demás componentes que se incluyen. Además, la adaptación en cuanto a espacios donde se ubicará la celda y lo que pueda ser necesario para el funcionamiento de esta como instalaciones eléctricas pertinentes, equipos especiales, entre otros. Por otra parte, si se desea seguir trabajando y manipulando el software de simulación de Robótica Industrial posterior a la culminación del proyecto, debe hacerse la adquisición aparte ya que la que se utiliza en este trabajo es una licencia de estudiante la cual tiene fecha de expiración.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

El marco teórico es una parte fundamental de una investigación, ya que se trata de la base conceptual y teórica que sustenta el estudio, recopilando y analizando las teorías, conceptos, modelos y estudios previos relacionados con el tema de investigación, con el fin de establecer una perspectiva general y coherente del problema que a abordar.

2.1. Antecedentes

El primer punto a desarrollar en el marco teórico, común a todas las investigaciones, es referido a los antecedentes relacionados con la investigación. Palella y Martins (2006, p.216) plantean que “los antecedentes hacen referencia a otros trabajos de investigación (nacionales y/o internacionales) relacionados con la investigación que se está desarrollando. Aportan información documental de primera mano”. Por otro lado, Arias (2012, p.106) expone que “los antecedentes reflejan los avances y el estado actual del conocimiento en un área determinada y sirven de modelo o ejemplo para futuras investigaciones”. En resumen, los antecedentes suministran una descripción detallada de los estudios previos y relevantes que se han realizado sobre el tema en cuestión.

Granda (2022), realizó un trabajo de investigación titulado **“Propuesta de diseño de un brazo robótico industrial para proceso de soldadura SMAW”**. Este proyecto fue realizado como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico en la Universidad José Antonio Páez de Valencia, Venezuela. Este trabajo de grado tuvo como objetivo diseñar un brazo mecánico capaz de realizar eficazmente el proceso de soldadura SMAW, para ello se realizó un estudio de los pasos que se llevan a cabo en los procesos de soldadura, para así determinar los requisitos necesarios en el diseño del brazo robótico y seleccionar la opción más viable.

Como resultado en la automatización de este proceso, se disminuirán los costos de operación debido a enfermedades inesperadas o urgentes por seguridad industrial, se minimizarán los costos de operación y mantenimiento; aumentando de esta manera los beneficios de la actividad industrial en la empresa, también se disminuirán problemas de calidad y desperdicios, permitiendo una producción continua para cumplir con los tiempos de entrega de los clientes, de modo que, los beneficios de llevar a cabo esta investigación, son muy similares a los del proyecto “Automatización de paletizado de envases de pintura con un Robot Industrial”. La investigación de Granda fue un proyecto factible con diseño de campo,

documental y experimental ya que se observó el fenómeno de soldadura en su contexto natural con la finalidad de obtener información respecto al mismo. Los datos se recolectaron a través de la observación y la revisión documental de los distintos tipos de robots industriales, haciendo énfasis en el robot antropomórfico, en el cual se basó el diseño del brazo robótico.

Así mismo, Vicedo (2022) en su trabajo de investigación para obtener un Máster en Robótica en la Universidad Miguel Hernández de Elche de España, titulado **“Programación con RobotStudio de robots ABB para la automatización de procesos de clasificación y paletizado”**, pretende diseñar y simular el comportamiento de una estación de clasificación y pick and place de piezas. Para ello Vicedo utilizó RobotStudio, un software propietario de la empresa ABB, uno de los mayores fabricantes mundiales de Robots Industriales.

A través de esta investigación, Vicedo consiguió aprender y trabajar en un espacio de tiempo no muy largo con un programa de gran relevancia por su utilización en el mundo industrial. Vicedo expone que, aunque pueda parecer sencillo el software se va complicando por la cantidad de acciones y coordinaciones que hay que tener en cuenta cada vez que se programa un brazo robótico.

Esta investigación es de especial importancia para el presente proyecto ya que se describe apartado por apartado la metodología secuencial que se ha seguido para abordar este proyecto, desde la introducción al software RobotStudio, la elección del robot y las configuraciones del mismo, la creación de planos de trabajo y posiciones, los componentes utilizados en la celda robótica, toda la lógica de la estación hasta su simulación.

También, Cuello y Valera (2021) realizaron un trabajo de investigación titulado **“Desarrollo de una célula industrial de mecanizado, control de calidad basado en visión artificial y empaquetado”**. Dicho proyecto fue presentado al finalizar el Máster en Ingeniería Industrial en la Universidad Politécnica de Valencia, España. El objetivo principal es el diseño, simulación, desarrollo y análisis de células industriales robotizadas. La propuesta consiste en una célula compuesta por tres robots (ABB IRB140, UR3 y UR3e) y diferente equipamiento como sistemas de visión, cintas transportadoras, elementos finales para los robots, entre otros, para el Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad Politécnica de Valencia. El proyecto es de gran relevancia ya que propone la implementación de una celda de mecanizado, transporte de material y control de calidad.

Cuello y Valera llevaron a cabo el diseño y desarrollo de una célula robotizada totalmente funcional usando el software de RoboDK debido a su estilo de programación gráfica y su compatibilidad con Python. También llevaron a cabo la implementación de la celda simulada en la celda del laboratorio, exportando los programas de RoboDK. Por último,

consiguieron implementar un sistema de visión artificial que detecta el color y el ángulo de una pieza cuadrada. Estos resultados permitirán profundizar en el tema de automatización de paletizado con un enfoque integral, brindando una solución práctica y aplicable a la industria de envases de pintura. Además, el diseño, simulación, desarrollo y análisis de esta celda industrial robotizada, proporcionará resultados concretos y datos cuantificables que respalden la investigación en curso y demuestren la viabilidad y beneficios de la automatización en este contexto específico.

En este orden de ideas, Pinzón (2018), realizó un trabajo de investigación titulado **“Diseño de un sistema robotizado que permita paletizar el embalaje de jugos en presentación de cajas tetra pack de 200 ml, en la empresa de productos alimenticios Alpina Cauca”**. Este trabajo de investigación fue realizado como requisito para optar por el título de Ingeniero Electrónico y Telecomunicaciones en la Universidad Autónoma de Occidente en Santiago de Cali, Colombia. Para poder diseñar el sistema robotizado, Pinzón se plantea los siguientes objetivos: analizar el espacio de trabajo y las tareas a realizar para definir las trayectorias del embalaje, realizar un estudio cinemático para definir la morfología del robot a utilizar, realizar un estudio dinámico para definir los torques requeridos, diseñar un efector final para levantar y mover el embalaje, y por último, seleccionar un sistema de control.

El diseño buscó demostrar a la empresa Alpina Cauca, que añadiendo un sistema de Robot manipulador se pueden ampliar las posibilidades de eficiencia al final de la línea. Para poder ejecutar el diseño, se requirió de un proceso de levantamiento de información del sistema actual, como los tiempos de salida del producto, velocidad de la banda final por donde se desplaza el producto, velocidades de la máquina envasadora, destreza y habilidad de las personas que realizan el embalaje físicamente. De acuerdo al proceso de trabajo realizado por las personas y al espacio de trabajo se seleccionó la morfología Antropomórfica para el manipulador. Para el efector final, se diseñó un sistema descentralizado con ventosas y válvulas Venturi, este permitiría sujetar la caja con el producto. Las ventajas de este sistema es el ahorro energético vs una bomba generadora de vacío, tan solo una de las ventajas es que la tobera Venturi actúa cuando se requiere por medio de una electroválvula.

Esta investigación permite un acercamiento inicial al desarrollo de robots manipuladores, y acortar la curva de aprendizaje en cuanto a la construcción y componentes que lo conforman. Además, explica el proceso de selección del efector final, el cual es de vital importancia ya que es la herramienta encargada de transportar el producto.

Por último, González y Garzón (2019), para optar al título de tecnólogo mecánico en la Universidad Distrital - Francisco José de Caldas en Colombia, Bogotá, realizaron el trabajo

titulado como **“Diseño Y Simulación De Un Gripper Para La Manipulación De Recipientes en la FMS HAS – 200”**. donde plantean los siguientes objetivos: investigar los conceptos y variables necesarios para la construcción de un gripper, analizar los datos y fórmulas existentes para las propuestas de los diferentes prototipos de grippers, modelar los diferentes prototipos propuestos en la plataforma NX de Siemens, evaluar las características de cada diseño para la selección del prototipo adecuado mediante las herramientas de simulación de la plataforma NX de Siemens, crear una ficha técnica del diseño del prototipo seleccionado, realizar el correspondiente informe presupuestal del desarrollo del proyecto.

González y Garzón realizan el diseño y simulación de un gripper apoyándose en documentación de prototipos válidos para lo que buscan investigar, también se muestra el estudio de las características fundamentales de dichos elementos que sirven como mecanismos de agarre. Estos hacen uso de un software llamado NX de Siemens®, el cual les permite realizar la simulación teniendo datos reales de esfuerzos, desplazamientos, tensiones según la morfología y materiales escogidos para dicha finalidad. Se realizaron pruebas y análisis de diferentes prototipos de grippers para seleccionar el que mejor se ajustara a las características del brazo robótico Mitsubishi Movemaster RV-M1.

Este trabajo de investigación es de suma importancia ya que proporciona un camino claro hacia dónde tomar decisiones en cuanto a la selección de la herramienta central del robot, dando buenos resultados útiles referentes a la selección de sujeciones, cálculo y simulación del gripper a diseñar en nuestro trabajo de investigación del pick and place de envases de pinturas.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Teoría Central de la Investigación

Este trabajo de grado comprende tres teorías centrales tales como: la teoría de la automatización, la teoría de la computación y la teoría de distorsión de Von Mises, en la cual, la teoría de la automatización nos suministrará los conocimientos para diseñar sistemas mecánicos, electrónicos y de control para realizar tareas de manera autónoma. Por otra parte, la teoría de la computación está dirigida hacia la parte digital, en donde nos permitirá centrarnos en la creación y simulación de los elementos involucrados en la automatización del proceso de paletizado. Asimismo, la teoría de la energía de distorsión máxima de Von Mises se enfoca en el comportamiento de los materiales bajo cargas cíclicas, debido a esta, nos llevará a diseñar de forma correcta la herramienta central de trabajo del robot. De esta manera, estas tres teorías nos permiten obtener todos los conocimientos necesarios para diseñar y programar un sistema de paletizado automatizado eficiente y seguro, que tenga en cuenta tanto la mecánica del robot como la mecánica de los envases de pintura.

2.2.2. Robótica Industrial

La Robótica Industrial es un campo de la ingeniería que se ocupa de la definición, diseño, desarrollo y fabricación de Robots Industriales que automatizan el trabajo de los seres humanos que pueden llegar a ser de alto riesgo, repetitivos y cansados.

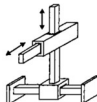
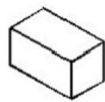
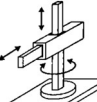
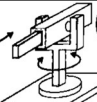
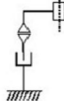
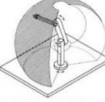
2.2.2.1. Robots Industriales

Los Robots Industriales es uno de los elementos más importantes que compone la Robótica Industrial, la definición que aporta la Organización Internacional de Estándares (ISO, por sus siglas en inglés), es la siguiente “manipulador multipropósito reprogramable, de control automático, programable en tres o más ejes, que puede fijarse en un sitio o a una plataforma móvil para su uso en aplicaciones de automatización en un entorno industrial” (ISO 8373:2021).

2.2.2.2. Clasificación de los Robots Industriales

Los Robots Industriales comprenden distintas morfologías, geometría, estructura cinemática y un espacio de trabajo correspondiente para cada tipo el cual podemos visualizar en el cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación de Robots Industriales

Tipo de Robot Industrial	Configuración geométrica	Estructura cinemática	Espacio de Trabajo
Cartesiano (PPP) 3 articulaciones prismáticas.			
Cilíndrico (RPP) 1 articulación de rotación y 2 prismáticas.			
Esférico (RRP) 2 articulaciones de rotación y 1 prismática.			
SCARA (RRP) 2 articulaciones de rotación y 1 prismática.			
Paralelo Manipulador cuyos brazos tienen enlaces que forman una estructura de circuito cerrado			
Antropomórfico (RRR) 3 articulaciones de rotación.			

Fuente: Fernández R. (2023)

2.2.2.3. Estructura de los Robots Industriales

Los Robots Industriales están compuestos por elementos que, en su conjunto, le permiten al robot realizar las tareas destinadas. A continuación, se mencionan algunos de estos elementos, definidos por la norma ISO 8373:2021:

- **Actuador:** Mecanismo de potencia que convierte energía eléctrica, hidráulica, neumática o de cualquier otro tipo para efectuar el movimiento del robot.
- **Brazo robótico:** conjunto interconectado de eslabones y articulaciones motorizadas del manipulador, entre la base y la muñeca.
- **Muñeca:** conjunto interconectado de eslabones y articulaciones motorizadas del manipulador entre el brazo y el actuador final que soporta, posiciona y orienta la herramienta terminal.
- **Herramienta terminal:** dispositivo diseñado específicamente para ser acoplado a la interfaz mecánica y permitir al robot realizar su tarea. Por ejemplo, el “gripper” que es una herramienta concebida para sujetar objetos.

2.2.2.4. Robot paletizador

Un robot paletizador es un sistema automatizado que se encarga de apilar los productos que salen de una línea de producción. Este trabajo, que tradicionalmente es realizado por operarios de forma manual, se puede ejecutar ahora de manera autónoma por los robots paletizadores. La función principal de estos robots es recoger los productos y apilarlos sobre un pallet o plataforma como se puede observar en la figura 5. Los productos que usualmente son apilados por estos robots incluyen sacos, cajas, botellas, bandejas, envases, entre otros.



Figura 5. Paletización y despaletización automática

Fuente: KUKA Iberia, S.A.U. (s.f)

Dentro de los robots paletizadores podemos mencionar dos puntos importantes:

- **El robot antropomórfico:** son robots que se basan en la anatomía humana, es decir la forma de una serie de elementos articulados para poder desplazarse o mover objetos,

como son los brazos, manos, piernas. En específico los brazos robóticos articulados, se definen en base al brazo humano. Este tipo de robot utiliza un brazo mecánico con varias articulaciones que le permiten moverse en diferentes direcciones y alcanzar una variedad de posiciones.

- **Estructura de los brazos robóticos:** Los Robots Industriales poseen gran similitud con las extremidades superiores de los seres humanos, es por ello que suelen llamarles “brazos robóticos” donde se mencionan sus distintas partes en alusión al brazo humano, tal como se muestra en la figura 6.

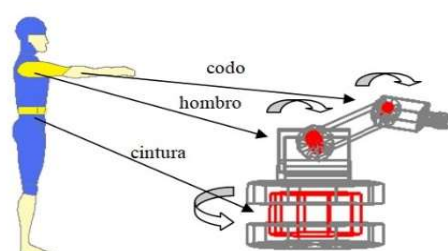


Figura 6. Articulaciones del robot antropomórfico

Fuente: Cinemática de Robots Industriales (2016)

2.2.2.5. Herramienta terminal de trabajo

Es la parte en el extremo del robot que interactúa directamente con el entorno de trabajo para realizar una tarea específica. Se le llama, la "mano" del robot, la cual se utiliza para agarrar, sujetar, cortar, soldar, pintar, ensamblar y realizar otras operaciones. Además, la elección de esta herramienta dependerá de varios factores, como el tipo de tarea a realizar, el material que se está manipulando y el grado de precisión requerido.

- **Clasificación de herramientas terminales**

Las herramientas también son clasificadas respecto a sus características que los componen, tales como tipo de sujeción y accionamiento, así como se detalla en el cuadro 2. Estas características serán el principio fundamental para su selección según la tarea a ejecutar.

Cuadro 2. Elementos terminales

Tipos de sujeción	Accionamiento	Uso
Pinza de presión. Transporte y manipulación de piezas sobre desplazamiento lineal.	Neumático o eléctrico.	Transporte y manipulación de piezas a las que no importe presionar.
Pinza de enganche.	Neumático o eléctrico.	Piezas de grandes dimensiones o sobre las que no se puede ejercer presión.
Ventosas de vacío.	Neumático.	Cuerpos con superficie lisa poco porosa (cristal, plástico, etc.).
Electroimán.	Eléctrico.	Piezas ferromagnéticas.

Fuente: Gobierno de la Provincia de Buenos Aires (2020).

2.2.3. Parámetros Denavit-Hartenberg (D-H)

Los parámetros Denavit-Hartenberg (D-H) son una convención ampliamente utilizada en la robótica para describir la cinemática directa e inversa de los robots manipuladores. Esta se basa en la asignación de cuatro parámetros a cada articulación del robot, que describen su posición y orientación relativas. Estos parámetros incluyen el ángulo de giro alrededor del eje z anterior, la distancia a lo largo del eje x común, la longitud de la articulación y el ángulo de giro alrededor del eje z común. Al utilizar los parámetros D-H, se puede construir una matriz de transformación homogénea para cada articulación, que describe su posición y orientación relativas en relación con la base del robot. Además, este parámetro proporciona una forma estandarizada de describir la cinemática de los robots manipuladores, lo que facilita la programación y el control del robot.

2.2.4. Entorno de simulación

Un entorno de simulación es un sistema o plataforma que permite crear modelos virtuales de situaciones o procesos del mundo real y simular su comportamiento en un entorno controlado y seguro. Los resultados de la simulación pueden ser utilizados para tomar decisiones informadas y mejorar el diseño y la operación de sistemas complejos.

Los entornos de simulación computarizada se pueden definir como un “acontecimiento estructurado que encarna relaciones causales entre el elemento y evento que representa una situación del mundo real” (Duchastel 1990, citado en Martí, E. (1992)).

2.2.4.1. Simuladores de Robótica Industrial

Estos son herramientas de software que permiten a los ingenieros y diseñadores simular el comportamiento de Robots Industriales en un entorno virtual antes de su implementación física en una línea de producción. Asimismo, los softwares que se emplean para diseñar y validar los procesos de robótica aportan por lo general un entorno dinámico, altamente visual. Gracias a esto, los ingenieros y técnicos pueden, con altísimas cotas de eficiencia, crear, validar u optimizar secuencias de procesos de fabricación. Todo ello con una simulación de su comportamiento muy realista debido a modelos 3D y cinemáticos.

2.2.5. Paletizado

2.2.5.1. La paletización

La acción de paletizado viene dada por la colocación de una carga, ya sea cajas, sacos, tambores, envases, entre otros, sobre un pallet para su posterior almacenaje y transporte. Las cargas se paletizan para conseguir uniformidad y facilidad de manipulación lo que a su vez reduce los costos y mejora la productividad.

2.2.5.2. El apilado de los productos

Existen varias formas de apilar productos sobre un pallet, por lo tanto, la elección de la técnica a utilizar dependerá del tipo de carga, su peso, tamaño, forma, fragilidad, entre otros factores. A continuación, se describen algunas formas de apilado:

- a) En bloque: Los productos se colocan en forma de bloque, con cada capa de productos intercalada de forma cruzada. Esta técnica es adecuada para cargas uniformes y sólidas, como cajas de cartón o tambores.
- b) Piramidal: Esta técnica implica la creación de una pila en forma de pirámide, con los productos dispuestos en capas cada vez más pequeñas. Cuando se tienen cargas frágiles o con formas irregulares, como botellas o productos envasados, esta es la más indicada.
- c) A tope: En este método, los productos se colocan uno al lado del otro y se apilan en capas. Este método es adecuado para cargas de diferentes tamaños y formas, como productos de distintas dimensiones.

2.3. Bases Legales

Este proyecto de investigación está regido por normas, leyes, reglamentos necesarios que deben ser seguidos con obligatoriedad para su correspondiente viabilidad y cumplimiento con la ley. Estas bases legales se describen a continuación:

1. La Constitución de la República Bolivariana de Venezuela reconoce la importancia de la tecnología y la innovación para el desarrollo del país, y establece la obligación del Estado de promover y proteger la investigación científica, el desarrollo tecnológico y la innovación, así como garantizar el acceso a los bienes y servicios tecnológicos y promover su uso en beneficio de la sociedad.
2. Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN): Esta estableció los requisitos mínimos para la elaboración de procedimientos, materiales, productos, actividades, entre otros. La norma COVENIN 2248-87, establece el manejo de materiales y equipos y medidas generales de seguridad.
3. Normas Técnicas Venezolanas (NTV) establecen los criterios y requisitos técnicos para la producción, utilización y cuidado de los equipos y sistemas de robótica en Venezuela. Además, contienen estándares específicos sobre la seguridad, la eficiencia en el uso de energía y la compatibilidad de los sistemas robóticos.
4. La ley venezolana Orgánica de Ciencia, Tecnología e Innovación (LOCTI) establece la obligatoriedad de las empresas y entidades públicas y privadas de

invertir un porcentaje de sus ingresos en investigación y desarrollo, con el fin de impulsar la innovación y la competitividad en el país.

5. Normas de seguridad industrial: Las normas de seguridad industrial establecen los requisitos mínimos que deben cumplir las empresas para garantizar la seguridad y salud de los trabajadores. En Venezuela, la norma más importante en este sentido es la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT), que establece las obligaciones y responsabilidades de los empleadores y trabajadores en materia de prevención de riesgos laborales.
6. La Organización Internacional de Normalización (ISO) posee normas para el área de la robótica tales como, la norma ISO 8373 que proporciona una terminología común para describir los diferentes aspectos de los robots industriales lo que permite una mejor comunicación entre los fabricantes, los integradores y los usuarios de los robots y la la norma ISO 10218-1 la cual establece los requisitos de seguridad para el diseño y la integración de robots industriales, y la norma ISO 10218-2 establece los requisitos de seguridad para los robots móviles.

2.4. Definición de términos

Cuñete: Es un envase cilíndrico utilizado para almacenar, conservar y transportar líquidos o productos químicos como por ejemplo pinturas, aceites, lubricantes, etc. Estos generalmente se fabrican en presentaciones de 4 y 5 galones.

Galón: Es un envase utilizado para almacenar y transportar líquidos (los mismos empleados por los cuñetes), con una capacidad de 3,785 litros.

Línea de producción: Es un sistema de producción en el que los productos se mueven a través de una serie de estaciones donde se realizan diferentes procesos. Además, está diseñada para maximizar la eficiencia de la producción, minimizando el tiempo de inactividad y reduciendo los costos de fabricación.

Pallet: Un pallet (o paleta) es una estructura plana y rígida que se utiliza para sostener y transportar cargas pesadas. Está compuesto por tablas de madera, plástico o metal, dispuestas en forma de plataforma y unidas mediante clavos o tornillos. Debido a su gran versatilidad, se utilizan en todo el mundo para el transporte y almacenamiento de bienes, ya que permiten apilar y mover grandes cantidades de carga de manera eficiente y segura. Existen varios tipos de pallets, tanto para sus usos como para cargas en específico, los dos tipos de pallets más utilizados son el europeo (también denominado europalet de 1200 x 800 mm) y el americano (1200 x 1000 mm).

Pick and Place: Según Cerdán (2021) “El Pick and Place significa, dentro de la rama logística, literalmente recoger y colocar, por lo que se relaciona con todas las operaciones que tengan que ver con coger un producto o pieza y ubicarlo en otro lugar, ya sea hacia o a través del almacén.”

Programación: Es el proceso de crear instrucciones precisas y detalladas para que una computadora o sistema electrónico realice una tarea específica. Esto implica el uso de lenguajes de programación para escribir código que la máquina pueda entender y ejecutar.

Sensor: Son dispositivos electrónicos que detectan y responden a cambios en su entorno físico o químico. Estos se utilizan para medir variables físicas, como la temperatura, la presión y la posición.

Tool Center Point (TCP): El punto central de la herramienta (en español), define la punta de la herramienta actual como la diferencia exacta de traslación y rotación entre el marco de la brida del robot y la punta del efector final. Es el punto en relación al cual se define el sistema de coordenadas de la interfaz mecánica del manipulador.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

A lo largo de los planteamientos hechos, se puede observar que es necesario fijar un conjunto de técnicas y procedimientos para obtener un resultado idóneo la problemática expuesta. Arias en su obra “El Proyecto de Investigación” (2012, p.110) establece que el marco metodológico “es el cómo se realizará el estudio para responder al problema planteado”; por lo tanto, en este capítulo se determinarán las consideraciones precisas a tomar, sustentadas en diversos autores de metodología de la investigación que servirán de apoyo para abordar la investigación de manera asertiva, así como los diferentes enfoques y perspectivas que pueden ser útiles para analizar la información recopilada. En definitiva, el marco metodológico es un elemento clave en todo proyecto de investigación, ya que permite establecer las bases para llevar a cabo un estudio riguroso y bien fundamentado.

3.1. Paradigma de investigación

La tecnología se considera un factor fundamental en la transformación y evolución de la sociedad, y se busca entender cómo las innovaciones tecnológicas influyen en los procesos productivos, en la economía, en la cultura y en la vida cotidiana de las personas. El paradigma de investigación tecnológica se refiere a una forma particular de estudiar y comprender la tecnología. Se basa en la idea de que la tecnología es una fuerza impulsora en la sociedad, y que su estudio es fundamental para entender cómo se desarrollan y cambian las diferentes instituciones y sistemas sociales. En este sentido, esta investigación pertenece al paradigma tecnológico debido a que se basa en la aplicación de conocimientos y técnicas tecnológicas para desarrollar una solución práctica y funcional en el ámbito de la Robótica Industrial.

3.2. Tipo de investigación

Palella y Martins (2006, p.107) plantean que el proyecto factible consiste en “elaborar una propuesta viable destinada a atender necesidades específicas, determinadas a partir de una base diagnóstica” y establecen que el propósito fundamental de esta modalidad es presentar proposiciones y planteamientos que se puedan ejecutar. En este contexto, la presente investigación se enmarca dentro de una modalidad de tipo factible, ya que implica un estudio detallado de la situación actual del proceso de paletizado de los envases de pintura en la empresa Seven Colors C.A, con el objetivo de obtener los datos necesarios para el desarrollo de una solución viable a la problemática existente.

Así mismo, en la actualidad, hay una amplia variedad de autómatas disponibles en el mercado, con características y cualidades diversas que pueden facilitar el proceso de paletizado, lo que aumenta la probabilidad de éxito del proyecto. Además, se utilizarán softwares de simulación de Robots Industriales para demostrar el funcionamiento del robot junto con todos los elementos inmersos en el entorno de paletizado que permitirá una evaluación detallada del proceso desarrollado en términos de eficiencia y seguridad, lo que resulta fundamental para la factibilidad del proyecto.

3.3. Diseño de investigación

El diseño de investigación según Palella y Martins (2006, p.95) se refiere a “la estrategia que adopta el investigador para responder al problema, dificultad o inconveniente planteado en el estudio”. Ambos autores exponen que la investigación documental “se concentra exclusivamente en la recopilación de información en diversas fuentes. Indaga sobre un tema en documentos escritos u orales”; y plantean que la investigación de campo “consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variables. Estudia los fenómenos sociales en su ambiente natural”.

En definitiva, el diseño de investigación utilizado para la automatización del proceso de paletizado de envases de pintura, estará sustentado en una investigación documental ya que es imprescindible la revisión de distintos catálogos de Robots Industriales, sus fichas técnicas y manuales, para así hallar el más adecuado para la tarea destinada. Cabe mencionar la necesidad de documentación del software que sea seleccionado para realizar la simulación del proceso, así como también, es indispensable revisar exhaustivamente las distintas herramientas terminales existentes y su proceso de diseño, para que de esta manera se pueda tener una idea clara de cómo diseñar dicha herramienta terminal que se utilizará. Además, se apoyará en una investigación de campo ya que se recolectarán datos directamente de la planta de producción donde se realiza el proceso fabricación, envasado y paletizado, donde se extraerá la información necesaria para desarrollar la automatización de este proceso a través de la Robótica Industrial.

3.4. Nivel de investigación

Arias (2012, p.23) define al nivel de la investigación como “el grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio”. Entre los niveles de investigación se encuentra el descriptivo, según Arias, la investigación descriptiva consiste en “la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento”. Se observa claramente que el proyecto en desarrollo posee un nivel de investigación descriptivo. Se detallará el proceso de paletizado de envases de pintura en la

empresa Seven Colors C.A, tratando de establecer una comprensión clara de cómo funciona actualmente el proceso, incluyendo sus fortalezas y debilidades. Al introducir un Robot Industrial para automatizar el proceso, también se describirá cómo este conjunto de elementos que intervienen en la automatización cambiará y mejorará el proceso de paletizado.

3.5. Población

Definir la población en una investigación es fundamental para garantizar la validez y la precisión de los resultados. Según Palella y Martins (2006, p.115), la población puede ser definida como “el conjunto finito o infinito de elementos, personas o cosas pertenecientes a una investigación y que generalmente suele ser inaccesible”. En referencia al presente trabajo de investigación, la población se limita a los Robots Industriales, en sus distintas configuraciones que pudieran ser útiles para la aplicación del paletizado.

3.6. Muestra

Arias (2012, p.83) establece que la muestra es “un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible” y define a la muestra representativa como “aquella que por su tamaño y características similares a las del conjunto, permite hacer inferencias o generalizar los resultados al resto de la población con un margen de error conocido”. En el caso de la investigación en desarrollo, la muestra consiste en los Robots Industriales antropomórficos para paletizado debido a que son los más versátiles en cuanto a esta finalidad y ofrecen mayor variedad de características en el mercado.

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para llevar a cabo esta investigación, es necesario implementar ciertas técnicas e instrumentos para recopilar y validar los datos que permitan orientar la información que se conoce del objeto en estudio.

3.8. Técnicas de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos entrarán en juego al tener contacto directo con la investigación, así mismo, Arias (2012, p.67) lo define como “el procedimiento o forma particular de obtener datos o información”.

3.8.1. Observación directa: Esta es una de las principales técnicas, que según Tamayo y Tamayo (2003), la observación directa “es aquella en la cual el investigador puede observar y recoger datos mediante su propia observación”. (pág. 193). Esta es de suma importancia debido a que se pueden recolectar datos de cómo es el paletizado antes de automatizarlo, la ubicación de los elementos, cómo se realiza el trabajo actual, entre otros.

3.8.2. Entrevista: “Es una técnica basada en un diálogo o conversación cara a cara, entre el entrevistador y el entrevistado acerca de un tema previamente determinado, de tal manera que el entrevistado pueda obtener la información requerida”. (Arias, 2012, p.73). En cuanto a esta investigación, la entrevista será realizada a los directivos y operadores de la empresa Seven Colors C.A, para poder indagar aún más sobre el proceso de paletizado actual y la necesidad que hay de automatizar el mismo.

3.8.3. Revisión documental: Se procederá a hacer una revisión documental, la cual Hernández, Fernández y Baptista (2014) reseñan como “implica detectar, consultar y obtener la bibliografía (referencias) y otros materiales que sean útiles para los propósitos del estudio, de donde se tiene que extraer y recopilar la información relevante y necesaria para enmarcar el problema de investigación” (p.61). En el presente trabajo de investigación dicha técnica tiene como objetivo recolectar datos mediante análisis de fuentes secundarias del fenómeno estudiado, como una toma de contacto para la comprensión del mismo.

3.9. Instrumentos de recolección de datos

Este es definido por Arias (2012, p.68) como “cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital) que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información”. En este trabajo se utilizarán los siguientes instrumentos de recolección de datos:

3.9.1. Lista de cotejo: “Es un instrumento en el que se indica la presencia o ausencia de un aspecto o conducta o ser observado.” así es como lo define Arias (2012, p.70), donde se reconoce la importancia de esta al aplicarla observando evidencias y marcándolas de manera asertiva pudiendo visualizar los distintos elementos disponibles como el proceso de paletizado, los productos a paletizar, dimensiones de trabajo, comportamientos.

3.9.2. Guión de entrevista: Para una entrevista estructurada, suele utilizarse una guía de entrevista la cual Arias (2012, p.73) reseña como “una guía prediseñada que contiene las preguntas que serán formuladas al entrevistado. En este caso, la misma guía de entrevistas puede servir como instrumento para registrar las respuestas”. Teniendo esto presente, el guión de entrevista nos será útil para poder llevar a cabo una entrevista especialmente dedicada a conocer el fenómeno en estudio y sus variantes (ver ANEXO A.1).

3.9.3. Cámara fotográfica: Este instrumento nos será útil para documentar de forma precisa y permanente todas las características presentes en el área de paletizado, desde los productos (cuñetes, galones y cuartos de galones), hasta la forma de la matriz de paletizado, y como se lleva a cabo el proceso actual.

3.9.4. Fichas técnicas: En el presente trabajo de investigación debemos realizar la comparación de diversos elementos dentro de la celda robótica para su asertiva selección. A esto se refiere con el Robot Industrial, donde se hará uso de las fichas técnicas de los distintos modelos de diferentes fabricantes, evaluando sus características de alcance, fuerza, movilidad, etc. También al diseñar la herramienta terminal de trabajo de Robot, se debe hacer uso de las fichas técnicas de los materiales a utilizar, entre otros datos.

3.10. Técnicas de análisis de datos

Las técnicas de análisis de datos, según Arias, F. (2012, p.111), “Describen las distintas operaciones a las que serán sometidos los datos que se obtengan”. Así mismo, en el proceso de investigación, se emplearán diversas técnicas y herramientas para recolectar información, tales como encuestas, entrevistas, análisis documental, observación, entre otros. Es fundamental elegir la técnica y herramienta adecuada en función de los objetivos específicos del estudio. Para lograr este objetivo, se procederá a categorizar la información según su contenido y se organizará según su grado de relevancia teórica. Este orden de ideas, se realizarán las siguientes técnicas de análisis de datos:

- **Diagrama de Ishikawa:** Podemos analizar los datos a partir del Diagrama de Ishikawa el cual la Universidad de San Carlos de Guatemala (s.f) lo define como “...diagrama muy atractivo a la vista y donde se ordenan de manera clara, amigable y sencilla las posibles causas de los problemas que surgen en cualquier proceso de la empresa. Esto nos puede ayudar a conocer los motivos de las debilidades de la empresa y poder darle soluciones.”. Esta técnica nos servirá para analizar las causas y efectos del problema en cuestión y poder hallar la solución más optima de manera sencilla y organizada.

- **Diagrama de Pareto:** Izar. J. y González J. (2004, p.14) afirman que “El Diagrama de Pareto es una herramienta útil para enfocar los esfuerzos hacia la búsqueda de la causa o causas que ocasionan un problema, entre un gran número de posibilidades, con la finalidad de identificar cuáles de ellas son las verdaderamente importantes (las pocas causas vitales) y cuáles no son relevantes (las muchas causas triviales)”. Esta herramienta nos permite visualizar de manera óptima y visual con uso de una gráfica, cuál es la causa principal de una consecuencia ordenándolas por orden descendiente tomando en cuenta la prioridad.

- **Tablas comparativas:** Para Universidad Autónoma de Campeche (s. f) “Es una herramienta gráfica que sirve para comparar dos o más elementos de manera organizada. Nos permite vincular y establecer las características, diferencias o similitudes que existe entre dos o más conceptos, fenómenos o temas de investigación.”. Esta técnica nos ayudará a comparar

los dos ámbitos del paletizado, tanto el manual como el automatizado, para así poder esclarecer las características, pros y contras de cada uno.

3.11. Validez de los instrumentos

Según Arias (2012, p.79) “Una vez construido el cuestionario, se recomienda aplicar una prueba piloto o sondeo preliminar a un pequeño grupo que no forme parte de la muestra, pero que sea equivalente en cuanto a sus características. Esto con la finalidad de establecer la validez, corregir cualquier falla y elaborar la versión definitiva del instrumento”.

Es esencial que los instrumentos utilizados sean válidos, ya que la calidad de los resultados de la investigación depende en gran medida de estos aspectos. Es por ello que, con uso de la entrevista estructurada y el cuadro de operacionalización de variables, los especialistas destinados a evaluar, validarán dicho instrumento para así aprobar el avance de la investigación (ver ANEXO A.2).

3.12. Fases Metodológicas

Fase I Diagnóstico del proceso de paletizado de envases de pintura en versiones de cuñetes, galones y cuartos de galón en la empresa Seven Colors C.A.

En esta primera fase se realizará una observación directa y minuciosa del proceso actual del paletizado que tiene la empresa Seven Colors C.A para sus productos, los cuales son cuñetes, galones y cuartos de galón, de tal manera de poder identificar las variables, ventajas y desventajas que componen este trabajo. Además, se ejecutará una entrevista mediante un guión hacia el personal autorizado de este proceso, donde se pueda eliminar cualquier tipo de duda que haya quedado a partir de la observación, para posteriormente analizar y poder cubrir todos los detalles y características para llevar a cabo la mejor solución a la problemática.

Fase II Selección de la alternativa del sistema de automatización y los elementos involucrados en el mismo para automatizar el proceso de paletizado de envases de pintura en versiones de cuñetes, galones y cuartos de galón en la empresa Seven Colors C.A.

La segunda fase de este proyecto se presenta como una etapa de exploración y análisis exhaustivo, cuyo propósito es la identificación y evaluación de una variedad de alternativas relacionadas con los elementos esenciales para el proceso de paletizado. En esta tarea, se consideran factores críticos como las características específicas de los elementos de la celda robótica, la disposición óptima del espacio de trabajo, la selección del Robot Industrial más idóneo y la configuración precisa de la herramienta terminal de trabajo del robot. Este minucioso análisis se fundamenta en metodologías robustas como el diagrama de Ishikawa, diagrama de Pareto y tablas comparativas, lo que permite analizar de manera exhaustiva todo el proceso para la creación de las alternativas. Al concluir esta fase, se emprende la tarea de

tomar decisiones informadas y selectivas, garantizando la elección de elementos que maximicen la eficiencia y precisión en el proceso de paletizado. La implementación de estas elecciones se realiza con meticulosidad, siguiendo el criterio de Vilchez, lo que asegura una integración fluida y exitosa de los elementos en el sistema automatizado de paletizado.

Fase III Diseño del proceso de automatización de paletizado de envases de pintura en función a la alternativa seleccionada.

Siguiendo la alternativa seleccionada en la fase anterior, se emprenderá la fase de diseño de la automatización con un enfoque minucioso, considerando todos los elementos cruciales para el proceso. En este proceso de diseño, se prestará especial atención a la configuración del Robot Industrial, las bandas transportadoras, las mesas de trabajo y la celda robótica, cada uno desempeñando un papel fundamental en la ejecución eficiente del paletizado. Además, se abordará de manera detallada la creación de la herramienta terminal del robot, adaptándola con precisión a las diversas geometrías requeridas para manipular los distintos envases de pintura, lo que garantizará la versatilidad y la eficacia del proceso automatizado.

Fase IV Desarrollo del programa para la automatización del proceso en un ambiente de simulación 3D.

La fase de investigación se centra en un aspecto crítico del proyecto: el desarrollo del programa para la automatización del proceso en un entorno de simulación 3D. En este contexto, se llevará a cabo la transferencia del diseño de la celda robótica y todos sus componentes a un ambiente de simulación tridimensional. Para lograr este proceso de simulación, se empleará un software especializado en Robótica Industrial que permitirá programar la automatización del paletizado de manera precisa y eficiente. La simulación en 3D tiene un propósito fundamental, que es proporcionar una representación visual realista y fiel de la propuesta de paletizado. Esto no solo garantiza una visual agradable, sino que también brinda una valiosa oportunidad para evaluar y perfeccionar el sistema antes de su implementación real, optimizando así la eficiencia y la precisión de todo el proceso automatizado. Este enfoque en la simulación 3D es esencial para asegurar que la solución propuesta se adapte perfectamente a las necesidades de paletización de la empresa y cumpla con los estándares de calidad deseados.

Fase V Estudio de la viabilidad económica, técnica, operativa, ambiental y social.

Esta última fase consiste en estudiar lo referente a lo social, personal, ambiental, técnico, en donde se realizarán análisis de costos y beneficios estimados para una principal inversión del proyecto en cuanto al Robot Industrial y sistemas asociados, así como la capacidad del robot para realizar el paletizado de manera eficiente y precisa. Se evaluará cómo

la automatización afectará los procesos de producción y logística de la empresa, la importancia de la capacitación para la inclusión del personal para uso del robot. También un análisis ambiental de cómo la automatización puede afectar el consumo de recursos y la huella ambiental de la empresa.

1.13. Cuadro de Operacionalización de Variables

Cuadro 3. Cuadro de Operacionalización de Variables

OBJETIVO ESPECÍFICO	VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	ÍTEMS	FUENTE DE INFORMACIÓN
Diagnosticar el proceso actual del paletizado y los elementos que lo componen para su posterior automatización.	Estudio de proceso	Proceso de paletizado	Tipos de productos a paletizar	6	<i>Técnica:</i> Entrevista <i>Instrumento:</i> Guión de entrevista
			Organización de productos	2, 3 y 4	
			Etapas del proceso	1 y 7	
	Estudio de automatización del proceso	Manejo de equipos	Equipos actuales que intervienen en la automatización	5	
		Organización y alcance del espacio	Características del producto	6	
			Tiempo de paletizado	8	

Fuente: Fernández R. (2023)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Fase I Diagnóstico del proceso de paletizado de envases de pintura en versiones de cuñetes, galones y cuartos de galón en la empresa Seven Colors C.A.

En la fase inicial del presente estudio, se emprendió una visita minuciosa a las instalaciones de producción de Seven Colors C.A. con el propósito primordial de sumergirse en las complejidades inherentes al proceso de paletizado. Durante esta visita, la observación directa desempeñó un papel crucial al proporcionar información detallada sobre cada fase del procedimiento.

4.1.1. Lista de cotejo

A partir de la observación detallada, se pudo realizar una lista de cotejo o comúnmente llamada “check list”, donde indica la presencia o ausencia de un aspecto o conducta o ser observado durante el proceso de paletizado, abarcando elementos importantes relacionados con la selección de paletas, tipos de envases, la carga física sobre el operador, la eficiencia del proceso y la implementación de tecnologías para mejorar la operación. En este sentido, se convierte en un instrumento integral que va más allá de una mera identificación de presencia o ausencia, permitiendo un análisis exhaustivo de factores esenciales para el éxito y mejora continua del proceso de paletizado en Seven Colors C.A. A continuación, se muestra la lista de cotejo en cuestión.

Cuadro 4. Lista de cotejo

Nº	Descripción	SI	NO	Observación
1	Uso adecuado de tecnologías automatizadas para optimizar el paletizado y reducir la intervención manual.		X	La planta no cuenta con la suficiente tecnología para reducir el trabajo manual.
2	Uso de varios modelos de envase.	X		Se utilizan distintos modelos de envases de distintas dimensiones (cuñetes, galones y cuartos de galón)
3	Selección adecuada de paletas según las dimensiones y características de los envases.		X	No poseen una selección destinada a envases en específico.

Continuación Cuadro 4. Lista de cotejo

4	Identificación de esfuerzo físico significativo por parte del operador durante el manejo de envases.	X		El operador debe realizar un esfuerzo físico repetitivo para el proceso de paletizado.
5	Evaluación de la necesidad de elevar envases a alturas específicas para el paletizado.	X		Cuando se paletizan varios pisos de envases, los más altos proporcionan un esfuerzo adicional.
6	Implementación de técnicas para minimizar la carga física sobre el operador.		X	No se identifican técnicas para minimizar cargas.
7	Consideración de posibles retrasos debido a la manipulación de cargas pesadas.	X		Se retrasa el proceso debido a la fatiga del operador por manipulación de cargas repetitivas
8	Implementación de medidas de seguridad, como el uso de equipo de protección personal.	X		Operadores utilizan cascos para llevar a cabo el proceso.
9	Plan de estrategias de procedimientos operativos para el paletizado.		X	No se tiene ninguna estrategia o señalamiento planteado para agilizar el proceso de paletizado.

Fuente: Fernández R. (2024)

4.1.2. Entrevista

Con el afán de enriquecer aún más la comprensión, se llevó a cabo una entrevista exhaustiva con el jefe de producción del departamento de planta. Este diálogo directo no solo proporcionó una valiosa fuente de información contextual, sino que también ofreció una visión privilegiada desde la perspectiva de alguien que experimenta diariamente las complejidades y desafíos asociados con el proceso de paletizado.

La interacción con el personal clave en la ejecución de estas tareas añadió una capa significativa de profundidad a la investigación, permitiendo captar no solo los aspectos técnicos, sino también las experiencias subyacentes que dan forma a este componente crucial de la operación de Seven Colors C.A. Las preguntas formuladas durante la entrevista se desplegaron estratégicamente para explorar aspectos específicos y revelar detalles

significativos, las cuales se pueden detallar en el cuadro 5. Cada pregunta, concebida con precisión, buscaba extraer información clave que ampliara la visión y el entendimiento, contribuyendo así a la construcción de un panorama completo de los procesos operativos de Seven Colors C.A.

Cuadro 5. Entrevista

N°	Guión de entrevista
1	Desde su experiencia, ¿Cuáles son los modelos de paleta que se dispone y qué características tiene?
	Disponemos varios tipos de paleta, realmente no tenemos una en específico para realizar el paletizado, tomamos la que haya disponible a la mano. A unas se les llaman sencillas que son las más estándar, pesan unos 15 kg, otra se le llama “de taco” porque son más robustas, pesan de 25 a 32 kg y otra llamada sementera similar a la sencilla solo que posee dos tablas en el medio para más resistencia.
2	Podría describir usted ¿Cómo es la organización de los distintos tipos de producto (cuñete, galón, cuarto de galón) según el modelo de paleta?
	No tenemos preferencia por modelo de paleta y producto, todo se hace según convenga.
3	Siendo usted experto en el objeto de estudio; según el tipo de producto, ¿Qué cantidades se colocan por paleta?
	Para los cuñetes se hacen matrices de 4x4, con un máximo de 4 pisos, para un total de 48 cuñetes en una paleta. Los galones se colocan de 6x6 (paquetes de 4 galones plastificados) y se puede llegar hasta un máximo de 5 pisos, que resultaría un total de 180 galones. Por último, los cuarticos se plastifican en paquetes de 6 y se hacen matrices de 12x10 para un máximo de 10 pisos con un total de 1200 cuarticos en una paleta.
4	Puede usted especificar ¿Cuál es la posición de la paleta al momento del paletizado?
	Se paletiza perpendicular a las tablas, ya que le queda cómodo al montacargas para ingresar con las uñas a la paleta.

Continuación Cuadro 5. Entrevista

5	Según su experiencia, ¿Cómo funciona la banda plastificadora y para qué es utilizada?
	Funciona con un solo botón de encendido y otro de apagado. Se envuelven los envases (4 galones o 6 cuarticos), en plástico y se hace avanzar la máquina, estos pasan por la cámara termoencogible y salen del otro lado de manera compacta listo para su paletizado.
6	Puede usted describir ¿Cuáles son las características que tienen los productos, así como el peso, geometría, tipo de envase, material, entre otros?
	Los cuñetes son de 4 galones, pesan desde 19 a 27kg dependiendo de la pintura ya que unas pesan más que otras, el envase es de polietileno de alta densidad (HDPE). En cuanto a los galones, estos son de 3,75 litros, pesan de 4,5 a 6,25 kg depende del líquido del interior. El material del envase es metálico para el esmalte y de plástico (HDPE) para la pintura. Los cuartos de galón (0,946L), pesan de 1 a 1,5 kg, de nuevo dependiendo del líquido que contenga. El material es metálico para el esmalte y de plástico para la pintura.
7	A partir de su experiencia en el campo industrial referido al proceso de paletizado en la empresa Seven Colors C.A, ¿Puede describir detalladamente el proceso?
	El proceso se realiza netamente manual para cualquier tipo de envase. Para el cuñete, después de su llenado, un operador lo toma con sus manos y lo lleva de ese lugar hasta la paleta. Los galones y los cuarticos posterior a su llenado, deben pasarse por la banda plastificadora. Los galones se plastifican en 4 envases (4 pack) y para los cuarticos se plastifican 6 envases (6 pack). Una vez salgan de la cámara termoencogible se toman de la banda con las manos y se llevan a la paleta.
8	En base a su experiencia, ¿Cuál es el tiempo promedio estimado para el paletizado de cada tipo de producto?
	Se paletizan 48 cuñetes en 8 minutos. Se paletizan 144 galones en 40 minutos. Se paletizan 600 cuarticos en 40 minutos. Se tarda 1 minuto en pasar dos 4 pack de galones o dos 6 pack de cuarticos por la banda plastificadora.

Fuente: Fernández R. (2024)

Con estas técnicas utilizadas para el diagnóstico del proceso de paletizado de envases de pintura en versiones de cuñetes, galones y cuartos de galón en la empresa Seven Colors C.A.

y un exhaustivo recorrido por todas las áreas de producción se llega a la conclusión de que el proceso de paletizado, al ser completamente manual, demanda un esfuerzo considerable por parte del personal. Este proceso, que abarca la manipulación y distribución de distintas presentaciones de pintura, revela desafíos adicionales al considerar la diversidad de capacidades y pesos de los envases utilizados.

La empresa ofrece tres presentaciones para la distribución de pintura: cuñetes, galones y cuartos de galón. Los cuñetes, con una capacidad de 4 galones o 15,14 litros y un peso de 19 a 27 kg aproximadamente, se posicionan como elementos fundamentales en el proceso. Asimismo, los galones, con una capacidad de 1 galón o 3,75 litros y un peso de 4,5 a 6,25 kg y los cuartos de galón, con una capacidad de 0,25 galones o 0,95 litros y un peso de 1 a 1,5 kg, contribuyen de manera crucial al conjunto del proceso. Estos envases son visualizados en la figura 7.



Figura 7. Modelos de los envases de pintura

Fuente: Fernández R. (2024)

La identificación de las principales desventajas se manifiesta en la baja eficiencia del proceso y el sobreesfuerzo ejercido por los operadores, factor agravado por la ejecución manual y el variado peso de los envases. Después de que dichos envases son llenados, un operador se encarga de llevarlos hasta la paleta, elevándolos con su propia fuerza. En esta etapa, los cuñetes se distribuyen o posicionan a través de una matriz 4x4 y 3 pisos como máximo, lo que implica la disposición de 4 filas y 4 columnas de cuñetes de pinturas sobre la paleta. Este patrón se replica en 2 pisos adicionales como se muestra en la figura 8, permitiendo colocar un máximo de 48 cuñetes sobre una paleta.



Figura 8. Matriz de paletizado de cuñetes

Fuente: Fernández R. (2024)

En relación con los galones, tras el llenado con su respectivo líquido, se procede a la formación de un paquete de 4 unidades (4 pack), que posteriormente se plastifican, es decir, se envuelven con plástico, así como se observa en la figura 9. En este punto, es relevante señalar que el operador no carga únicamente el peso de un envase de 1 galón, sino el de 4 galones, oscilando entre 18 kg y 25 kg. El paquete, ya envuelto en plástico, se traslada a través de una banda transportadora que posee una máquina termoencogible (figura 10), donde el plástico se adhiere a los envases como es observado en las figuras 11 y 12 de los packs ya armados.

Una vez completado este proceso, el paquete es transportado hasta la paleta, donde se posiciona en una matriz de 6x6 y 5 pisos como máximo para una sola paleta, como se detalla en la figura 13, alcanzando un total de 180 galones. Este mismo procedimiento se replica para los cuartos de galones. Sin embargo, en este caso, no se forman paquetes de 4 envases de pintura, sino de 6 envases (6 pack) como se muestra en la figura 12. La matriz utilizada para colocar los envases sobre la paleta es de 12x10 con 10 pisos, logrando un total de 1200 cuartos de galón.



Figura 9. Plastificado de los envases

Fuente: Fernández R. (2024)

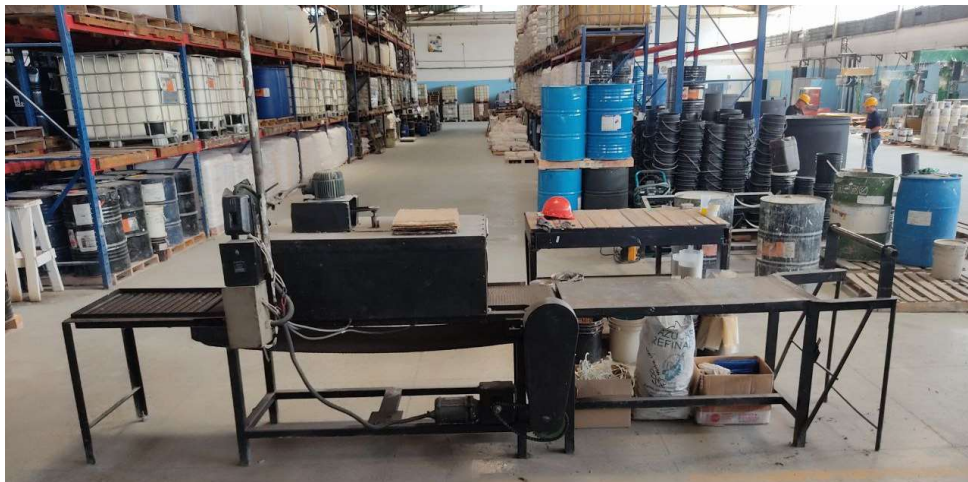


Figura 10. Banda con termoencogible

Fuente: Fernández R. (2024)



Figura 11. “Four pack” de galones

Fuente: Fernández R. (2024)



Figura 12. “Six pack” de cuarticos

Fuente: Fernández R. (2024)



Figura 13. Matriz de galones

Fuente: Fernández R. (2024)

Es relevante destacar que la selección de la paleta utilizada para cada proceso se realiza según la conveniencia. A pesar de que la empresa dispone de varios tipos de paleta, no se asigna una específica para cada proceso, brindando flexibilidad en la elección, sin embargo, esto es un aspecto negativo a su vez debido a que no todas las paletas se adaptan efectivamente a las necesidades del paletizado para cada tipo de envase. Unas paletas poseen más o menos dimensiones que pueden afectar significativamente el proceso al no poder cumplir con los requerimientos totales de producción, almacenaje, y organización al momento de despachar.

Además, es crucial tener en cuenta que, en condiciones operativas normales, la responsabilidad de llevar a cabo todos estos procesos recae de manera exclusiva en un solo operador dentro de la planta. Este operador desempeña todas las tareas necesarias para garantizar el flujo eficiente del proceso. Solo en situaciones excepcionales de alta demanda se busca la colaboración de otros operadores con el objetivo de agilizar el proceso. Sin embargo, es importante subrayar que esta colaboración no conlleva una reducción en el esfuerzo físico requerido, ya que cada operador involucrado sigue enfrentando la carga completa de responsabilidades y desafíos asociados con la manipulación y distribución de los envases, manteniendo así el estándar de calidad y eficacia en la operación.

La ejecución manual del proceso de paletizado en Seven Colors C.A., además de presentar desafíos en términos de carga física para el operador, impacta significativamente la eficiencia en aspectos de tiempo y producción. Dependiendo en gran medida de la fuerza y destreza del operador, tareas como la disposición de envases sobre paletas y la creación de matrices específicas introducen una variabilidad inherente que puede resultar en tiempos de

ciclo más prolongados y una producción más lenta en comparación con enfoques automatizados.

La necesidad de elevar envases a alturas específicas y garantizar la disposición precisa de los mismos en las paletas requiere un tiempo considerable y una atención meticulosa por parte del operador. Esta carga manual no solo aumenta el riesgo de fatiga y lesiones, sino que también podría resultar en posibles retrasos si la manipulación de cargas pesadas se encuentra con obstáculos inesperados, así como la posibilidad de que el envase pueda escaparse de las manos del operador y haya derrame de pintura. Estos incidentes no solo implican pérdida de producto, sino que también generan tiempo adicional para la limpieza y pueden afectar la eficiencia general del proceso.

En este contexto, surge la imperativa necesidad de considerar alternativas innovadoras que posibiliten la automatización y optimización de estos procesos. Explorar y adoptar tecnologías que simplifiquen y agilicen el proceso de paletizado, se presenta como una dirección estratégica clave. La incorporación de sistemas automatizados podría no solo reducir la carga física sobre el personal operativo, aliviando así los riesgos de salud asociados, sino también mejorar significativamente la eficiencia global del proceso.

Fase II Seleccionar la alternativa del sistema de automatización y los elementos involucrados en el mismo para automatizar el proceso de paletizado de envases de pintura en versiones de cuñetes, galones y cuartos de galón en la empresa Seven Colors C.A.

En la fase actual de la investigación, se procedió a llevar a cabo un análisis de los problemas identificados y de las causas significativas asociadas al proceso de paletizado en la empresa Seven Colors, C.A. Este análisis brindó una comprensión profunda de las áreas que requieren intervención. En relación con esta premisa, se exploraron diversos enfoques para la automatización del proceso de paletizado, donde incluya todos los elementos de la celda robótica, considerando la información recopilada en fases anteriores. La finalidad primordial de esta etapa es proponer alternativas viables que permitan una mejora sustancial en la eficiencia y eficacia del proceso. Una vez plasmadas estas alternativas, se llevará a cabo una cuidadosa evaluación para seleccionar la opción más óptima, considerando las características de los elementos, así como su diseño y factibilidad para el proceso.

4.2.1. Análisis del proceso de paletizado actual en la empresa Seven Colors, C.A.

4.2.1.1. Diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de causa-efecto, es una herramienta visual esencial para analizar las posibles causas de problemas específicos, siendo

particularmente valioso en el contexto del proceso de paletizado de Seven Colors, C.A. Al organizar sistemáticamente las posibles fuentes de problemas, las "espinas" principales del diagrama representan categorías generales que se desglosan en detalles específicos, proporcionando un enfoque estructurado para entender la complejidad del proceso.

Para el proceso de paletizado actual en la empresa Seven Colors, C.A., se lograron identificar las siguientes características que conllevan las causas particulares correspondientes las cuales nos ayudaron a obtener un panorama claro de lo enfrentado: Normas, ergonomía, ausencia de tecnología, tiempo y producción.

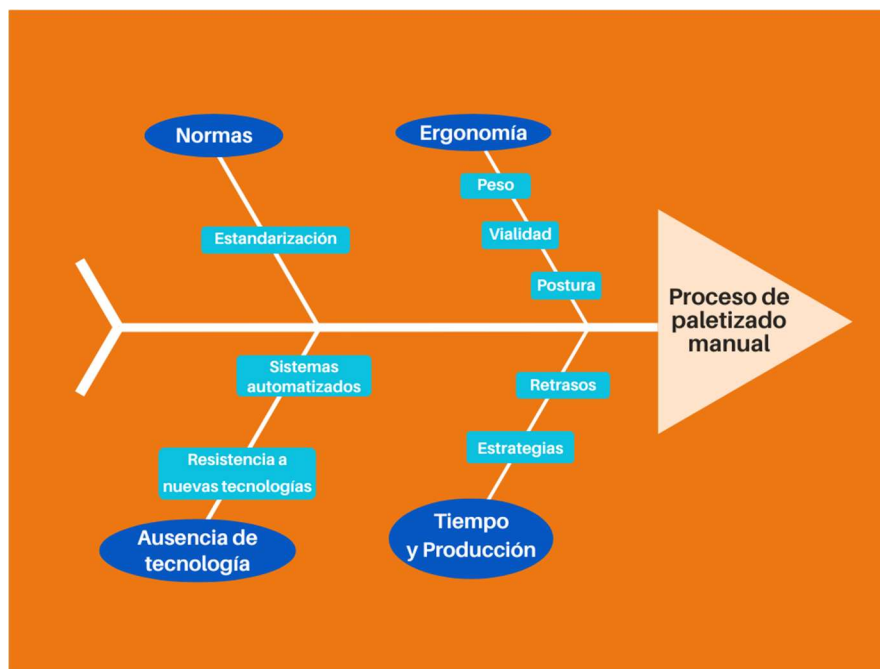


Figura 14. Diagrama de Ishikawa

Fuente: Fernández R. (2024)

Al emplear el diagrama de Ishikawa (figura 14), se logró identificar las causas principales asociadas a las categorías previamente establecidas, tomando en consideración las observaciones previas. La visualización proporcionada por el diagrama destaca cómo estas carencias inciden directamente en los problemas identificados en el proceso de paletizado de Seven Colors, C.A.

- **Normativas**

En cuanto a las normativas, no existe una estandarización de las paletas utilizadas para el proceso de paletizado. Como bien se pudo observar en la entrevista, los operadores utilizan cualquier tipo de paleta que se encuentren para el paletizado, no teniendo en cuenta ningún tipo de clasificación para el uso de las mismas. Al utilizar distintos modelos de paleta dentro de la

planta, representa un problema en el almacenaje y transporte de las mismas cuando se requiere organizar y despachar. A continuación, se muestran los modelos de paleta que disponen en Seven Colors, C.A. en las figuras de la 15 a la 19.

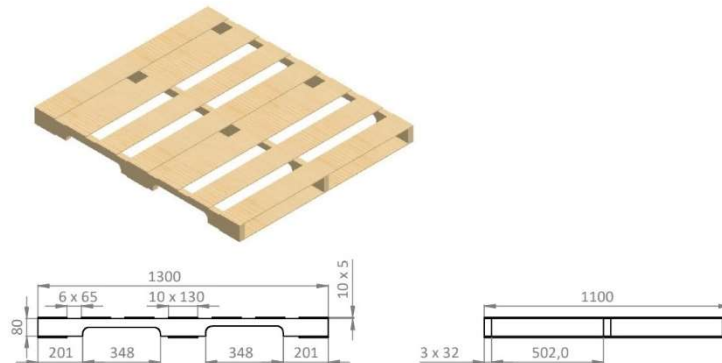


Figura 15. Modelo paleta (1)

Fuente: Fernández R. (2024)

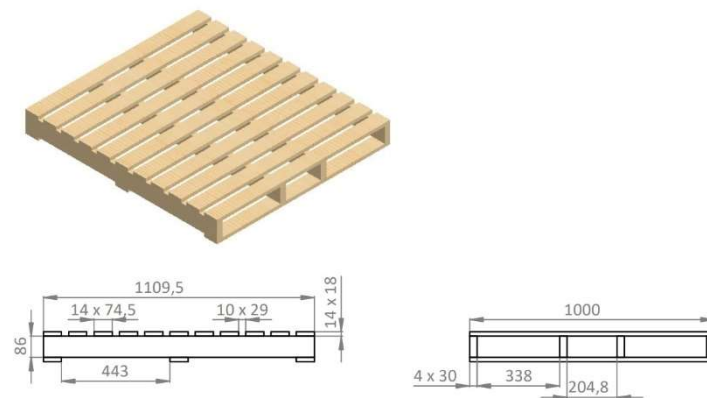


Figura 16. Modelo paleta (2)

Fuente: Fernández R. (2024)

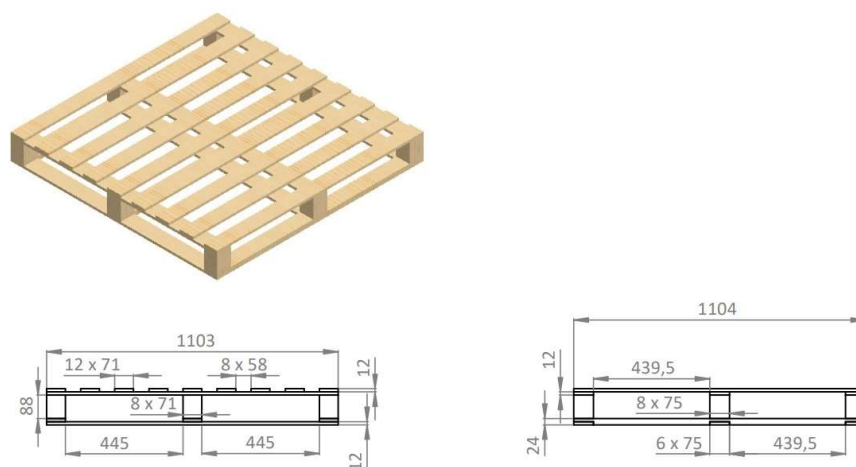


Figura 17. Modelo paleta (3)

Fuente: Fernández R. (2024)

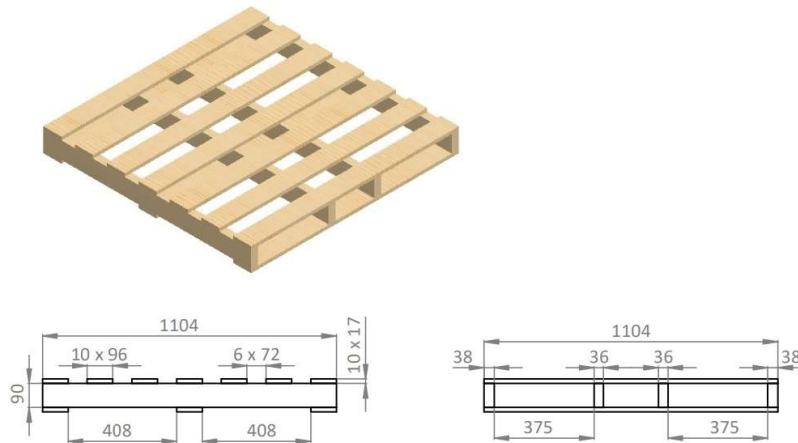


Figura 18. Modelo paleta (4)

Fuente: Fernández R. (2024)

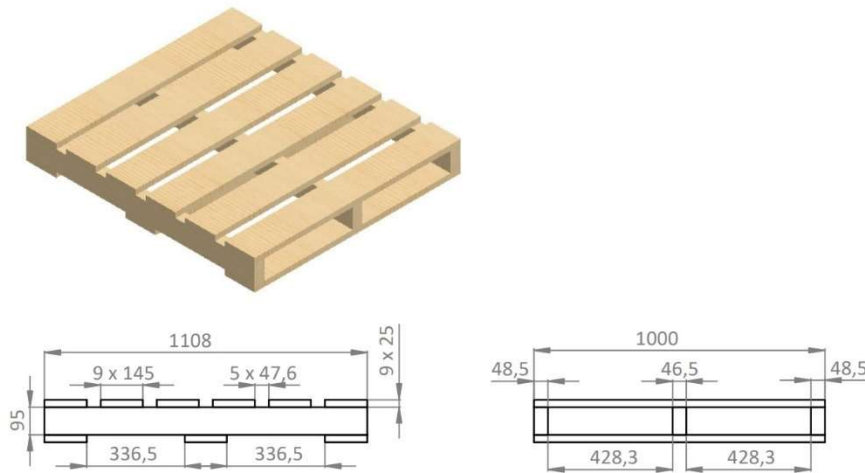


Figura 19. Modelo paleta (5)

Fuente: Fernández R. (2024)

- **Ergonomía**

Se identificaron diversas causas relacionadas con la ergonomía en el proceso de paletizado. El peso considerable de los envases representa una carga para los operadores, aumentando el riesgo de lesiones. Asimismo, existe la posibilidad de que un envase resbale, resultando en derrames de pintura, lo cual está vinculado a la postura adecuada que debe mantener el operador durante la operación. Además, la falta de señalización en el área de paletizado contribuye a la presencia de obstáculos que podrían afectar el flujo del proceso. Este análisis resalta la falta de recursos, estrategias, estandarización y tecnología en el proceso de paletizado manual.

- **Ausencia de tecnología**

Seven Colors, C.A, enfrenta desafíos en el paletizado debido a la falta de sistemas automatizados, generando riesgos ergonómicos y obstáculos operativos. La resistencia a nuevas tecnologías impacta la eficiencia y competitividad. La incorporación de robots y sistemas automatizados podría mejorar la velocidad y reducir la carga física sobre los operadores.

- **Tiempo y producción**

La carencia de estrategias específicas en Seven Colors afecta negativamente la eficiencia del paletizado, provocando retrasos. La manipulación manual de envases aumenta el riesgo de obstáculos e imprevistos, generando pérdidas de tiempo y producción.

4.2.1.2. Diagrama de Pareto

En adición al diagrama de Ishikawa, se presenta un diagrama de Pareto el cual puede visualizarse en la figura 20 junto con la tabla 1, en donde el mismo incorpora las causas y problemas previamente identificados en el proceso de paletizado actual de Seven Colors, C.A. Este análisis jerarquizado destaca las causas más relevantes que contribuyen a los problemas operativos, permitiendo una focalización efectiva en áreas clave para la mejora.

Tabla 1. Diagrama de Pareto

Causa / Problema	Datos recolectados	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Ausencia de Tecnología	5	33,33%	33,33%
Ergonomía	5	33,33%	66,67%
Tiempo y producción	4	26,67%	93,33%
Normas	1	6,67%	100,00%
Total	15	100,00%	

Fuente: Fernández R. (2024)

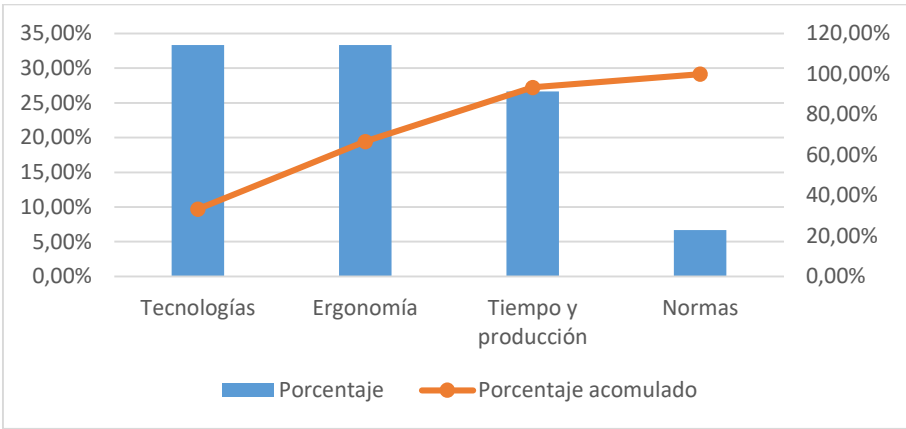


Figura 20. Diagrama de Pareto

Fuente: Fernández R. (2024)

Al analizar el diagrama de Pareto, se desveló la importancia proporcional de cada causa, permitiendo la clasificación según el principio del 80/20. Este método establece un orden de prioridad basado en el impacto relativo de las causas, facilitando una asignación eficaz de recursos y esfuerzos. Al concentrarse inicialmente en las causas que representan el 80% de los problemas identificados, donde se encuentran “ausencia de tecnología”, “ergonomía” y “tiempo y producción”; se busca maximizar la eficacia de las acciones correctivas. Por otro lado, en un 20% se encuentra la causa restante “normas” que también es de suma importancia, y fue tomada en cuenta para la automatización del proceso de tal manera de minimizarla aún más. En consecuencia, el diagrama de Pareto emerge como una herramienta estratégica esencial para orientar las iniciativas de mejora y optimización en el proceso de paletizado de Seven Colors, C.A.

4.2.1.3. Cuadro comparativo

A continuación, se muestra el cuadro 6, la cual se define como una cuadro comparativo entre el proceso de paletizado manual y automatizado que proporciona una visión integral de las diferencias clave entre ambas metodologías. Este tipo de herramienta facilitó la identificación de ventajas y desventajas de cada enfoque, permitiendo una evaluación rápida y estructurada de aspectos como la eficiencia en tiempo y producción, precisión en la colocación de productos, requerimientos de recursos humanos, costos asociados y potencial para la implementación de tecnologías.

Cuadro 6. Cuadro comparativo entre paletizado manual y automatizado

Característica	Paletizado Manual	Paletizado Automatizado
Carga Física sobre el Operador	Elevación y disposición manual de envases	Manipulación automatizada de envases
Eficiencia en Tiempo y Producción	Variabilidad en el proceso manual	Proceso estandarizado y consistente
Flexibilidad ante Cambios de Demanda	Limitada adaptabilidad a fluctuaciones de demanda	Mayor capacidad para ajustarse a cambios de demanda
Nivel de Automatización	Bajo	Alto
Riesgo de Errores Humanos	Mayor posibilidad de errores y variabilidad	Reducción de errores humanos con automatización
Costos de Operación	Posiblemente menores costos iniciales	Posiblemente mayores costos iniciales, pero menores a largo plazo

Continuación cuadro 7. Cuadro comparativo entre paletizado manual y automatizado

Capacidad de Producción Continua	Dependiente de la resistencia física del operador	Operación continua sin fatiga ni necesidad de descanso
Adaptabilidad a Nuevas Tecnologías	Menos adaptable a la incorporación de nuevas tecnologías	Facilita la adopción de tecnologías avanzadas
Nivel de Riesgo de Accidentes	Mayor riesgo de lesiones y derrames de producto	Menor riesgo de lesiones y mejor manejo de materiales peligrosos
Requiere Personal Especializado	No necesariamente requiere habilidades técnicas	Necesita personal capacitado para mantenimiento y gestión
Consistencia en la Calidad del Producto	Susceptible a variaciones humanas	Mayor consistencia y precisión en la disposición de productos

Fuente: Fernández R. (2024)

Al analizar el cuadro comparativo entre el proceso de paletizado manual y el automatizado, se pudo observar que es evidente las ventajas que posee el paletizado de manera automática, debido a que toma superioridad en cuanto a la gran mayoría de las características que se presentan en dicho cuadro. Por lo tanto, se confirma una vez más que es indispensable realizar la automatización de dicho proceso en la empresa Seven Colors, C.A.

4.2.2. Selección de la mejor solución

4.2.2.1. Planteamiento de alternativas o posibles soluciones para la automatización del proceso de paletizado de envases de pinturas en versiones de cuñetes, galones y cuartos de galón en la empresa Seven Colors, C.A.

En esta sección se presentaron alternativas de los distintos elementos que se dispondrán en la celda robótica para el problema identificado en el proceso de paletizado. La elección se fundamentó en el teorema de Vilchez, evaluando cada alternativa según los criterios y restricciones previamente establecidos. Este enfoque garantizó la selección de la solución más idónea.

✓ Posible solución 1 (PS₁)

En esta propuesta, se destaca la integración de un robot cartesiano de 3 ejes como elemento central para llevar a cabo las tareas de paletizado. Este dispositivo trabajará en colaboración con un gripper, diseñado en forma de dedos o garras, para manipular eficientemente los diversos envases. Además, se incorporará una banda transportadora de cinta destinada a los cuñetes con una mesa de toma de rodillos. Esta configuración Robot-Herramienta puede observarse en la figura 21. Adicionalmente, en relación con los galones y

cuartos de galón, se implementará un proceso adicional mediante una máquina termoencogible la cual formará los paquetes de 4 y paquetes de 6 respectivamente detallados en la fase anterior.



Figura 21. Posible solución 1

Fuente: Fernández R. (2024)

✓ **Posible solución 2 (PS₂)**

Esta posible solución consta de la utilización de un Robot antropomórfico (de 4 ejes), el cual tendrá una herramienta terminal de tipo tridente, para así poder tomar los distintos envases de pintura como lo son cuñetes, galones y cuartos de galón, por su base (parte baja del envase) y llevarlos hacia el lugar indicado. Esta herramienta debe tener las dimensiones exactas, suficientes y versátiles para amoldarse a los 3 distintos tipos de envases. Se utilizará también un transportador de cadenas con rodillos para que los operadores después del llenado de los cuñetes puedan colocar los mismos sobre esta banda la cual llevará al punto de toma del robot para colocarlo sobre la paleta. En el caso de los galones y cuarticos, se utilizará la misma banda con termoencogible que ya tienen actualmente a su disposición, sin embargo, se le hará una adaptación en la parte extrema de la banda dónde tenga los rodillos lo suficientemente espaciados para que el robot pueda tomar el los paquetes de envases en conjunto.

En la figura 22 se pueden observar los distintos elementos mencionados anteriormente.



Figura 22. Posible solución 2

Fuente: Fernández R. (2024)

✓ **Posible solución 3 (PS₃)**

En esta alternativa de implementación, se plantea la participación central de robots colaborativos en donde se detalla claramente en la figura 23, ya sean dos o tres, que trabajarán de manera coordinada para realizar las tareas de paletizado. Estos robots estarán equipados con herramientas versátiles, utilizando sistemas de succión para manipular eficientemente los cuñetes, y herramientas de tridente diseñadas específicamente para los galones y cuartos de galón. Como parte del sistema integrado, se emplearán cintas transportadoras, que facilitarán el desplazamiento de los productos a lo largo de la línea de producción. Además, se integrará la banda transportadora termoencogible previamente mencionada, optimizando así la eficacia del proceso y asegurando una disposición adecuada de los envases en la paleta.

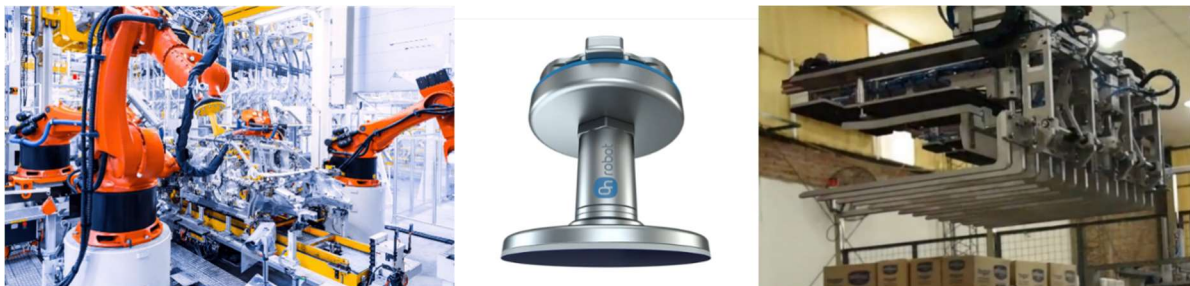


Figura 23. Posible solución 3

Fuente: Fernández R. (2024)

✓ **Posible solución 4 (PS₄)**

En una opción adicional (figura 24), se propone la implementación de un robot SCARA como actor principal en el proceso de paletizado. Este robot, equipado con una herramienta tipo corredera a presión, se encargará de realizar las tareas de manipulación de los envases. Para los cuñetes, se empleará una cinta transportadora dedicada que facilitará su desplazamiento y

posicionamiento. En paralelo, se integrará una banda transportadora termoencogible específica para los galones y cuartos de galón.



Figura 24. Posible solución 4

Fuente: Fernández R. (2024)

4.2.2.2. Restricciones para las soluciones

En esta sección se plantearon restricciones que definen condiciones y permiten eliminar posibles soluciones.

(R₁) Integración con sistemas existentes: La celda robótica debe ser compatible e integrarse de manera efectiva con otros sistemas existentes en la planta

(R₂) Seguridad de la herramienta de trabajo del robot: El tipo de herramienta de trabajo debe ser lo suficientemente versátil y seguro para tomar los distintos envases de pintura y sus presentaciones en paquetes.

(R₃) Manipulación de diferentes envases: La celda debe ser capaz de adaptarse y tener los equipos necesarios para diferentes tamaños y tipos de envases sin comprometer la eficiencia y precisión del paletizado.

Cuadro 8. Posibles soluciones vs Restricciones

	POSIBLES SOLUCIONES			
RESTRICCIONES	PS ₁	PS ₂	PS ₃	PS ₄
R ₁	Si	Si	Si	Si
R ₂	No	Si	Si	Si
R ₃	Si	Si	Si	Si

Fuente: Fernández R. (2024)

En el cuadro 7, se puede observar que las posibles soluciones que no cumplan con todas las restricciones, automáticamente quedarán descartadas. En este caso, PS1 está descartada, por lo contrario, PS2, PS3 y PS4 se convierten en solución y pasan a ser S2, S3 y S4.

4.2.2.3. Criterios a soluciones

Luego de hallar las soluciones, debemos plantear distintos criterios para poder seleccionar la mejor alternativa. Estos criterios y las soluciones serán ponderados hasta conseguir la solución ideal.

Los criterios son:

(C₁) Robot flexible para el trabajo de paletizado

(C₂) Tipo de herramienta versátil para manipular distintos envases

(C₃) Facilidad de programación y operación

4.2.2.4. Ponderación de criterios

Los criterios serán ponderados de acuerdo al orden de importancia relativa, con una escala definida donde el número más alto es el que tendrá más importancia. En este caso, el número 3 es el de mayor importancia.

(PC)₁ = 1 Facilidad de programación y operación

(PC)₂ = 2 Tipo de herramienta versátil para manipular distintos envases

(PC)₃ = 3 Robot flexible para el trabajo de paletizado

4.2.2.5. Ponderación de soluciones respecto a cada criterio

Se procede a ponderar las soluciones respecto a cada criterio en particular. Tendremos una escala de menor a mayor, donde el mayor número será el que tendrá más importancia. El objetivo es obtener una valoración objetiva de cada alternativa y de esta manera seleccionar la solución más adecuada. Se puede observar este procedimiento en las tablas de la 2 a la 4.

Se comienza con el criterio C₁.

Tabla 2. Ponderación de soluciones respecto a C₁

C₁	S₂	S₃	S₄	Nro. de veces	P_{x1} = N
S₂				2	P ₁₁ = 3
S₃	S₂			0	P ₂₁ = 1
S₄	S₂	S₄		1	P ₃₁ = 2
Orden de aceptación	1ro	3ro	2do		

Fuente: Fernández R. (2024)

Para el criterio C₂

Tabla 3. Ponderación de soluciones respecto a C2

C ₂	S ₂	S ₃	S ₄	Nro. de veces	P _{x3} = N
S ₂				2	P ₁₃ = 3
S ₃	S ₂			1	P ₂₃ = 2
S ₄	S ₂	S ₃		0	P ₃₃ = 1
Orden de aceptación	1ro	2do	3ro		

Fuente: Fernández R. (2024)

Finalmente, con C₃**Tabla 4.** Ponderación de soluciones respecto a C3

C ₃	S ₂	S ₃	S ₄	Nro. de veces	P _{x4} = N
S ₂				2	P ₁₄ = 3
S ₃	S ₂			1	P ₂₄ = 2
S ₄	S ₂	S ₃		0	P ₃₄ = 1
Orden de aceptación	1ro	2do	3ro		

Fuente: Fernández R. (2024)

4.2.2.6. Ponderación final de soluciones

Una vez realizada la ponderación de soluciones por cada criterio, se procede a la ponderación final, la cual se visualiza el cálculo en las tablas 6 y 7.

Tabla 5. Ponderación final de soluciones

PC _x	P _{1x}	PC _x * P _{1x}	P _{2x}	PC _x * P _{2x}	P _{3x}	PC _x * P _{3x}
PC ₁	P ₁₁		P ₂₁		P ₃₁	
PC ₂	P ₁₂		P ₂₂		P ₃₂	
PC ₃	P ₁₃		P ₂₃		P ₃₃	

Fuente: Fernández R. (2024)

Tabla 6. Resultados de la ponderación final de soluciones

PC _x	P _{1x}	PC _x * P _{1x}	P _{2x}	PC _x * P _{2x}	P _{3x}	PC _x * P _{3x}
1	3	3	1	1	2	2
2	3	9	2	6	1	3
3	3	12	2	8	1	4
		24		15		9

Fuente: Fernández R. (2024)

De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye que la solución 2, es la solución más óptima para abordar el problema en cuestión ya que cumple con las restricciones y criterios planteados anteriormente. El paletizador a diseñar se presenta en la figura 25.



Figura 25. Paletizador a diseñar

Fuente: Fernández R. (2024)

Fase III Diseño del proceso de automatización de paletizado de envases de pintura en función a la alternativa seleccionada.

En esta tercera fase, se procedió con el diseño detallado de la alternativa seleccionada en la etapa anterior. Se abordaron todos los elementos de la celda robótica, incluyendo la herramienta de trabajo del robot y la selección de los componentes de las bandas transportadoras. Asimismo, se realizó la elección del robot más adecuado para la tarea de paletizado, considerando cuidadosamente sus características y capacidades específicas. Este proceso de diseño de la celda robótica, aseguró la coherencia y eficacia en la implementación de la solución propuesta.

Antes de abordar el diseño del proceso de paletizado, se realizaron medidas de las distintas presentaciones de los envases provenientes de diferentes fabricantes. Esta acción fue crucial, dado que, a pesar de que los envases debían contener el mismo volumen de contenido líquido, cada fabricante tenía variaciones en la morfología de sus envases. Esta recopilación de datos mostrados de la figura 26 a la 35, permitió obtener un promedio preciso de las dimensiones de los cuñetes y galones, mientras que las medidas de los cuartos de galón se mantuvieron constantes. Estos datos son esenciales para llevar a cabo un diseño y selección adecuados de los elementos que conformarán la celda robótica.

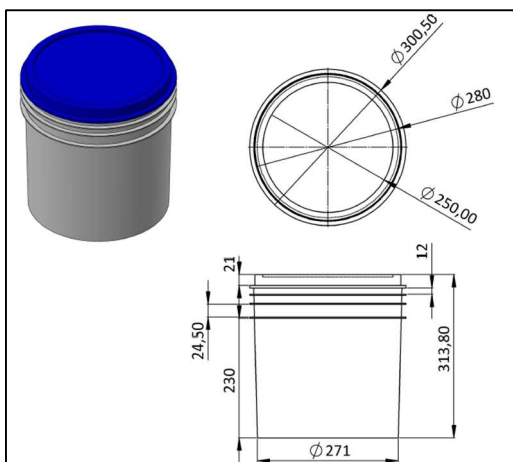


Figura 26. Cuñete 1

Fuente: Fernández R. (2024)

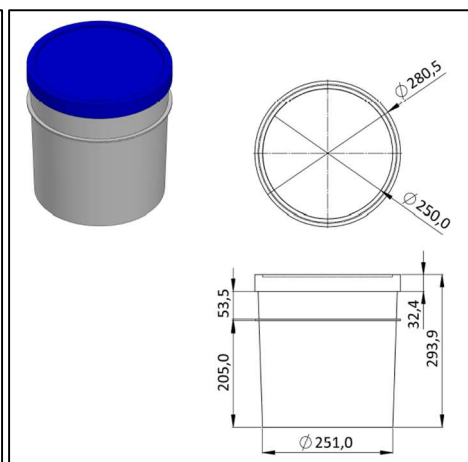


Figura 27. Cuñete 2

Fuente: Fernández R. (2024)

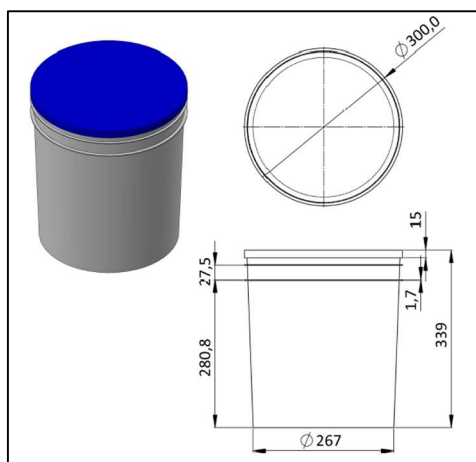


Figura 28. Cuñete 3

Fuente: Fernández R. (2024)

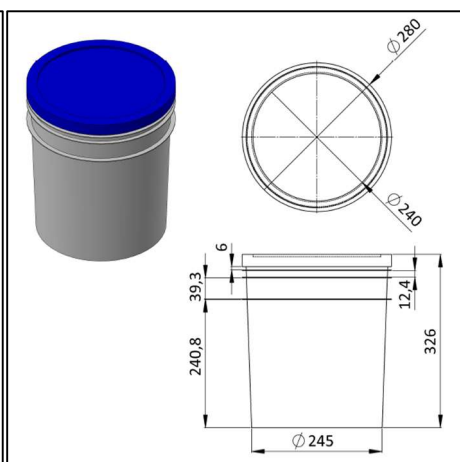


Figura 29. Cuñete 4

Fuente: Fernández R. (2024)

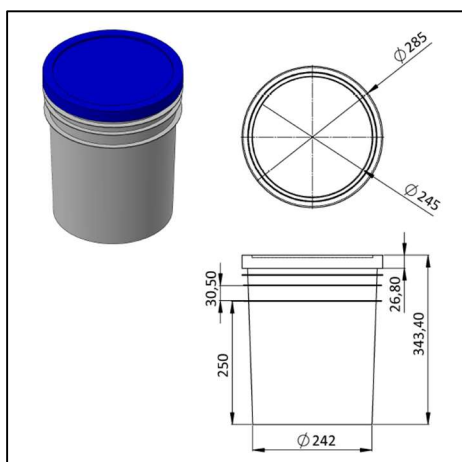


Figura 30. Cuñete 5

Fuente: Fernández R. (2024)

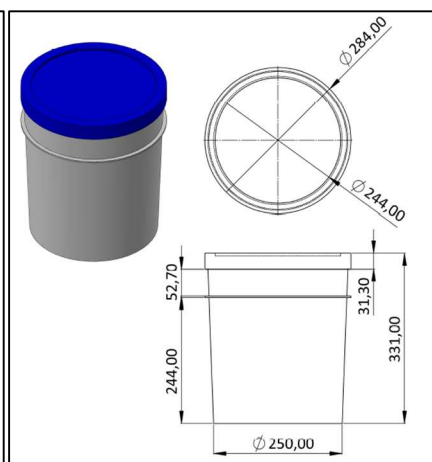


Figura 31. Cuñete 6

Fuente: Fernández R. (2024)

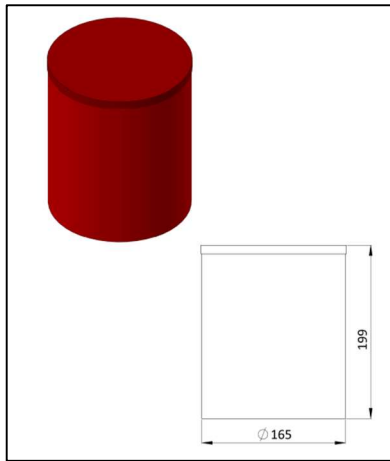


Figura 32. Galón 1

Fuente: Fernández R. (2024)

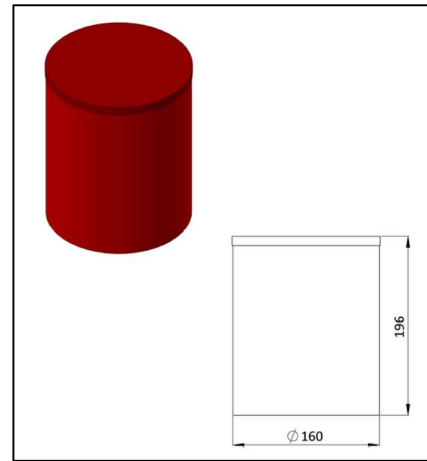


Figura 33. Galón 2

Fuente: Fernández R. (2024)

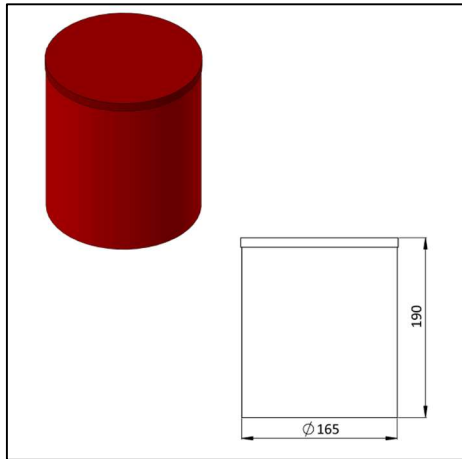


Figura 34. Galón 3

Fuente: Fernández R. (2024)

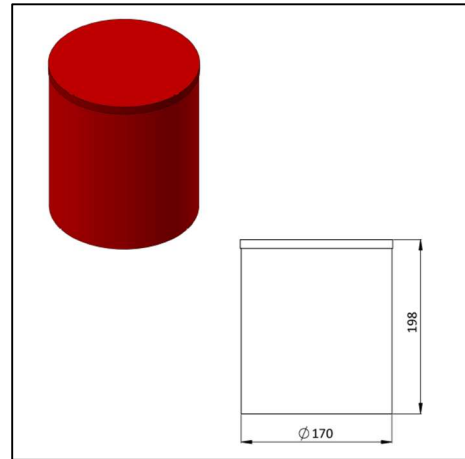


Figura 35. Galón 4

Fuente: Fernández R. (2024)

Luego de presentar los distintos modelos de envases de pintura tanto del cuñete como del galón, se puede concluir un promedio:

- **Cuñetes:**
 - ✓ Diámetro superior: 288,3 mm
 - ✓ Diámetro inferior: 254,3 mm
 - ✓ Altura total: 311,3 mm
- **Galones:**
 - ✓ Diámetro superior: 165 mm
 - ✓ Altura total: 196 mm

4.3.1. Herramienta de terminal de trabajo del Robot

El efector final de trabajo del robot se encuentra en la muñeca del mismo y se presenta como una herramienta de tipo tridente como se observa en la figura 35. Esta característica

implica que los envases son sujetados por sus bases, es decir, la parte inferior o "piso" del envase, durante su traslado desde la correspondiente banda transportadora hasta la paleta de destino. La herramienta ha sido diseñada con las dimensiones y adaptaciones necesarias para llevar a cabo eficientemente el proceso de paletizado, ella puede tomar 4 cuñetes, 3 packs de galones o 5 packs de cuartos de galón. Además, incorpora un mecanismo que le permite tomar la paleta y desplazarla hacia su posición correspondiente en el área de paletizado. En las figuras de la 36 a la 45, se visualiza la herramienta desde distintos ángulos.

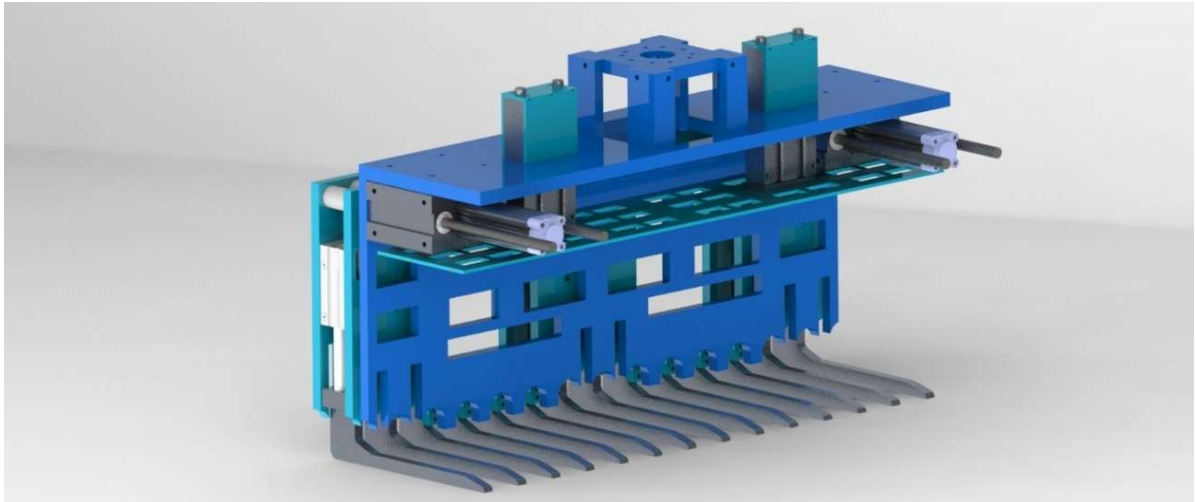


Figura 36. Vista isométrica herramienta terminal de trabajo del Robot

Fuente: Fernández R. (2024)

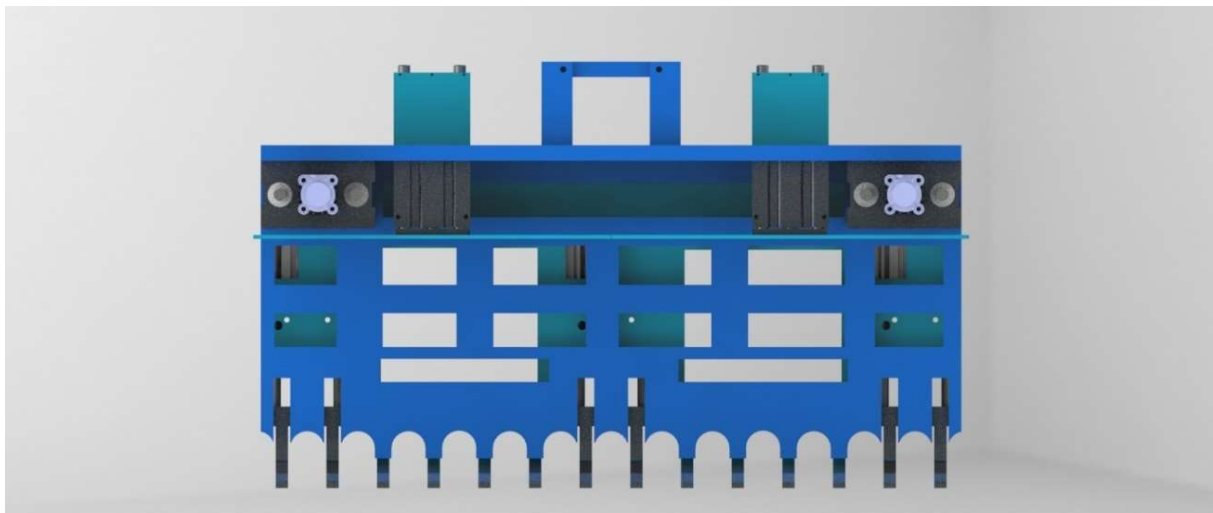


Figura 37. Vista frontal herramienta terminal de trabajo del Robot

Fuente: Fernández R. (2024)

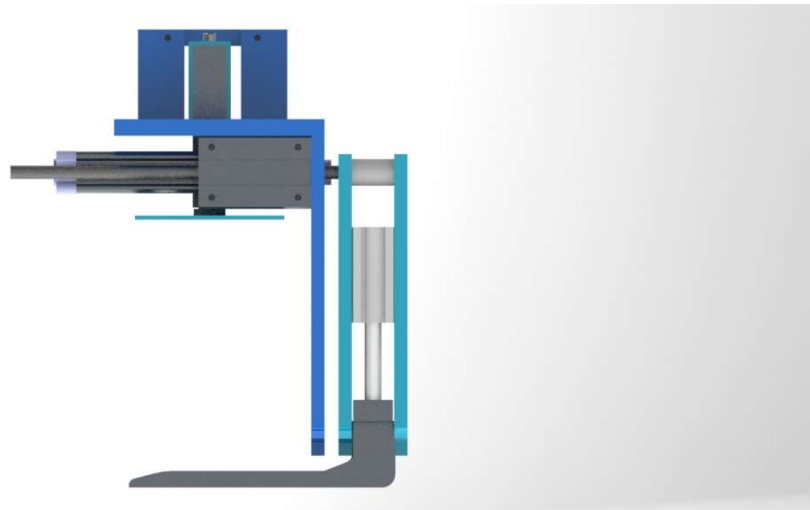


Figura 38. Vista lateral herramienta terminal de trabajo del Robot

Fuente: Fernández R. (2024)

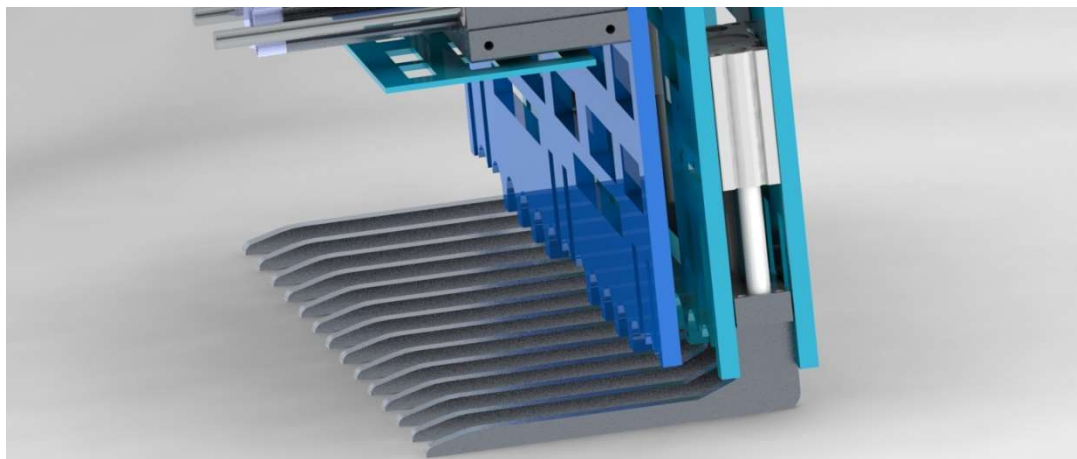


Figura 39. Vista parte inferior de la herramienta terminal de trabajo del Robot

Fuente: Fernández R. (2024)

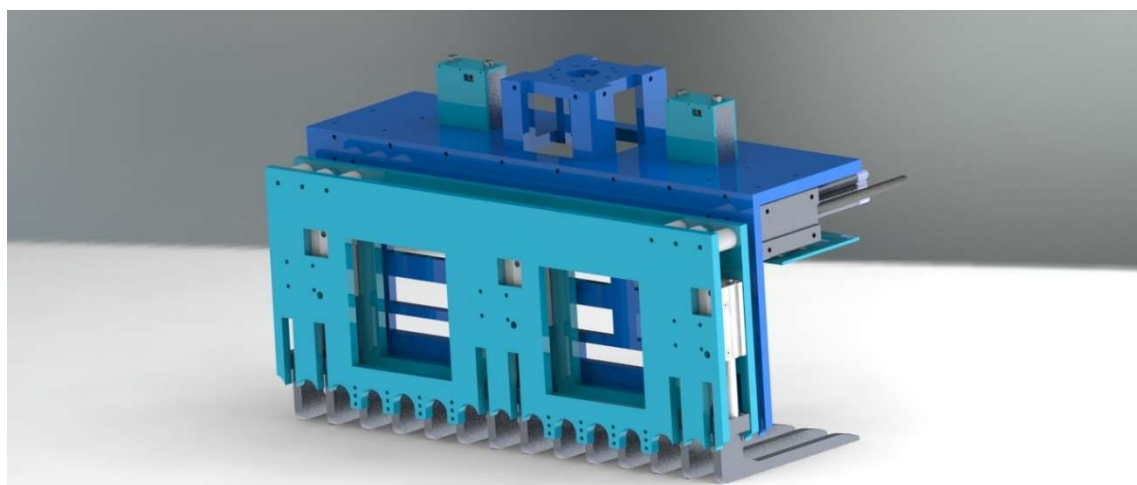


Figura 40. Vista posterior herramienta terminal de trabajo del Robot

Fuente: Fernández R. (2024)

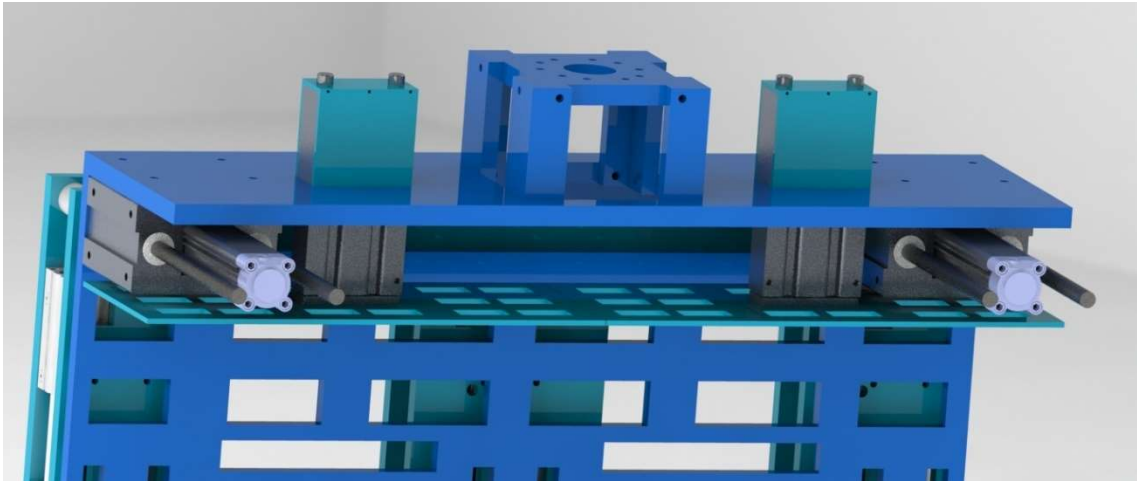


Figura 41. Vista parte superior de la herramienta terminal de trabajo del Robot

Fuente: Fernández R. (2024)



Figura 42. Herramienta con cuñetes

Fuente: Fernández R. (2024)

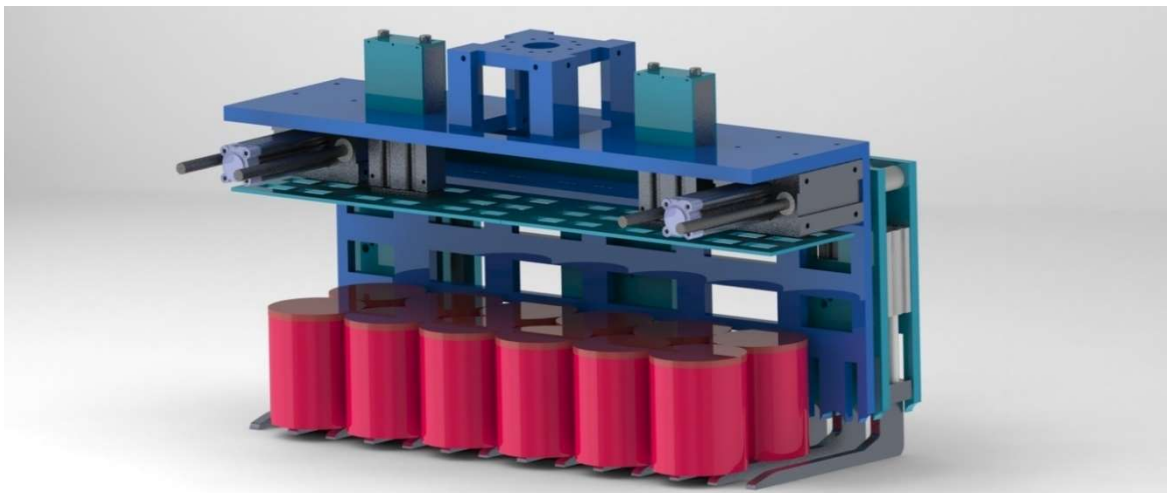


Figura 43. Herramienta con galones

Fuente: Fernández R. (2024)

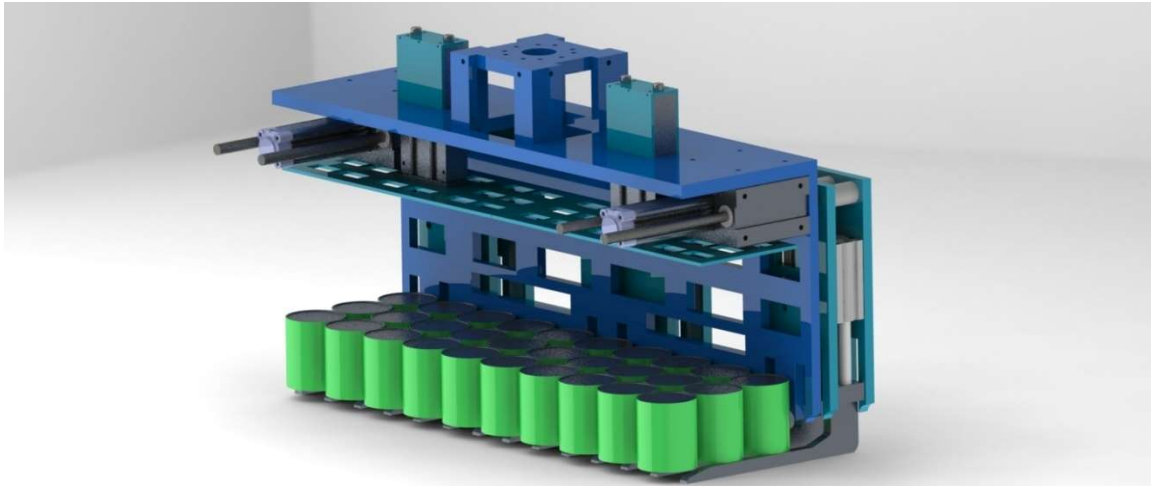


Figura 44. Herramienta con galones

Fuente: Fernández R. (2024)

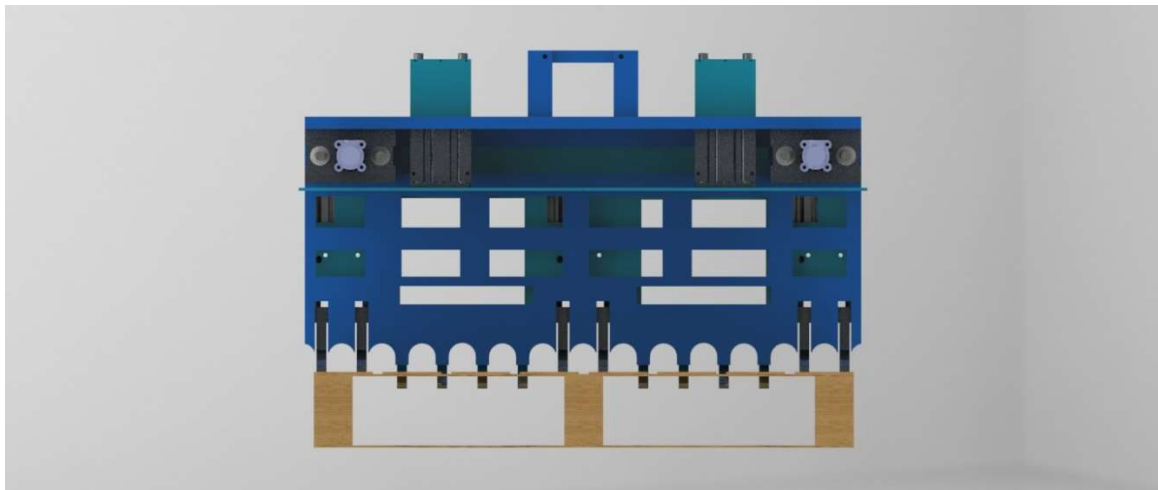


Figura 45. Accionamiento de herramienta con paleta (vista frontal)

Fuente: Fernández R. (2024)

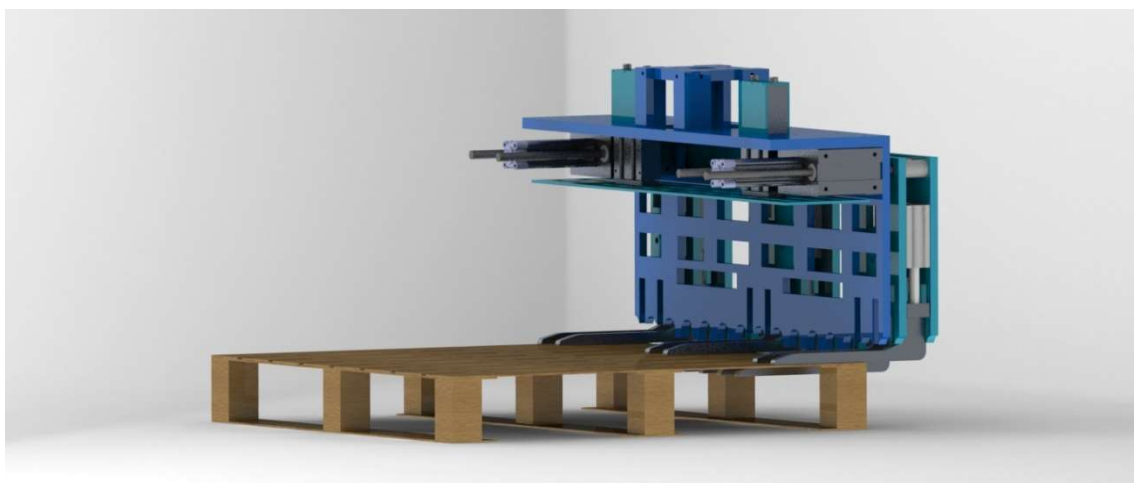


Figura 46. Accionamiento de herramienta con paleta (2)

Fuente: Fernández R. (2024)

4.3.1.1. Funcionamiento

Una vez que la herramienta se introduce entre los rodillos de la banda transportadora y se posiciona con sus garras en el lugar de toma del envase a paletizar, se activan los cilindros guiados neumáticos ubicados en posición vertical (ver figura 47) en la placa superior central de la herramienta (figura 48). Estos cilindros tienen el extremo del eje sujeto a una placa (ver figura 49), la cual presionará los envases contra las garras para garantizar la sujeción de manera segura. Acto seguido, el robot se desplaza hasta la paleta, colocando los envases en la ubicación correcta. Una vez completada esta tarea, los cilindros guiados se retraen, liberando los envases.

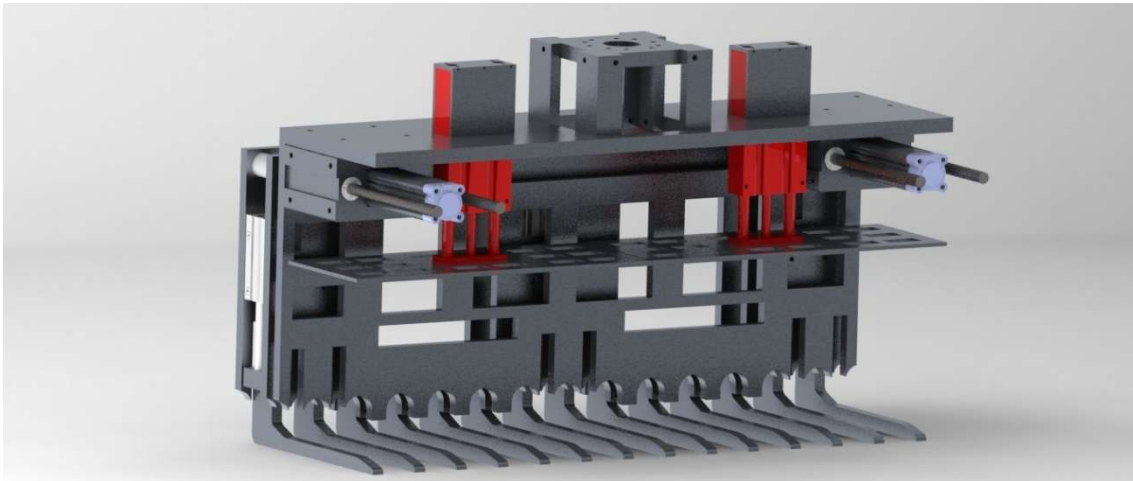


Figura 47. Cilindros neumáticos guiados presionadores de envases.

Fuente: Fernández R. (2024)

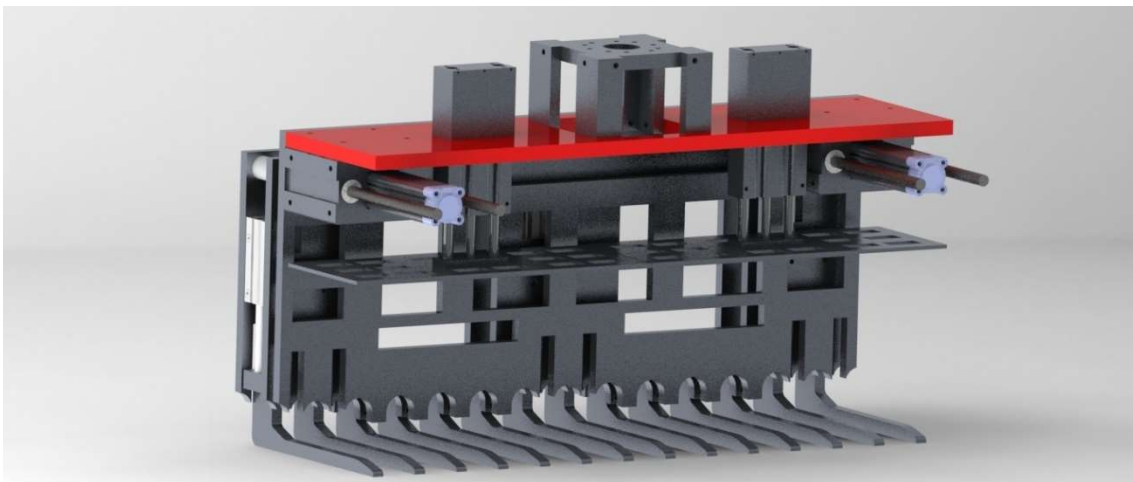


Figura 48. Placa superior central

Fuente: Fernández R. (2024)

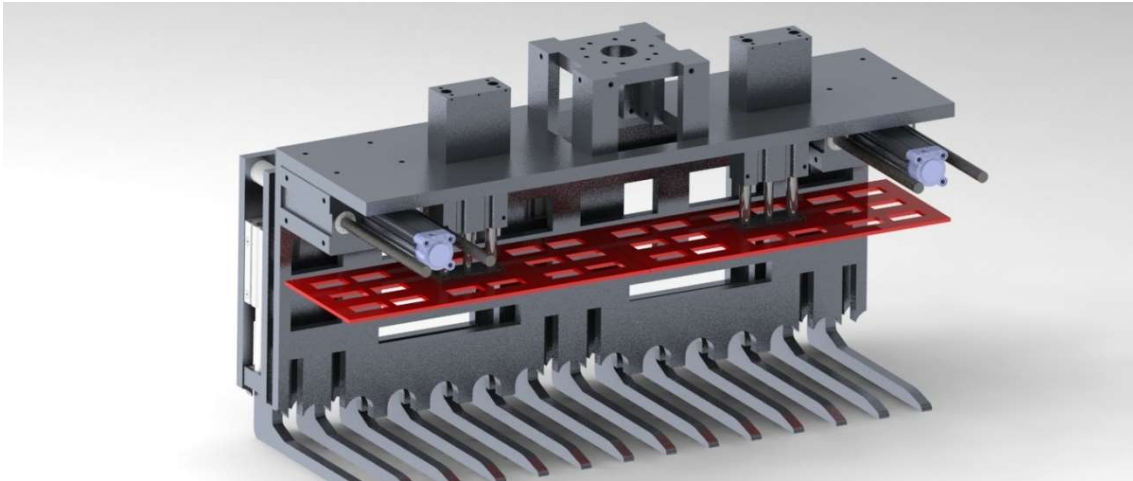


Figura 49. Placa presiona envase

Fuente: Fernández R. (2024)

Asimismo, la herramienta cuenta con dos cilindros neumáticos situados en los extremos y alojados en un cajón de duraluminio, que sirve como soporte y guía para los ejes (ver figura 50). Estos cilindros, al activarse, facilitan el deslizamiento del tridente. Al retirarse el tridente, una placa de tope visualizada en la figura 51, asegura que los envases permanezcan en su lugar, manteniéndolos en la posición respectiva. Posteriormente, cuando el robot regresa a su posición inicial, los cilindros en estado horizontal se activan nuevamente, retrayéndose para devolver el tridente a su posición original, para entonces repetir este proceso cíclicamente hasta completar el trabajo de paletizado.

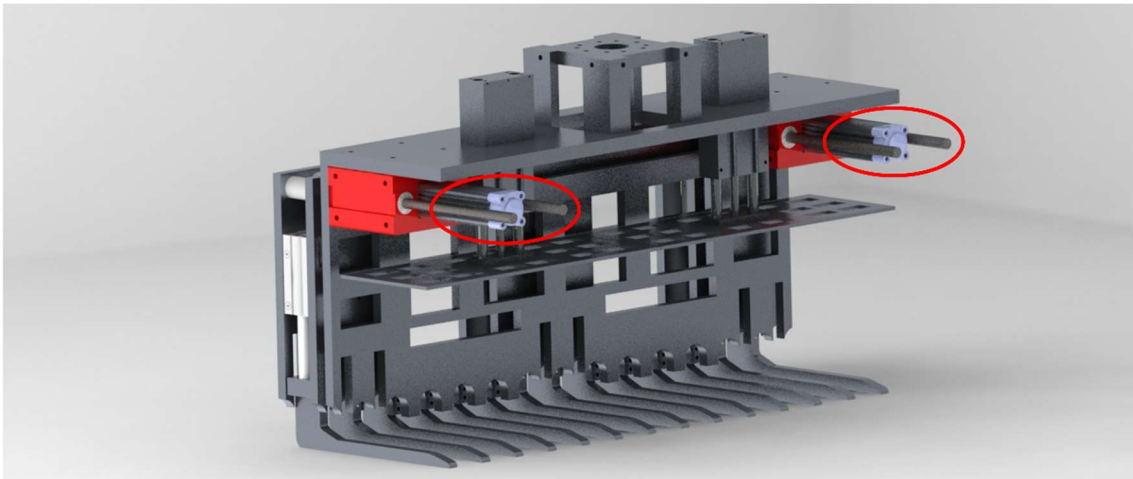


Figura 50. Cajón, cilindros y ejes guías

Fuente: Fernández R. (2024)

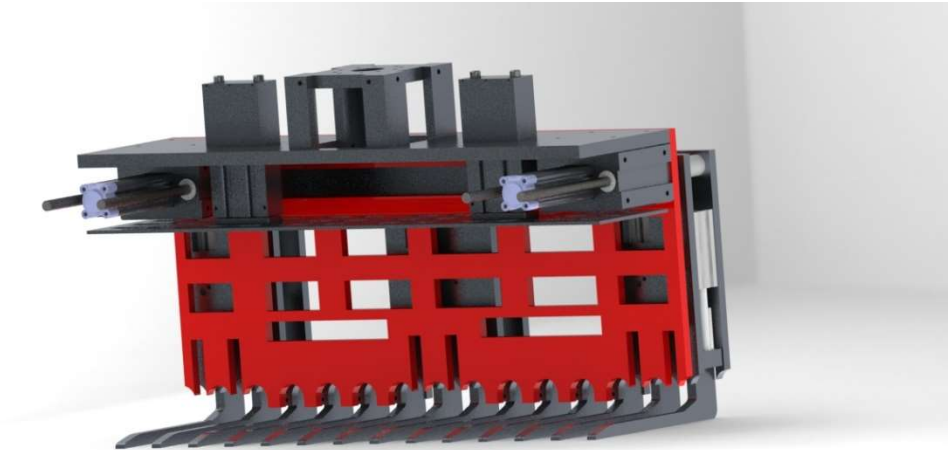


Figura 51. Placa tope

Fuente: Fernández R. (2024)

Después de explicar el funcionamiento de la herramienta para los envases, se procede a detallar el proceso de toma de las paletas. La herramienta está equipada con tres cilindros guiados en posición vertical, con el vástago extendido, distribuidos estratégicamente en la parte posterior de la herramienta: dos en los extremos y uno en el centro de la misma entre las dos placas tridente observadas en la figura 52. Estos tres cilindros llevan atornilladas dos garras cada uno, formando parte del tridente. Cuando se activan, los cilindros se elevan lo suficiente (ver figura 53), creando el espacio necesario para insertarse entre los agujeros de las paletas, como las uñas de un montacargas.

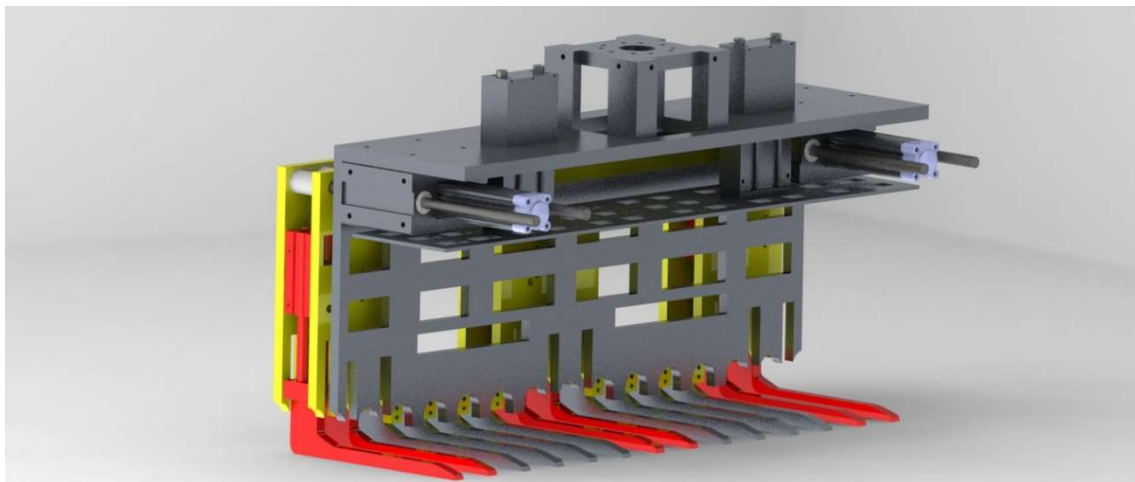


Figura 52. Placas tridente y garras sujetas a cilindros guiados

Fuente: Fernández R. (2024)

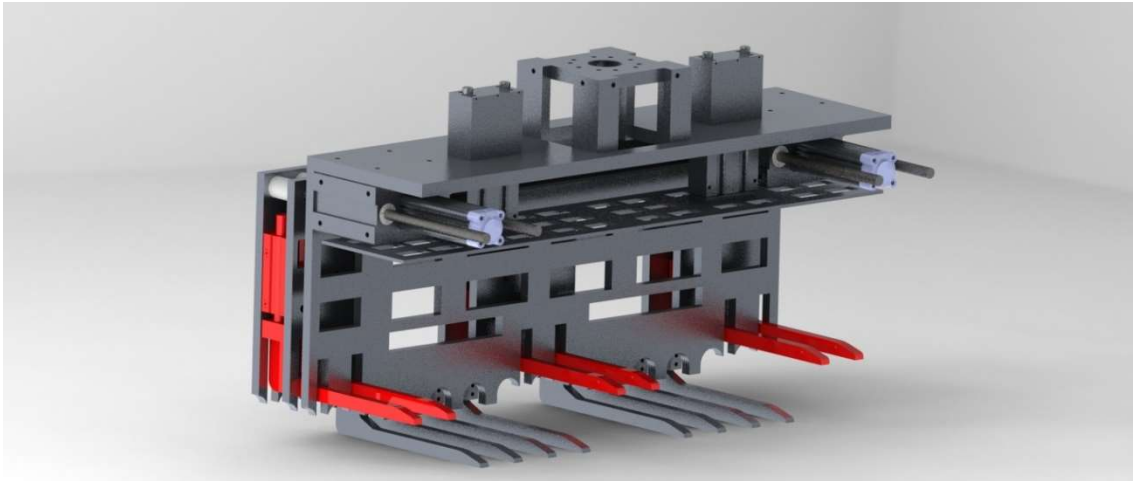


Figura 53. Elevación de garra para la toma de paleta.

Fuente: Fernández R. (2024)

Una vez que las garras están entre los agujeros de las paletas, los cilindros se accionan hacia abajo para presionarlas, asegurando la sujeción requerida para llevarlas al lugar correspondiente de paletizado. Una vez en posición, los cilindros se activan nuevamente, retractando sus vástagos para liberar la paleta, permitiendo que la herramienta retire las garras. Posteriormente, los cilindros descienden para formar nuevamente el tridente en línea, listo para llevar a cabo la operación de "pick and place" de los envases.

4.3.1.2. Componentes neumáticos

La herramienta cuenta con dispositivos neumáticos que le permitirán a esta, realizar los movimientos respectivos para el trabajo de paletizado.

Dispondremos de 3 señales neumáticas, comandadas por una isla de válvulas y bus de campo CM + EtherNet/IP de la marca METAL WORK, donde tendremos una placa final de entrada "END PLATE EtherNet/IP INPUT/OUTPUT" código 0227302245, 3 válvulas biestables de 5 vías y 2 posiciones de entrada de aire 8 mm de diámetro, código 7075030131, un módulo de conexión "INPUT M8 ADD-ON MODULE (for BUS) – INPUTs / OUTPUTs (for multi-pole connection)" código 02273029008 para la conexión de los sensores y una tapa ciega final "BLIND END-PLATE" código 0227302500. Podemos visualizar esta isla de válvula en la figura 54.



Figura 54. Isla de válvulas y bus de campo CM + EtherNet/IP

Fuente: Metal Work Iberica S.A (s.f.).

Una señal estará destinada a los dos cilindros que están en posición horizontal a los extremos de la herramienta, para el vaivén del tridente, estos cilindros neumáticos estándar ISO 15552 son de doble efecto, amortiguado, con diámetro de 50 mm por una carrera de 283 mm, código 121A0500283AN marca METAL WORK observado en la figura 55.



Figura 55. Cilindro neumático ISO 15552 (50x283)

Fuente: Metal Work Iberica S.A (s.f.).

La segunda señal neumática corresponde a los dos cilindros guiados de doble vástago, los cuales tienen sujetos en el extremo de sus ejes, la placa que hará presión a los envases contra las garras. Estos cilindros son de doble efecto, amortiguados de diámetro 40 mm por un recorrido de 200 mm, código W1430402200 marca METAL WORK (figura 56)



Figura 56. Cilindro guiado METAL WORK (40x200)

Fuente: Metal Work Iberica S.A (s.f.).

Además, estos cilindros se equiparán con un sensor magnético que comandará la señal para detenerse en el punto preciso para presionar la tapa a la altura del cuñete. En el caso que se trabaje con los galones o cuartos de galón, el cilindro realizará su recorrido completo.

Por último, la restante señal neumática estará dedicada a los tres actuadores de la parte posterior de la herramienta que sujetan las garras para la acción de tomar la paleta. Estos cilindros guiados de doble efecto y amortiguados, son de 50 mm de diámetro y 100 mm de carrera, los mismos son marca SMC código MGPM50-100Z el cual se puede detallar en la figura 57.



Figura 57. Cilindro guiado SMC (50x100)

Fuente: Amazon (2023)

Al igual que los otros cilindros guiados, estos tres cilindros se les integrará un sensor magnético para que luego de haberse retraído completamente (se alzan las garras), este cilindro extenderá su vástago hasta una medida específica definida por la medida de la paleta con la cual se esté trabajando.

Todos los cilindros llevarán en ambos puntos de presión reguladores de caudal a manguera de diámetro 10 mm para garantizar la velocidad necesaria y requerida para la aplicación respectiva.

El cálculo destinado al diámetro de los cilindros se realizó mediante la revisión de las fichas técnicas de los fabricantes, donde demuestra que, para cada diámetro de cilindro, existe distintas fuerzas generadas durante el empuje y la tracción dependiendo de la presión utilizada, así como se observa en la figura 58.

GENERAL TECHNICAL DATA

ACTUATORS

FORCES GENERATED DURING THRUST AND TRACTION (THEORETICAL)

Cylinder bore D mm	Piston rod diameter d mm	Motion	Useful area cm ²	Thrust and traction force in daN depending on the operating pressure in bar									
				1 bar	2 bar	3 bar	4 bar	5 bar	6 bar	7 bar	8 bar	9 bar	10 bar
8	4	thrust	0.50	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
		traction	0.38	0.4	0.8	1.1	1.5	1.9	2.3	2.6	3.0	3.4	3.8
10	4	thrust	0.79	0.8	1.6	2.4	3.1	3.9	4.7	5.5	6.3	7.1	7.9
		traction	0.66	0.7	1.3	2.0	2.6	3.3	4.0	4.6	5.3	5.9	6.6
12	6	thrust	1.13	1.1	2.3	3.4	4.5	5.7	6.8	7.9	9.0	10.2	11.3
		traction	0.85	0.8	1.7	2.5	3.4	4.2	5.1	5.9	6.8	7.6	8.5
16	6	thrust	2.01	2.0	4.0	6.0	8.0	10.1	12.1	14.1	16.1	18.1	20.1
		traction	1.73	1.7	3.5	5.2	6.9	8.6	10.4	12.1	13.8	15.6	17.3
16	8	thrust	2.01	2.0	4.0	6.0	8.0	10.1	12.1	14.1	16.1	18.1	20.1
		traction	1.51	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.6	12.1	13.6	15.1
20	8	thrust	3.14	3.1	6.3	9.4	12.6	15.7	18.8	22.0	25.1	28.3	31.4
		traction	2.64	2.6	5.3	7.9	10.6	13.2	15.8	18.5	21.1	23.8	26.4
20	10	thrust	3.14	3.1	6.3	9.4	12.6	15.7	18.8	22.0	25.1	28.3	31.4
		traction	2.36	2.4	4.7	7.1	9.4	11.8	14.1	16.5	18.8	21.2	23.6
25	10	thrust	4.91	4.9	9.8	14.7	19.6	24.5	29.5	34.4	39.3	44.2	49.1
		traction	4.12	4.1	8.2	12.4	16.5	20.6	24.7	28.9	33.0	37.1	41.2
32	12	thrust	8.04	8.0	16.1	24.1	32.2	40.2	48.3	56.3	64.3	72.4	80.4
		traction	6.91	6.9	13.8	20.7	27.6	34.6	41.5	48.4	55.3	62.2	69.1
40	12	thrust	12.57	12.6	25.1	37.7	50.3	62.8	75.4	88.0	100.5	113.1	125.7
		traction	11.44	11.4	22.9	34.3	45.7	57.2	68.6	80.0	91.5	102.9	114.4
40	16	thrust	12.57	12.6	25.1	37.7	50.3	62.8	75.4	88.0	100.5	113.1	125.7
		traction	10.56	10.6	21.1	31.7	42.2	52.8	63.3	73.9	84.4	95.0	105.6
50	16	thrust	19.63	19.6	39.3	58.9	78.5	98.2	117.8	137.4	157.1	176.7	196.3
		traction	17.62	17.6	35.2	52.9	70.5	88.1	105.7	123.4	141.0	158.6	176.2

Figura 58. Fuerzas generadas durante el empuje y tracción de los cilindros neumáticos según marca METAL WORK

Fuente: Metal Work Pneumatic (s.f).

Para un cilindro de diámetro 40mm, con una presión de 6 bar que es el mínimo que se utiliza habitualmente en la automatización, tiene una fuerza de 75,4 daN de empuje y 68,6 daN de tracción, donde 1 daN = 1.0197 Kgf, por lo tanto, resulta 76,9 Kgf para el empuje y 69,9 Kgf para la tracción. En cuanto al actuador de diámetro 50, con los mismos cálculos resulta 120,12Kgf para el empuje y 107,8 Kgf para la tracción. Estas fuerzas que manejan los cilindros, son más que suficientes para mover las piezas que se requieren.

4.3.1.3. Piezas de la herramienta

A continuación, se procede a explicar la funcionalidad de cada una de las piezas de la herramienta, exponiendo sus planos en donde se observan también sus vistas 3D, los cuales pueden visualizarse con mayor detalle en el Anexo D.

- **Placa central superior**

Esta pieza principal y fundamental de la herramienta (figura 59) se ubica en el centro de ella. Esta pieza es a la cual está sujeta las plaquitas pie atornilladas a la placa brida y a su vez, esta es el soporte completo de la herramienta, donde contiene atornillada a ella distintas piezas como la “placa pared”, los cajones de fijación de los cilindros y la base de fijación de los cilindros guiados que presionan los envases.

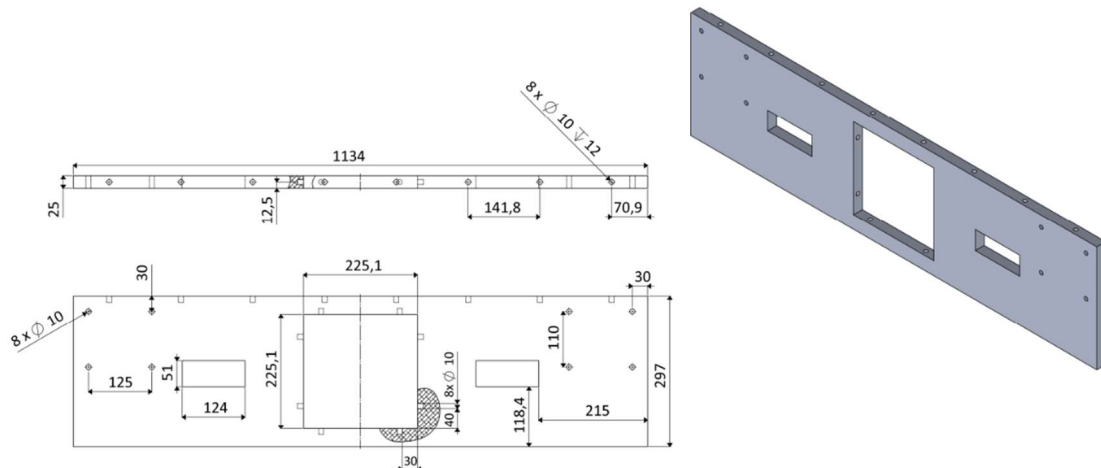


Figura 59. Plano placa central superior

Fuente: Fernández R. (2024)

- **Base Brida**

Esta base con el haz de allen es la que va fijada directamente a la muñeca del robot, permitiendo así la sujeción completa de la pieza. La misma tiene atornilladas unas placas a los costados para que se acoplen a la placa central superior de la herramienta (figura 60).

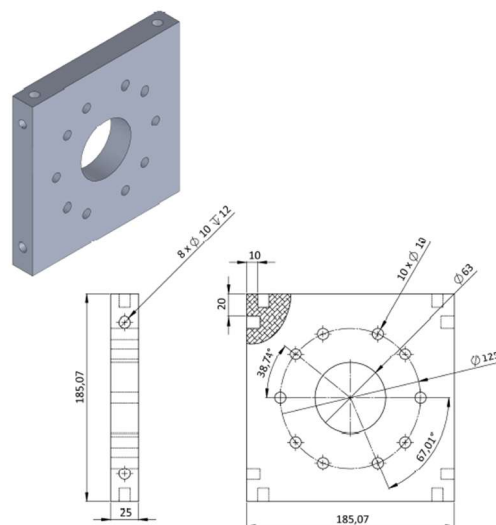


Figura 60. Plano base brida

Fuente: Fernández R. (2024)

- **Placas fijación entre base brida y placa central**

Estas placas (figura 61) tienen la función de elevar la placa brida de la placa central de la herramienta, de modo que la muñeca del robot no colisione con los cilindros neumáticos guiados al girar la herramienta. Estas disponen de unos agujeros para ser atornillados en dichos elementos.

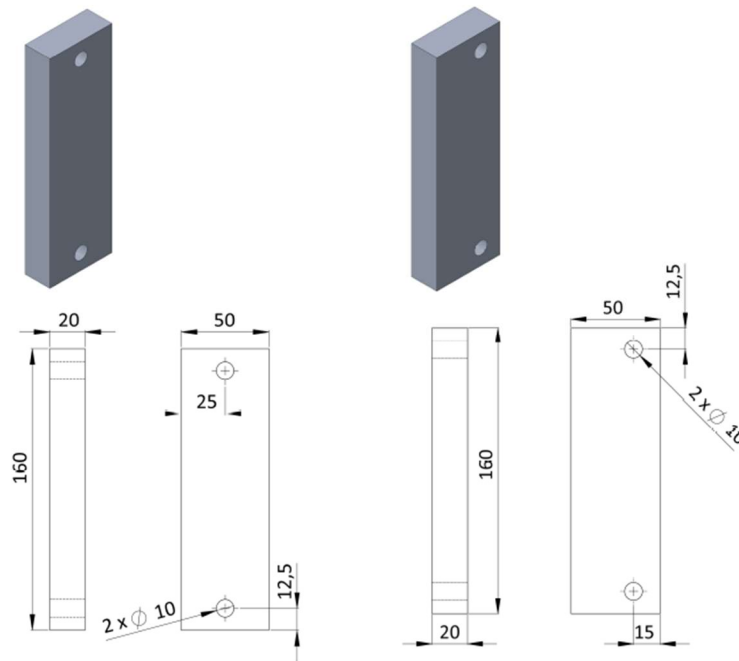


Figura 61. Placas fijación entre base brida y placa central

Fuente: Fernández R. (2024)

- **Placa tope**

Cuando las garras se retiran, esta placa (figura 62) ubicada en posición vertical funciona de “pared” para los envases ya que hará tope para que los mismos caigan en la paleta. Esta placa tiene orificios para que puedan atravesar los ejes guía. En la parte inferior se visualizan dos rectángulos verticales en los extremos de la placa y otros dos en el centro de ella, estos sirven de espacio para que las garras que sujetan los cilindros se eleven libremente. Además, posee unos cortes en forma de arco con la medida suficiente para poder atravesar los rodillos de la banda transportadora. Los demás agujeros en el centro de la pieza son para que esta sea más liviana.

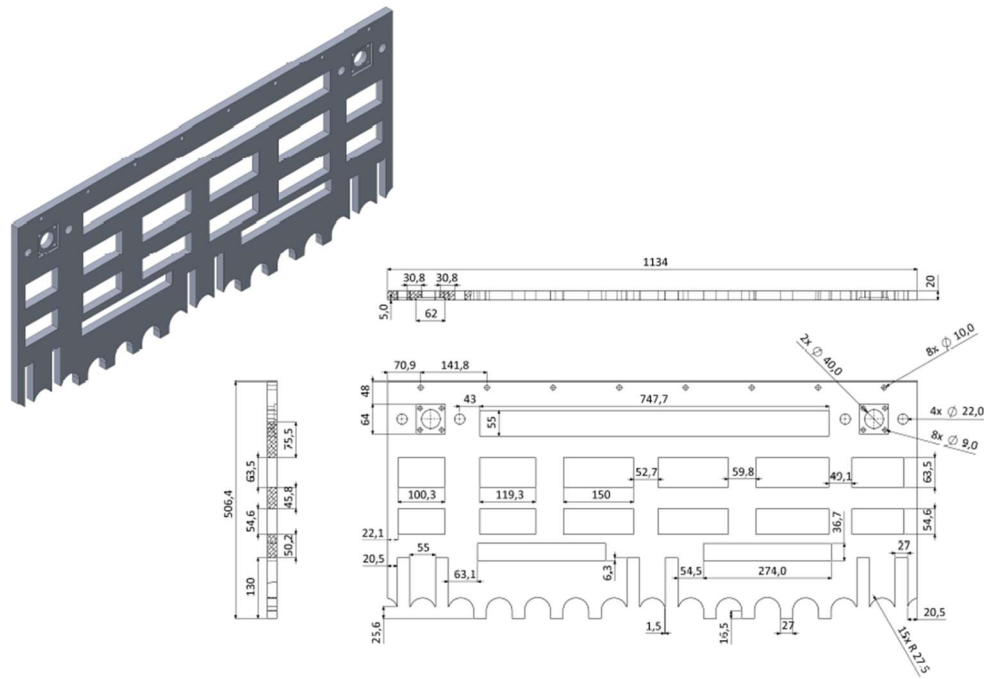


Figura 62. Plano placa tope

Fuente: Fernández R. (2024)

- **Cajón para cilindro y eje guía**

Se disponen dos cajones de duraluminio que puede ser observado en la figura 63. Estos estarán atornillados a cada extremo de la placa central superior de la herramienta. Estos cajones sirven de “cama” para que el cilindro neumático ISO 15552 repose sobre él, y también de guía para los ejes que se deslizarán sobre las bocinas colocadas en los agujeros redondos observados en la pieza.

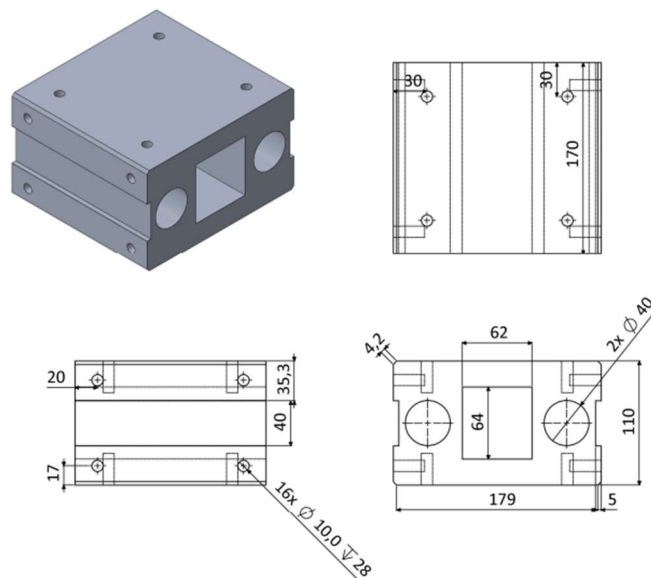


Figura 63. Plano cajón para cilindro y eje guía

Fuente: Fernández R. (2024)

- **Bocina de ultraleno para cajón**

Esta bocina autolubricada (figura 64) tiene la función de hacer deslizar los ejes guía. La misma va ubicada dentro del cajón de aluminio donde también reposará el cilindro neumático ISO 15552.

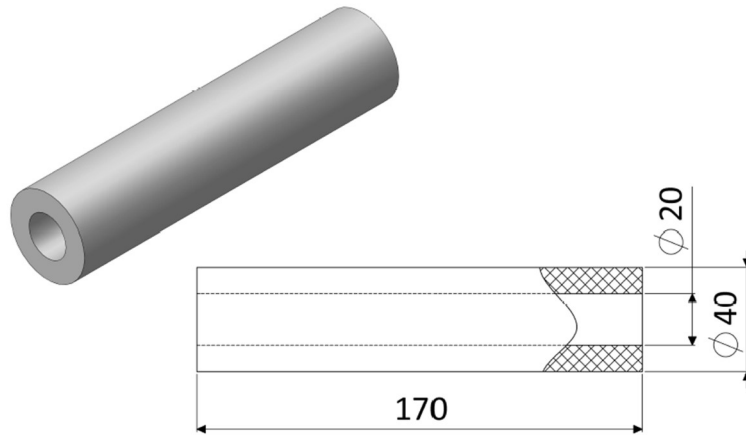


Figura 64. Plano bocina ultraleno para cajón

Fuente: Fernández R. (2024)

- **Eje guía**

El eje de acero AISI 4340 normalizado, representado en la figura 65, ha sido diseñado para cumplir una función esencial: actuará como guía para el movimiento alternativo del tridente. Además, trabajará en armonía con el proceso de entrada y salida del vástago del cilindro ISO 15552. Esta coordinación es crucial para asegurar la precisión y eficiencia del mecanismo, permitiendo así un control fluido y confiable del movimiento del tridente.

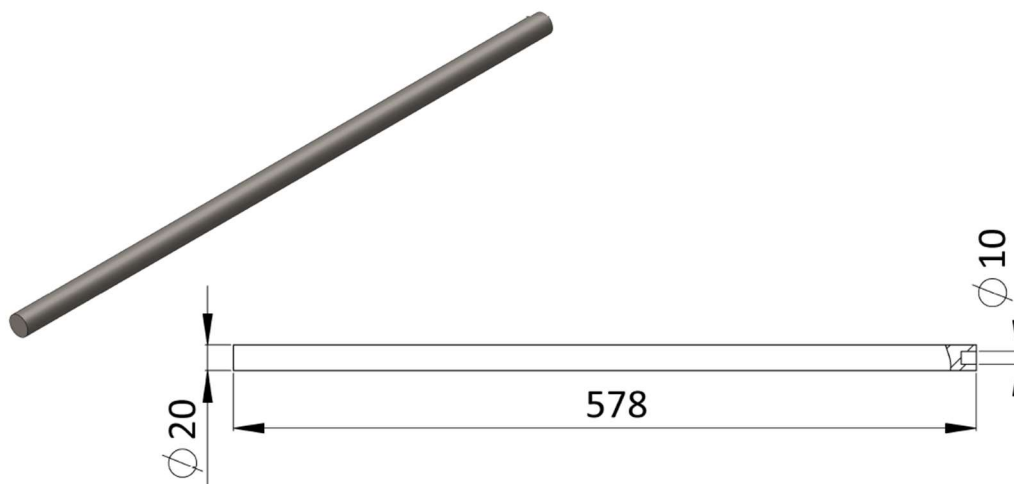


Figura 65. Plano eje guía

Fuente: Fernández R. (2024)

- **Separador de placas tridente y fijación de eje guía.**

Este separador está hecho de material ultraleno (figura 66) al igual que la bocina, solo que de menor longitud. Esta ha sido diseñada específicamente para funcionar como tope en el extremo posterior del eje, situándose entre ambas placas del tridente.

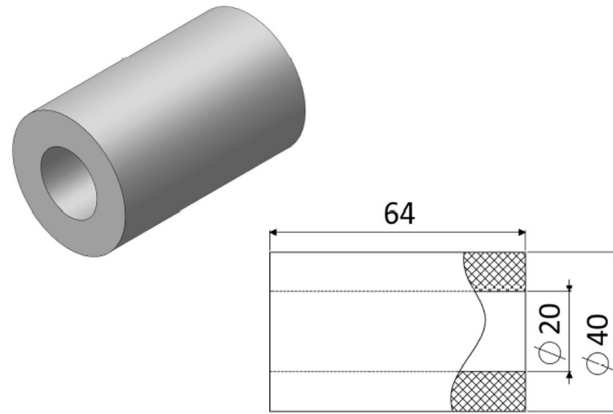


Figura 66. Plano bocina para fijación eje guía

Fuente: Fernández R. (2024)

- **Fijación de eje de cilindro empuja tridente**

En la (figura 67) se observa una pieza de material acero inoxidable al cromo, el cual sirve de fijación para el eje de cilindro neumático que empuja al tridente. El eje se enrosca en esta pieza para garantizar la sujeción a la placa tridente.

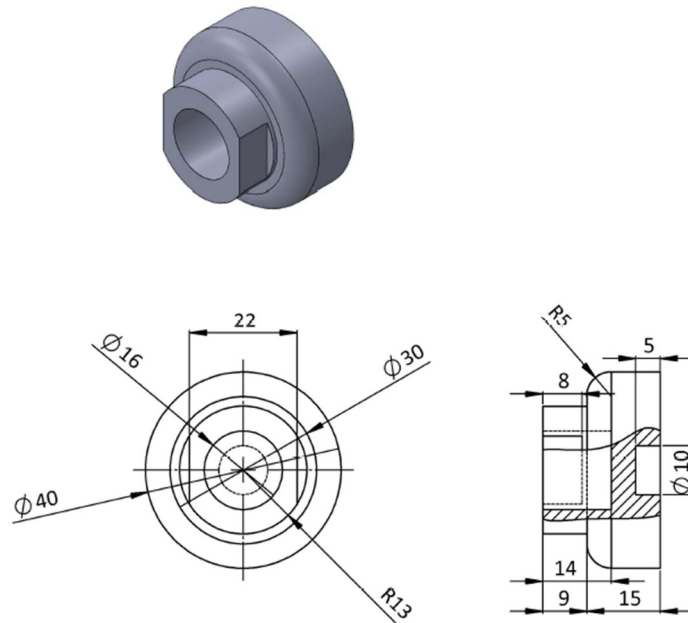


Figura 67. Plano fijación de eje de cilindro empuja tridente

Fuente: Fernández R. (2024)

- **Separador entre fijación de eje y placa tridente posterior**

Este componente, denominado separador (figura 68), desempeña una función crucial al posicionarse entre la placa tridente posterior y la fijación del eje del cilindro mencionado anteriormente. El separador, estratégicamente diseñado, presenta un agujero central que facilita su fijación mediante tornillos hasta la mencionada fijación del eje.

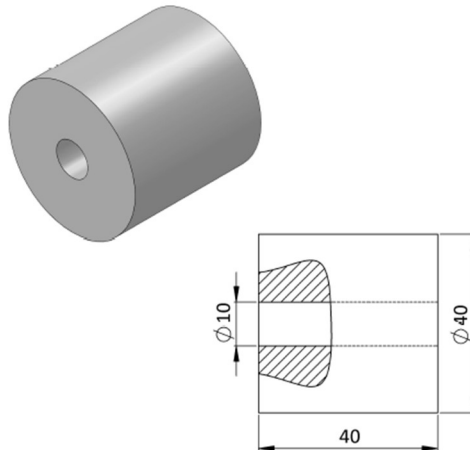


Figura 68. Separador entre fijación de eje y placa tridente posterior

Fuente: Fernández R. (2024)

- **Base fijación cilindro guiado presionador de envases**

La base, fabricada con platinas de duraluminio de 1/4" de espesor (figura 69), se encuentra firmemente sujeta a la parte superior de la placa central que aloja cada uno de los cilindros como puede observarse en la figura 47. Esta disposición posibilita la fijación de los cilindros desde la parte posterior, ajustando la altura de manera adecuada.

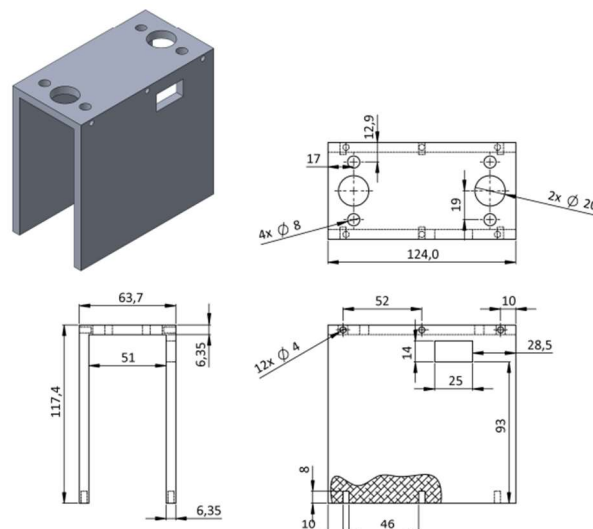


Figura 69. Base fijación cilindro guiado presionador de envases

Fuente: Fernández R. (2024)

- **Placa presiona envase**

Esta placa hecha de duraluminio con un espesor de 1/4" va atornillada a la base de los ejes del cilindro guiado en posición vertical. Este ensamble tiene como función hacer presión sobre los envases contra las garras para así sujetarlos durante el movimiento. En la figura 70 se puede observar que a esta placa se le hicieron cortes de rectángulos para alivianar el peso de la placa.

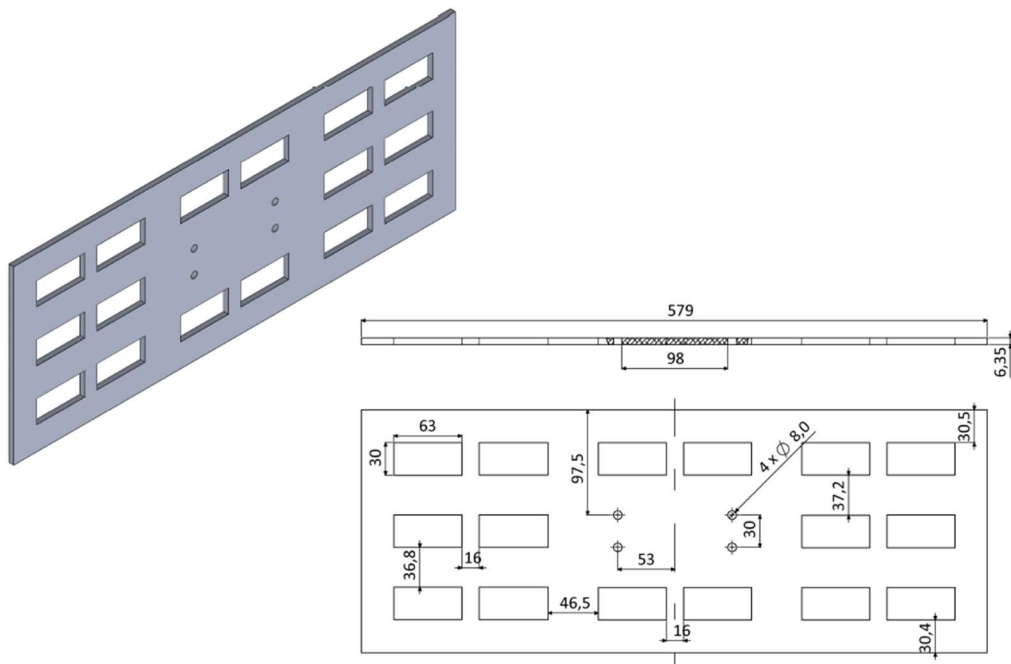


Figura 70. Plano placa presiona envase

Fuente: Fernández R. (2024)

- **Placa tridente delantera**

Esta pieza (figura 71) estará presente en el ensamble de la herramienta, por la parte frontal de las garras del tridente, distanciada con la placa trasera por el grosor de los tres cilindros neumáticos guiados que elevan las garras, por ello tienen los cortes cuadrados para poder instalar las conexiones de los cilindros. A su vez, esta placa tiene los orificios para fijación de los ejes guía y los vástagos de los cilindros neumáticos. Así como la placa tope, esta también tiene sus cortes en la parte inferior para la elevación de las garras y el espacio para la introducción de los rodillos.

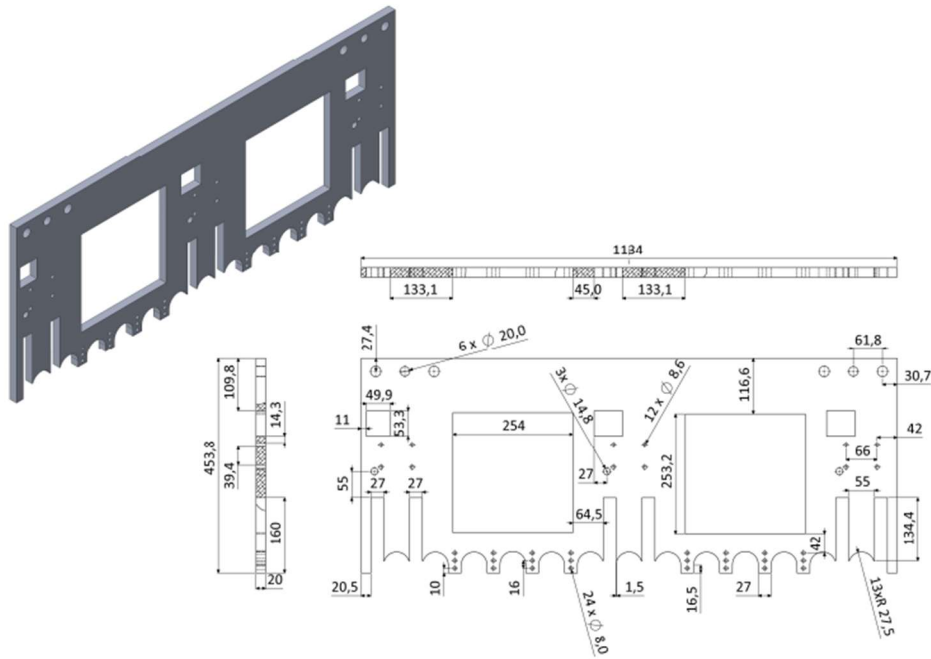


Figura 71. Plano placa tridente delantera

Fuente: Fernández R. (2024)

- **Placa tridente trasera**

Esta placa tridente trasera (figura72) es exactamente igual a la delantera, con la única diferencia de que los 6 agujeros en la parte superior hacia las esquinas, son de diámetro 10mm para así atornillar tanto los ejes como el separador.

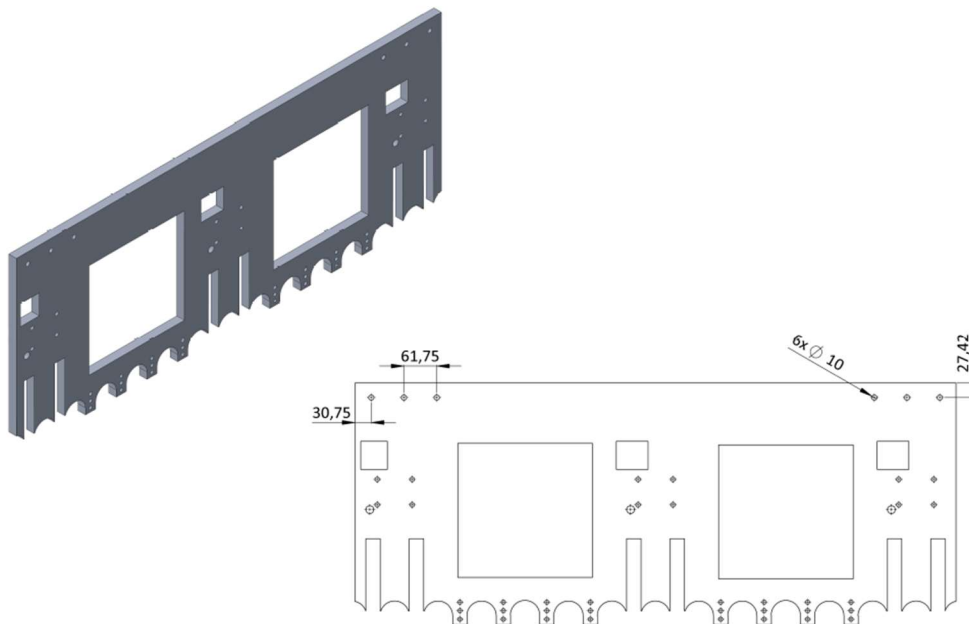


Figura 72. Placa tridente trasera

Fuente: Fernández R. (2024)

- **Acople para garras a los cilindros guiados**

Esta pieza se ubica entre la placa de fijación del cilindro guiado y la garra. La misma funciona de unión entre una y otra pieza. Se puede visualizar en la figura 73.

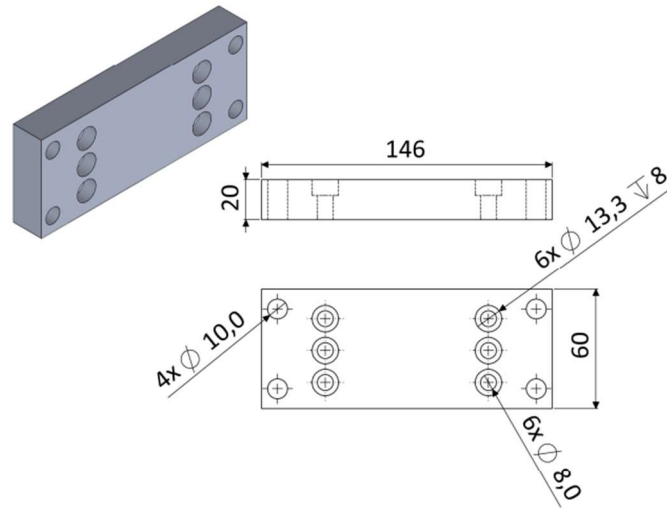


Figura 73. Plano acople para garras a los cilindros guiados

Fuente: Fernández R. (2024)

- **Garras del tridente fijadas a cilindros guiados**

A continuación, se presentan los elementos clave de la herramienta: las garras del tridente, encargadas de sujetar los envases. Estas garras, al igual que las placas, están fabricadas con duraluminio de 20 mm de espesor. En la figura 74, se observa cómo las garras están firmemente sujetas en la parte superior, aseguradas mediante tornillos a los cilindros guiados por medio de un acople específico diseñado para las garras.

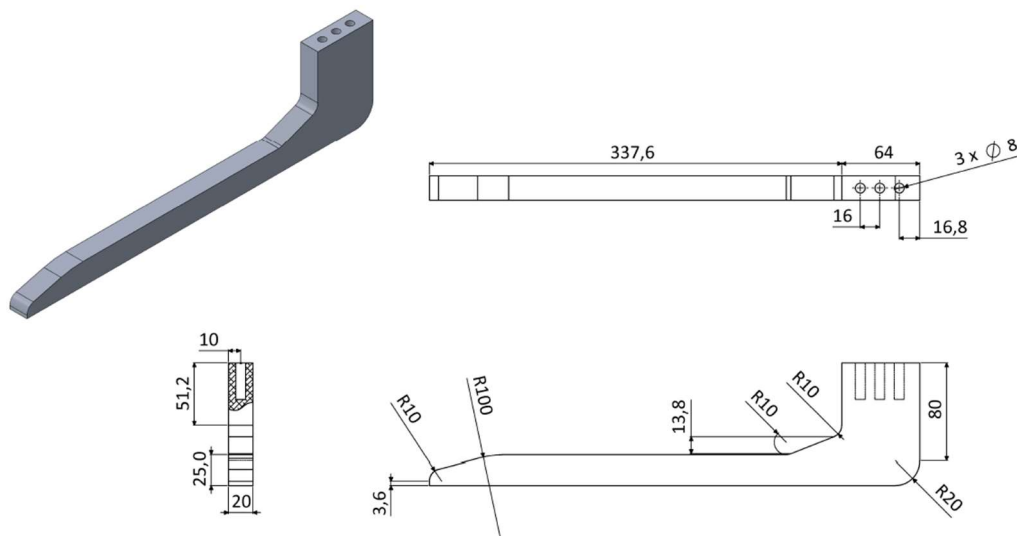


Figura 74. Plano garras del tridente fijadas a cilindros guiados

Fuente: Fernández R. (2024)

- **Garras del tridente fijadas a la placa tridente**

Esta pieza se encuentra sujeta mediante tornillos tanto en la parte frontal como en la posterior de la garra, tal como se muestra en la figura 75. Esta disposición permite la fijación completa de la garra en ambas placas tridente, conformando así integralmente el tridente para la toma de los envases.

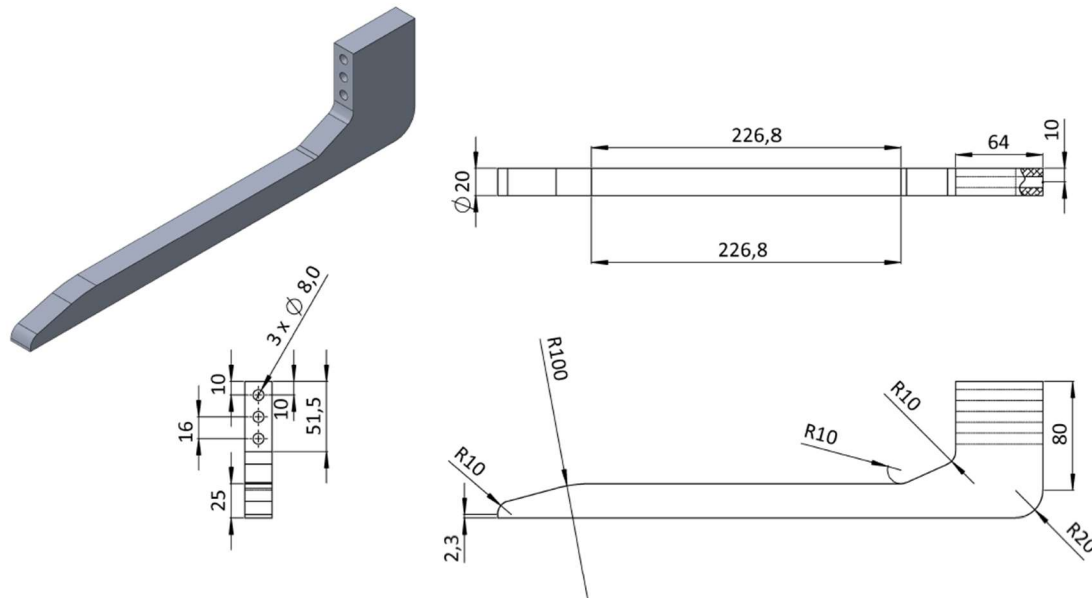


Figura 75. Plano garras del tridente fijadas a la placa tridente

Fuente: Fernández R. (2024)

- **Extensión para el paletizado de los cuartos de galón**

Esta pieza es crucial al momento de decidir paletizar los cuartos de galón. Los cilindros neumáticos guiados en posición vertical que se utilizan para presionar los envases contra las garras, no se colocan con una carrera amplia debido a que no se desea que la altura del cilindro sea un obstáculo para el paquete energético (los cables que se disponen en la muñeca del robot) del robot. Por lo tanto, la carrera de dicho cilindro, cumple en su totalidad para presionar los cuñetes y los galones, sin embargo, para el caso de los cuartos de galón todavía le falta un recorrido significativo para poder presionarlos contra las garras. Por lo tanto, se diseñó una extensión ahuecada (figura 76) para ahorrar peso, que se fija al eje del cilindro y a la placa que presiona, haciendo las veces de carrera para llegar hasta la distancia deseada.

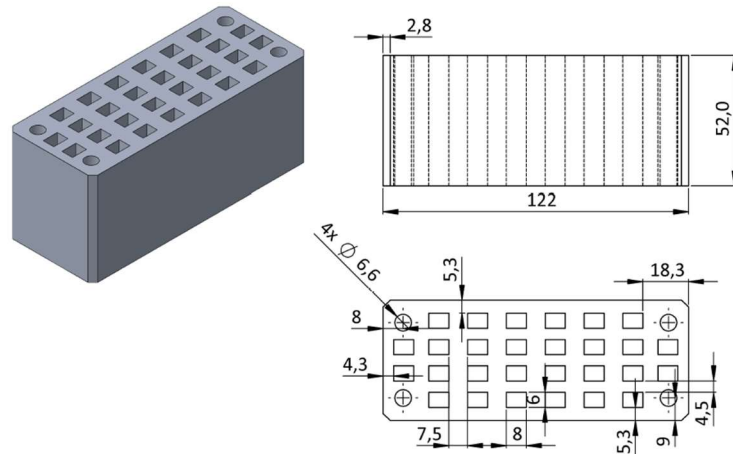


Figura 76. Plano extensión para el paletizado de los cuartos de galón

Fuente: Fernández R. (2024)

• Tornillos

Los tornillos son una parte fundamental para la sujeción entre las piezas de la herramienta. A continuación, se presentan dos tornillos de gran importancia:

✓ Tornillo placa central

Este tornillo visualizado en la figura 77 fabricado de acero AISI 1020, de medidas M10x1,5 y una longitud de 32mm, es el que sujeta la placa pared con la placa central, asegurando toda la estructura.

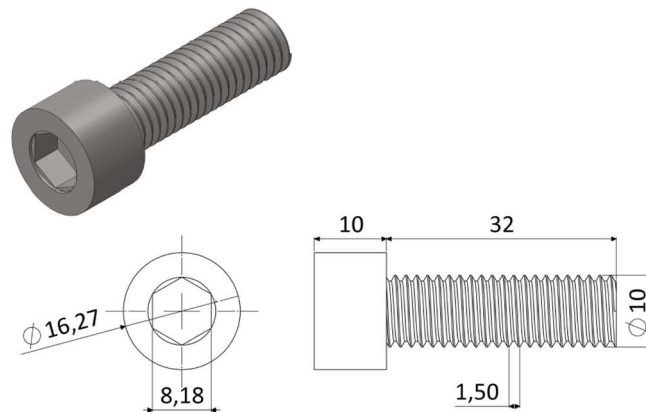


Figura 77. Tornillo para placa central

Fuente: Fernández R. (2024)

✓ Perno para garra

En la figura 78 se encuentra un perno fabricado con material AISI 1020, desempeña un papel fundamental al ubicarse entre las placas tridentes y la garra, proporcionándole la sujeción necesaria a esta última.

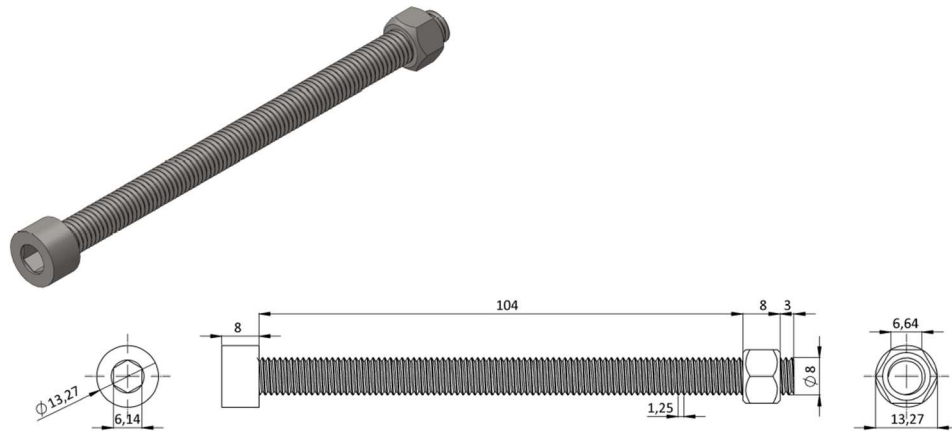


Figura 78. Perno para garras

Fuente: Fernández R. (2024)

Por último, en la figura 79 se presenta un plano detallado de la herramienta ensamblada, donde se proporciona información adicional sobre las especificaciones y características clave. Se destacan las conexiones entre las distintas piezas, resaltando la integración precisa de componentes como el eje guía, las placas tridentes, las garras y otros elementos esenciales. Además, se presentan las distancias y dimensiones cruciales para garantizar la correcta funcionalidad y alineación de cada componente. Este plano, integral ofrece una visión completa de la estructura y disposición de la herramienta, facilitando su comprensión y evaluación en el contexto del proceso de paletizado automatizado.

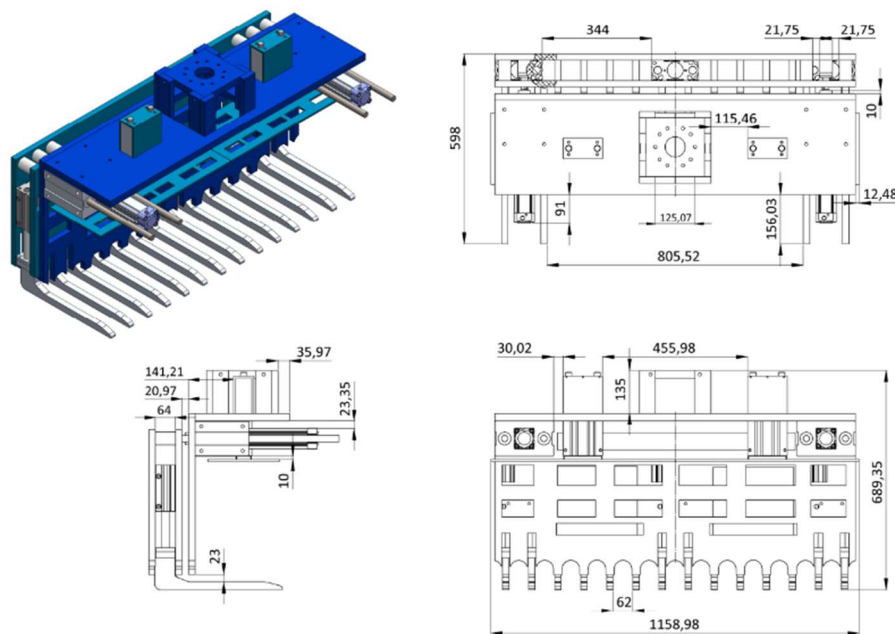


Figura 79. Plano herramienta terminal de trabajo

Fuente: Fernández R. (2024)

Por otro lado, cabe destacar que todas las placas son de material duraluminio (aleación de aluminio 2014) de 20mm de espesor, cortadas mediante un proceso de corte por agua, la cual tiene una dureza y el peso suficientemente liviano para utilizarlo en la herramienta de un robot. Las propiedades del material duraluminio se detallan en la figura 80, proporcionando información adicional sobre este componente según los parámetros predeterminados del software de diseño utilizado, "SolidWorks".

The screenshot shows the 'Propiedades de material' (Material Properties) dialog box in SolidWorks. The 'Tipo de modelo' (Model type) is set to 'Isotrópico elástico lineal' (Isotropic elastic linear). The 'Unidades' (Units) are set to 'SI - N/m^2 (Pa)'. The 'Categoría' (Category) is 'Aleaciones de aluminio' (Aluminum alloys) and the 'Nombre' (Name) is 'Aleación 2014'. The 'Descripción' (Description), 'Origen' (Origin), and 'Sostenibilidad' (Sustainability) fields are empty. Below the form is a table of material properties.

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	7.3e+10	N/m^2
Coefficiente de Poisson	0.33	N/D
Módulo cortante	2.8e+10	N/m^2
Densidad de masa	2800	kg/m^3
Límite de tracción	165445000	N/m^2
Límite de compresión		N/m^2
Límite elástico	96509800	N/m^2
Coefficiente de expansión térmica	2.3e-05	/K

Figura 80. Características del Material Duraluminio utilizado en simulaciones en SolidWorks

Fuente: Fernández R. (2024)

El software SolidWorks es una herramienta invaluable que, al asignar el material correspondiente a cada pieza, nos brinda la masa total de la herramienta, tal como se muestra en la figura 81. Este peso, que incluye cada componente, se convierte en un factor crítico en la selección del robot para llevar a cabo el paletizado. Al considerar esta carga significativa, que se suma al peso de los envases a paletizar, se asegura que el robot elegido tenga la capacidad necesaria para realizar la tarea de manera eficiente y segura.

The screenshot shows the 'Propiedades de masa de HERRAMIENTA NUEVA - new' (Mass properties of NEW TOOL - new) dialog box. It displays the following values:

- Configuración: Predeterminado
- Sistema de coordenadas: -- predeterminado --
- Masa = 146.48 kilogramos
- Volumen = 49110309.93 milímetros cúbicos
- Área de superficie = 7584653.24 milímetros cuadrados

Figura 81. Propiedades de masa de la herramienta terminal

Fuente: Fernández R. (2024)

Como se puede observar, la herramienta de trabajo del robot posee un peso total de 146,48 kilogramos.

4.3.1.4. Análisis estático de Von Mises

El software SolidWorks se presenta como una herramienta excepcionalmente útil para llevar a cabo análisis estáticos, destacando el modelo de Von Mises, que resulta efectivo para describir el comportamiento de los metales frente a cargas cíclicas. En este contexto, se realizó un análisis detallado de aquellas piezas que soportan una carga significativa en la herramienta, con el propósito de evaluar la idoneidad de las dimensiones y materiales empleados para resistir dichas cargas.

- **Análisis de las garras**

En primera instancia se realizó un análisis estático a los dos modelos de garras, ya que ellas son las principales piezas que sostendrán la carga de los envases a paletizar.

Considerando que el cuñete, con una masa de 27 Kg, es el envase más pesado, se utilizó como referencia para el análisis. Cada cuñete estará soportado por un mínimo de tres garras, distribuyendo así la carga total entre ellas. La masa soportada por cada garra, al dividir la masa del cuñete entre 3, es de 9 kg, que representa la carga externa aplicada a la cara superior de la garra. Tomando esta masa en cuenta y multiplicándola por la gravedad, nos resulta una fuerza de 88,29 Newtons que se le aplicarán a las caras superiores de la pieza por donde el cuñete hará su respectivo recorrido. Asimismo, las garras se asegurarán en las partes indicadas por los orificios de los tornillos y las caras correspondientes. Los resultados del análisis de tensión de Von Mises para las garras se observan en las figuras 82 y 83.

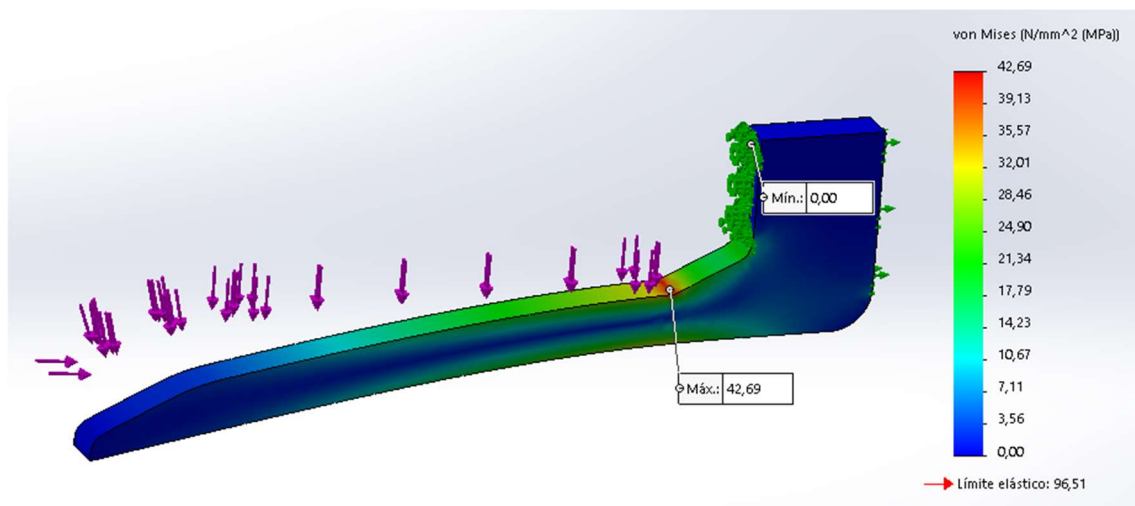


Figura 82. Análisis Von Mises garras fijadas a placa tridente

Fuente: Fernández R. (2024)

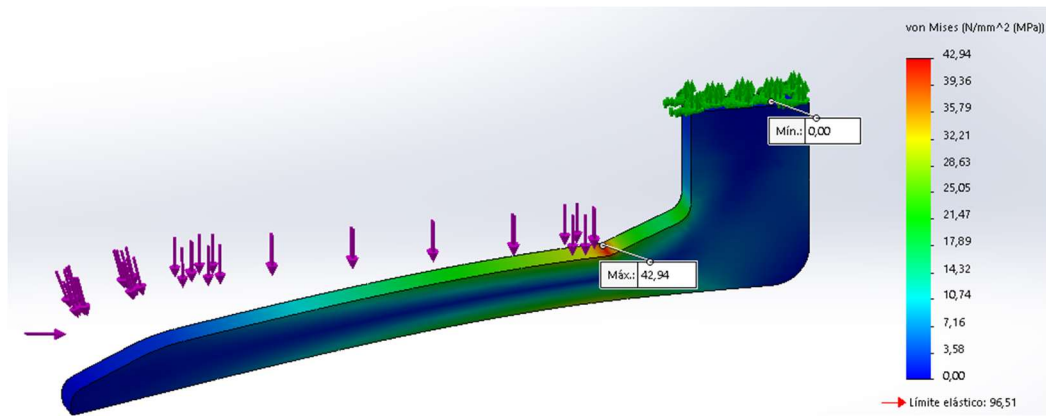


Figura 83. Análisis Von Mises garras fijadas a cilindros guiados

Fuente: Fernández R. (2024)

En los análisis previos, se observa que la máxima tensión registrada en las piezas es de 42,69 y 42,94 MPa, representada en color rojo en la escala de colores a la derecha. El límite elástico del material duraluminio (aleación de aluminio 2014) es de 96,51 MPa. Por consiguiente, se concluye que la máxima tensión aplicada a la garra no supera el límite elástico, lo que indica que no hay deformación plástica. La pieza puede operar de manera regular bajo estas cargas de forma cíclica sin presentar inconvenientes.

- **Análisis de la placa central de la herramienta**

La placa central de la herramienta desempeña un papel crucial en su funcionamiento; por lo tanto, cualquier fallo en esta placa afectaría el rendimiento general de la herramienta. En el análisis de la placa, que tiene un espesor de 25 mm y está fabricada con duraluminio, se le aplica una carga de 2.253,26 N y sujeciones en las fijaciones de las plaquitas que sostienen la placa brida. En la figura 84 se observa que el esfuerzo máximo es de 92,91 MPa, lo cual representa aproximadamente una tercera parte del límite elástico del material. Este resultado asegura que la placa cuenta con un amplio margen de seguridad y no presenta posibilidades de falla.

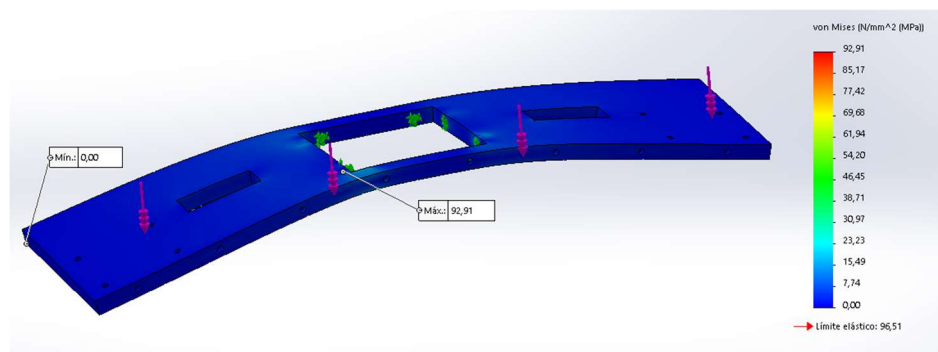


Figura 84. Análisis estático Placa Central

Fuente: Fernández R. (2024)

- **Análisis placa brida**

En la figura 85 se visualiza como se le realiza un análisis estático a la placa brida. La misma es la base central que va fijada a la muñeca del robot por medio del haz de allen a los cuales se sujetan de manera atornillada. De igual manera se aplica una fuerza en sentido vertical hacia debajo de 2475,85N que representa todo el peso de la herramienta junto con los 4 cuñetes en carga a la herramienta. Resulta un máximo de 58,41MPa, lo cual es bastante aceptable para el límite elástico del material duraluminio.

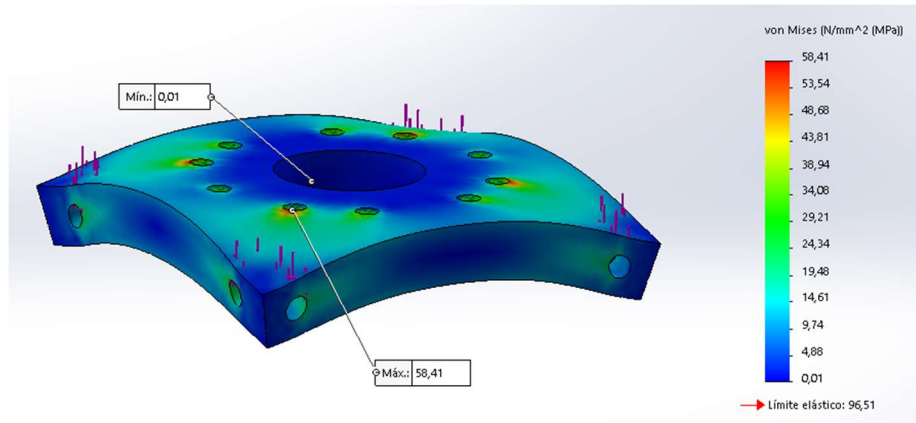


Figura 85. Análisis estático placa brida

Fuente: Fernández R. (2024)

- **Plaquetas pie para placa brida**

Estas plaquetas (figura 86 y 87) que sirven de pie para la placa brida y unión de toda la herramienta, se les realizó un análisis de Von Mises para identificar si las mismas soportan la carga suficiente. Se les aplica una carga de 2.441,32N en un extremo, y se sujeta en el otro. Ambas resultaron airosas del análisis.

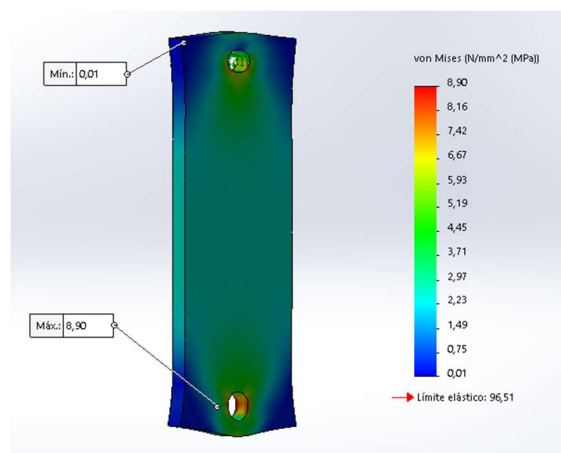


Figura 86. Análisis plaqueta pie (1)

Fuente: Fernández R. (2024)

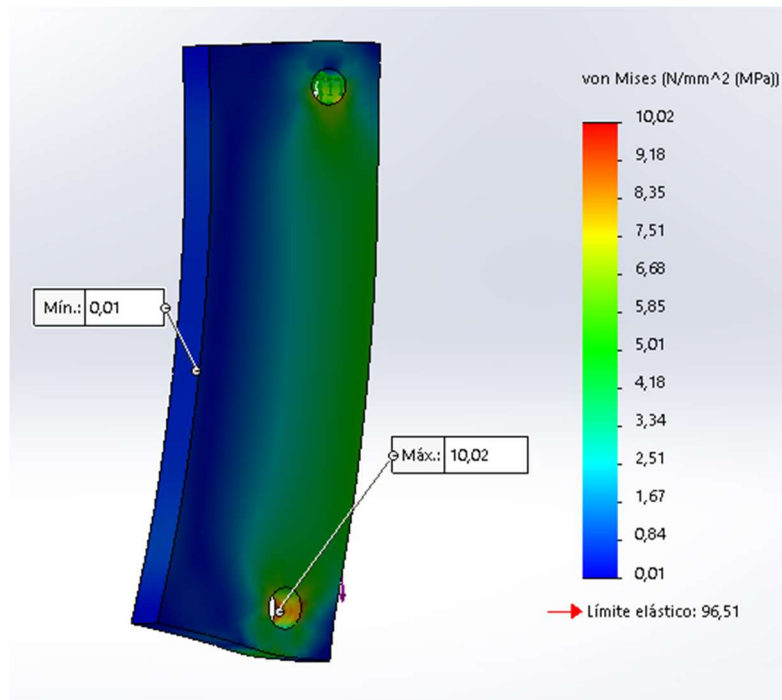


Figura 87. Análisis plaquita pie (2)

Fuente: Fernández R. (2024)

- **Análisis del eje guía**

En este caso, se presenta el eje guía de material acero AISI 4340 normalizado con un límite elástico de 710 MPa. En este escenario (figura 88), se contempla la aplicación de una fuerza de 1209,08 N en el extremo del eje, la cual resulta de dividir el peso del tridente y sus componentes entre 4 (debido a que son 4 ejes los que soportan todo el peso). Además, se sujeta en el extremo de la longitud del cajón, lo cual lo hace ver como la posición más crítica. Es relevante destacar que en ningún punto del análisis la fuerza aplicada supera el límite elástico del material, evitando así cualquier posibilidad de deformación plástica.

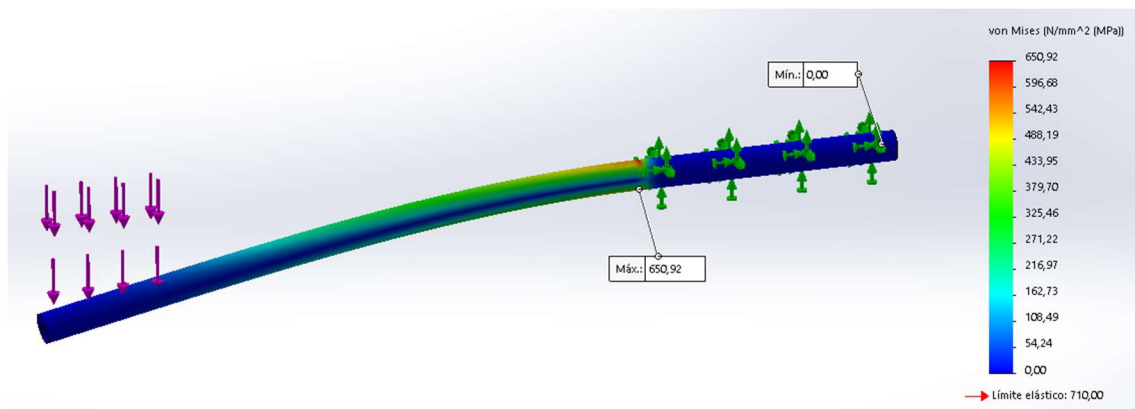


Figura 88. Análisis estático Eje guía

Fuente: Fernández R. (2024)

- **Análisis del separador**

Así como los demás elementos de la herramienta mostrados anteriormente, se analizó este separador de material ultraleno (figura 89). El mismo se sujetó de ambas caras de los extremos y en el agujero del medio donde se sitúa o descansa el eje, se le aplicó una fuerza igual a la del eje para así simular que está soportando el peso de la herramienta igualmente. Asimismo, se denota un límite elástico de 96 MPa, y el color rojo (color más crítico), representa un 2,10MPa, por lo tanto, no contamos con ningún riesgo.

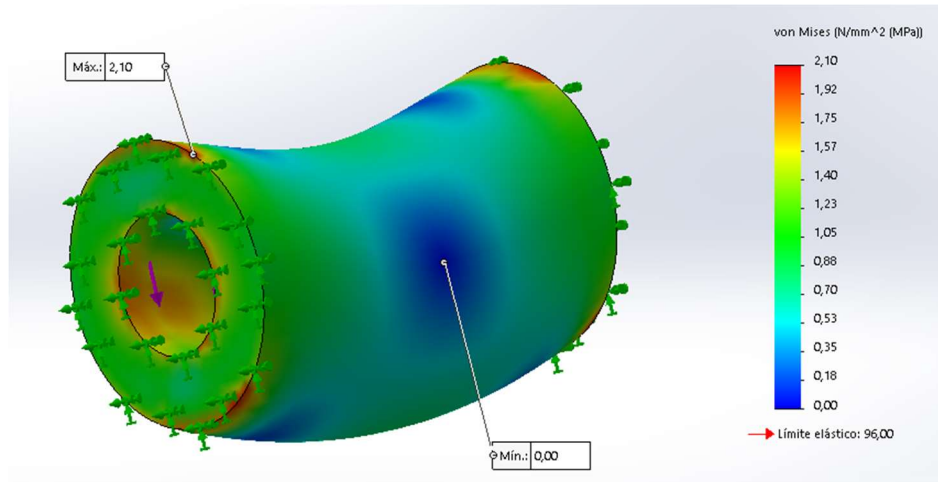


Figura 89. Análisis estático separador

Fuente: Fernández R. (2024)

- **Análisis de tornillos**

Los tornillos como parte esencial de la unión de las piezas de la herramienta, deben realizarse el análisis de tensiones de Von Mises para asegurarnos de que la medida tanto de diámetro, como de largo, es lo suficiente para la sujeción.

Comenzando con el análisis del tornillo M10 de 32 mm de longitud (figura 90), fabricado con material AISI 1020 y utilizado en la placa central de la herramienta y la placa brida, se sometió a una carga de 300 N, que supera sus requerimientos operativos como medida de seguridad. En la evaluación subsiguiente, se verificó que la carga máxima (identificada en rojo) no excede el límite elástico del material, demostrando la capacidad exitosa del tornillo para soportar la fuerza aplicada. Este resultado proporcionó una validación robusta de la resistencia y adecuación del tornillo AISI 1020 en la aplicación específica de la placa central de la herramienta.

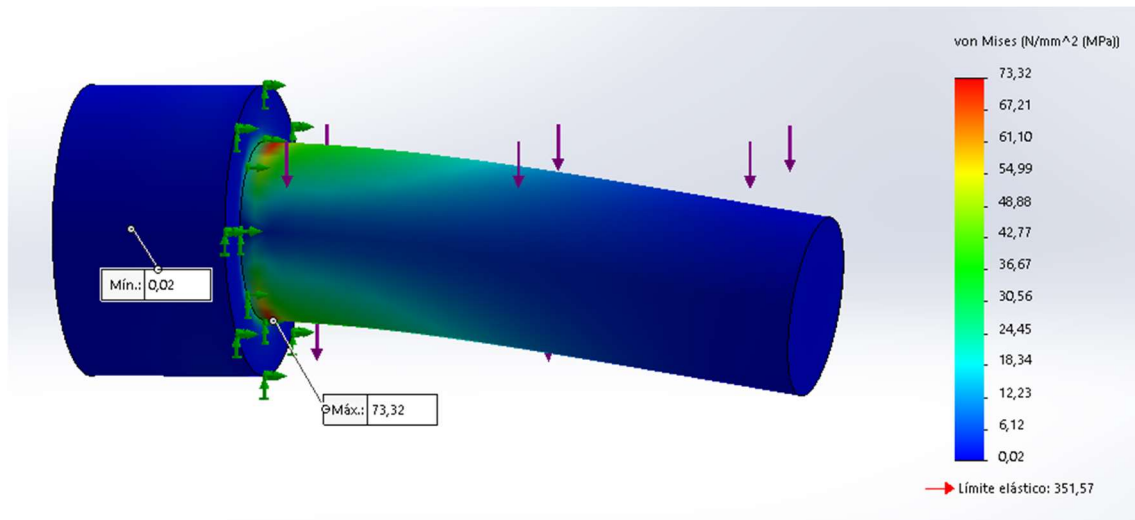


Figura 90. Análisis estático tornillo M10

Fuente: Fernández R. (2024)

En cuanto al otro componente clave de la herramienta, el perno visualizado en la figura 91, ubicado entre las placas del tridente responsable de sujetar la garra, también se fabrica con material AISI 1020 y presenta dimensiones de M8 y 115 mm de longitud. Este perno desempeña un papel crucial en la sujeción de la garra, y su conexión con la placa se realiza mediante una tuerca. La simulación computacional incluyó ambas sujeciones de geometría fija en la cabeza del tornillo y la tuerca. Aplicando una fuerza equivalente al peso de la garra y un tercio del peso del cuñete (32 N), la simulación demuestra claramente que el tornillo mantiene su integridad estructural sin presentar fallas.

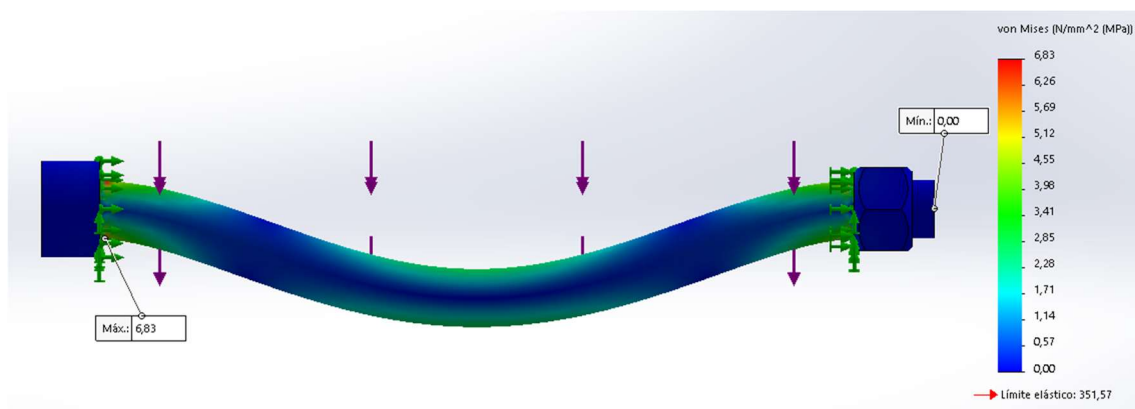


Figura 91. Análisis estático Perno M8

Fuente: Fernández R. (2024)

4.3.2. Robot Industrial

En la presente etapa, se procedió a seleccionar el Robot Industrial de tipo antropomórfico (4 ejes) más adecuado para el proceso de paletizado. Este proceso de selección

se basó en una tabla comparativa (tabla 7) que evalúa criterios cruciales, como la carga máxima soportada, el alcance y la repetibilidad de cada robot considerado. La elección del robot idóneo es esencial para garantizar un desempeño óptimo en el paletizado automatizado.

Tabla 7. Selección del robot antropomórfico

ROBOT	CARGA MÁXIMA	ALCANCE (horizontal x vertical)	REPETIBILIDAD
Motoman MPL300 	300 kg	(3024 x 3159) mm	0,5 mm
ABB IRB 760 	445 kg	(3180 x 2980) mm	0,05 mm
FANUC M-410iC/315 	315 kg	(3143 x 2958) mm	0,5 mm

Fuente: Fernández R. (2024)

Después de analizar la tabla comparativa, se concluye que la opción más idónea para la carga máxima en el proceso de paletizado es el robot FANUC M-410iC/315. Esto se debe a que, al considerar la masa de la herramienta (146,48 kg) y la masa de los 4 cuñetes (los envases más pesados, con 108 kg en total), la suma resulta en 254,48 kg. Dado que la carga máxima de este robot es de 315 kg, el porcentaje se sitúa en un 80,8%, lo cual es recomendable para la operación. En comparación, el robot Motoman excede este porcentaje, mientras que el robot ABB, con una carga máxima de 445 kg, cuenta con un excedente innecesario. Además, se considera que el alcance del robot FANUC supera al del Motoman, proporcionando así una ventaja adicional. Por estas razones, se ha seleccionado el robot FANUC M-410iC/315 para llevar a cabo el proceso de paletizado. La ficha técnica de este robot puede visualizarse en el Anexo B.

A continuación, en la figura 92 se muestra un renderizado del robot FANUC M-410iC/315 con la herramienta de trabajo.



Figura 92. Render robot con herramienta

Fuente: Fernández R. (2024)

4.3.3. Transportador para galones y cuartos de galón

Esta banda transportadora es la responsable de llevar los galones y cuartos de galón desde su fase de llenado hasta el robot. Esta, está compuesta por dos bandas, una de ellas es la banda de cinta con máquina termoencogible para su respectivo plastificado y la segunda que va siguiente a esta, es una banda de rodillos por gravedad, la cual actuará como “mesa de toma” para el robot. A continuación, se detallan estas bandas transportadoras por separado y su conjunto

- **Banda transportadora con máquina termoencogible**

La empresa Seven Colors, C.A., cuenta con una banda transportadora de cinta, la cual se le adapta una máquina termoencogible para plastificar los galones en versiones de “4 pack” y los cuartos de galón en versiones de “6 pack”. Esta banda se presenta en la figura 93 y 94.

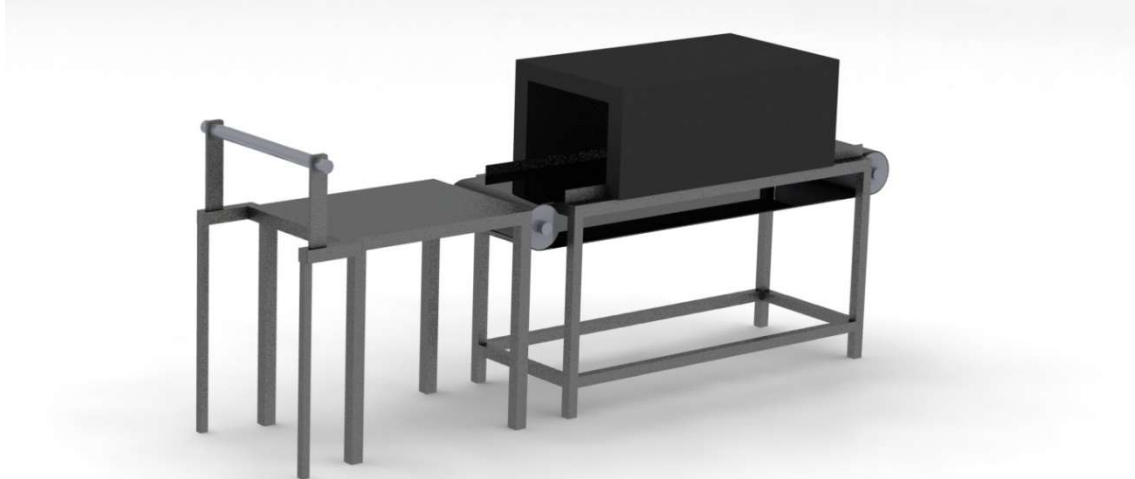


Figura 93. Banda con termoencogible

Fuente: Fernández R. (2024)

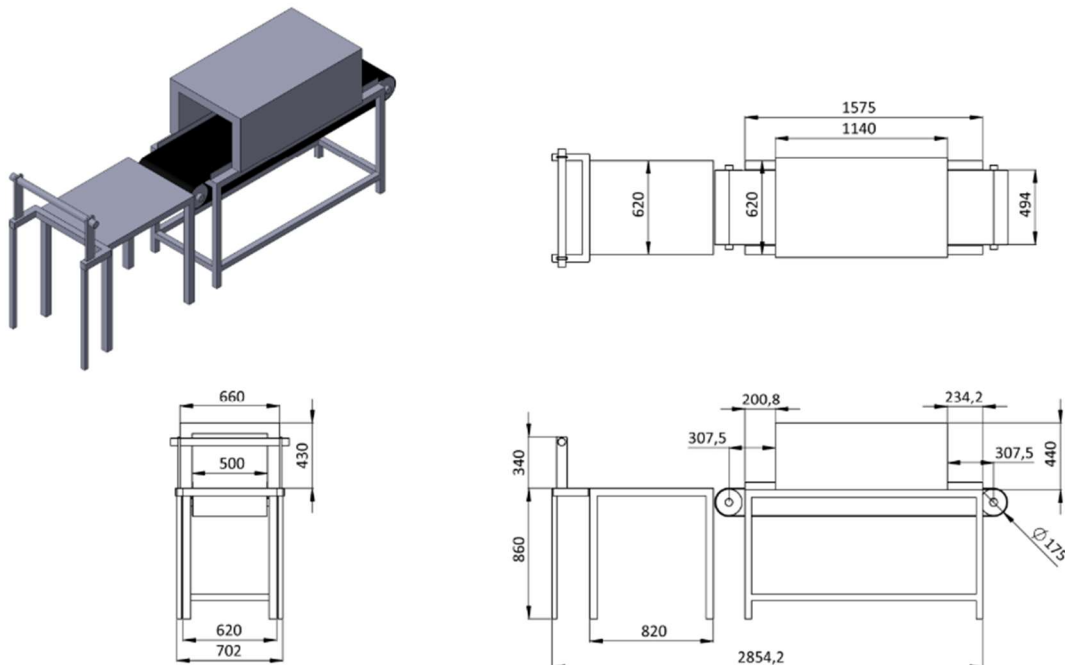


Figura 94. Plano banda con termoencogible

Fuente: Fernández R. (2024)

- **Banda de rodillos por gravedad para galones y cuartos de galón (mesa de toma)**

En la figura 95 y 96 se muestra la mesa de toma, una banda transportadora de rodillos con cortes en U diseñados para facilitar la entrada del tridente por debajo de los envases. Esta configuración permite elevar los envases y transportarlos hacia su destino correspondiente. Los rodillos, conforme al catálogo de Rollers Conveyors S.A. "Transportadores a Granel Equipos para Manejo de Materiales" en el Anexo C.1, están fabricados con material ASTM A-569, tendrán un diámetro de 50 mm, un espesor de 1,5 mm y un eje hexagonal de 7/16" de acero trefilado en frío y de calidad C-1020 con ajuste h9, ya que este modelo cumple con el requerimiento de 9kg de carga que se le aplicará a cada rodillo y las dimensiones son aptas para el paso entre las garras.

Esta banda cuenta con dos topes: uno fijo en el lateral opuesto a la entrada del tridente y otro en el extremo, parte de un cilindro neumático guiado marca SMC (MGPM32-50Z) de 32mm de diámetro y carrera 100mm. El tope fijo en la parte lateral es necesario para el posicionamiento adecuado de los envases. Además, este tope cuenta con agujeros y unas bases donde se alojan sensores capacitivos (E53KAL30T110) para la detección de los packs, para que cuando estos estén activos, el robot vaya a tomar dichos envases. El tope en el extremo, vinculado al cilindro neumático guiado, se ajusta a las necesidades específicas de los envases (figura 96). Para los cuartos de galón, cuyas dimensiones abarcan la longitud total del tridente, el tope es al final de la banda. En cambio, para los galones, que son más pequeños en conjunto, se acciona el cilindro neumático para que el tope se coloque ligeramente antes del final de la banda para centrar los envases en el tridente.



Figura 95. Banda de rodillos para galones

Fuente: Fernández R. (2024)

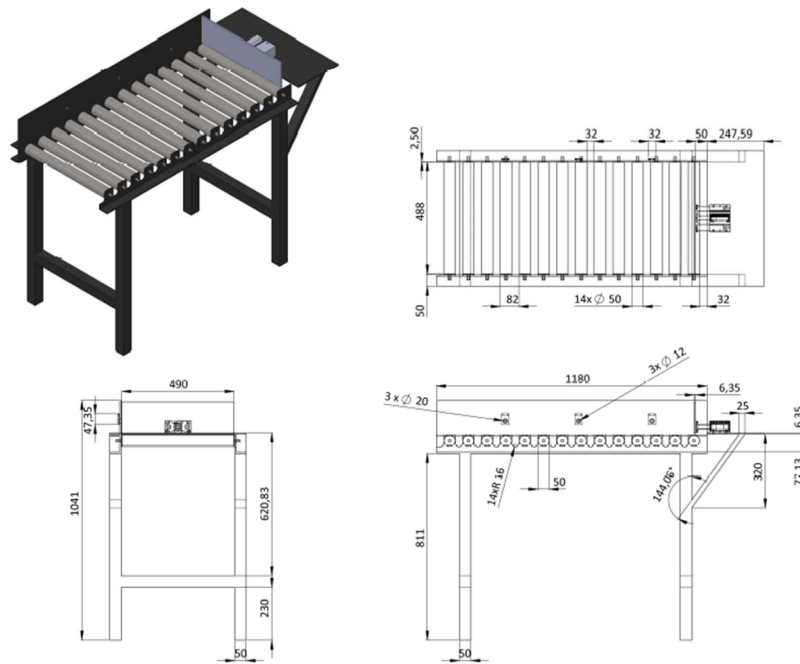


Figura 96. Plano banda de rodillos para galones

Fuente: Fernández R. (2024)

Cabe destacar que la banda posee otros dos elementos fundamentales. En primer lugar, un sensor fotoeléctrico marca Micro Detectors (QX3/A0-1F) que funciona como contador, ubicado al final de la banda de cinta. Una vez que 3 o 5 paquetes (dependiendo del tipo de envase) pasen por delante de él, se activa el segundo elemento llamado "policia". Este último consiste en un cilindro neumático con una placa en el extremo de su eje. Este cilindro neumático se despliega desde abajo, actuando como un tope para evitar que pasen más envases. Después de que la herramienta haya retirado los envases, el "policia" se retrae, permitiendo que la banda de rodillos se llene nuevamente para repetir el procedimiento. A continuación, se visualiza el transportador completo para los galones y cuartos de galón en las figuras de la 97 a la 99.



Figura 97. Transportador de galones y cuartos de galón

Fuente: Fernández R. (2024)

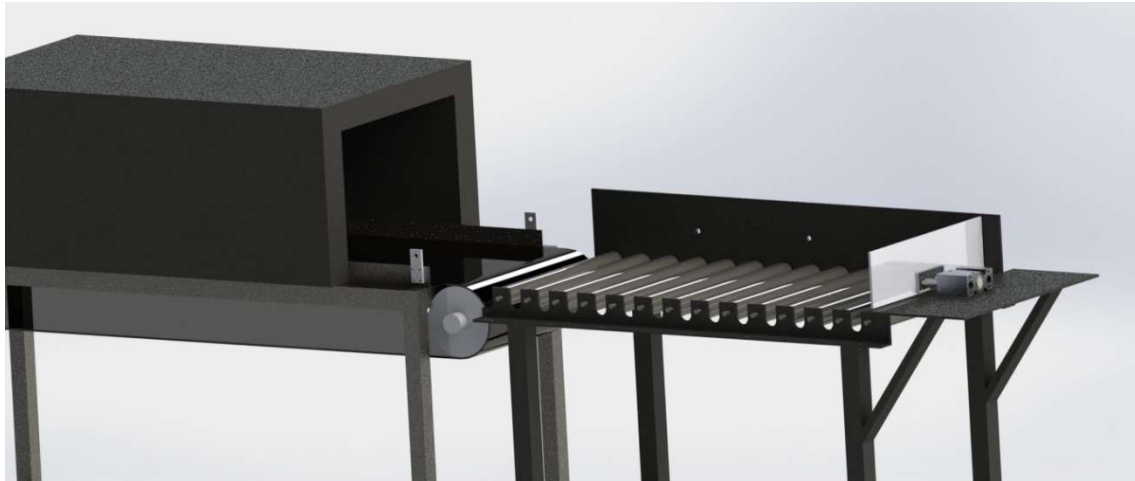


Figura 98. Transportador de galones y cuartos de galón

Fuente: Fernández R. (2024)

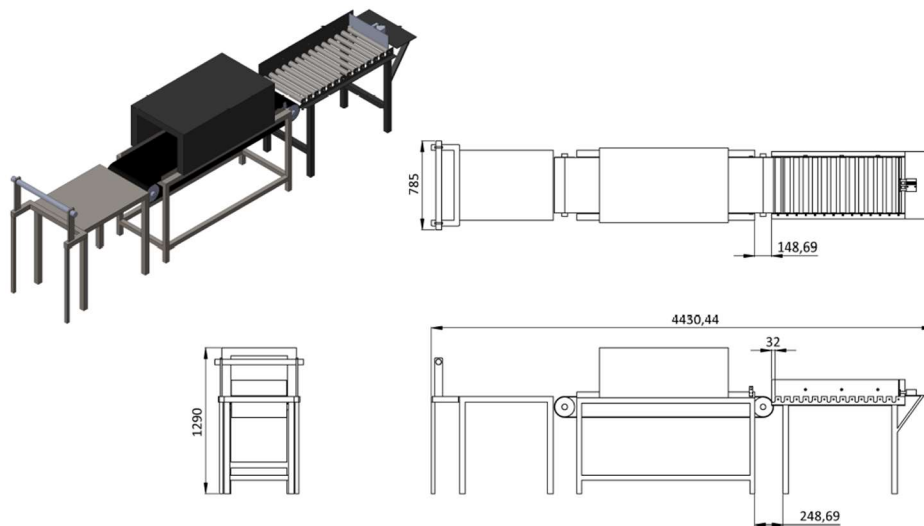


Figura 99. Plano Transportador de galones y cuartos de galón

Fuente: Fernández R. (2024)

4.3.4. Transportador para los cuñetes

Este transportador visualizado en la figura de la 104 a la 106 diseñado exclusivamente para manipular cuñetes, se organiza en dos secciones consecutivas. Inicialmente, incorpora una banda transportadora de cinta que guía los cuñetes hacia el interior de la celda robótica. Una vez completada esta etapa, se integra una pequeña mesa de toma similar a la utilizada para los galones y cuartos de galón, compuesta por un transportador de rodillos a gravedad.

- **Banda transportadora de cinta para cuñetes**

En la elección de los componentes para la banda transportadora de cinta, se consultaron catálogos especializados. Se determinó un ancho de banda de 400 mm, considerado apropiado tanto para los cuñetes como para facilitar la manipulación por parte de los operadores. Además,

se estableció una velocidad de 30 cm/s como parámetro inicial para el diseño, optimizando el flujo de los cuñetes a lo largo del proceso.

✓ **Cinta**

En la selección de la banda transportadora de cinta, se optó por la cinta de la serie EP 80, específicamente la correa Poliéster/Nylon del modelo EP 160/2 de acuerdo con el catálogo de GoodYear. Esta elección se basó en el cumplimiento de los requerimientos mínimos, como el ancho de banda y las cargas aplicadas al sistema. Para obtener información detallada sobre las especificaciones técnicas de esta cinta, se puede consultar la ficha técnica proporcionada en el Anexo C.2.

✓ **Tambores**

Según la ficha técnica de la cinta o correa seleccionada GoodYear EP 160/2, afirma que el diámetro mínimo de la polea motriz para poleas de cola y contacto es de 200mm. Siguiendo el catálogo de RULMECA en la tabla 13. (Anexo C.3), nos recomienda un diámetro mínimo recomendado de 160mm del contratambor para los tambores motrices de 200mm.

En consecuencia, considerando que el tambor motriz tiene un diámetro mínimo de 200mm y la velocidad de la cinta es de 0.30 m/s, se seleccionó un mototambor de 216 mm de diámetro, específicamente la referencia 220M/220H, según el catálogo de RULMECA (Anexo C.4). Este mototambor tiene una gama de potencia que va desde 0.37 kW hasta 5.5 kW.

✓ **Rodillos de carga y retorno**

En cuanto a los rodillos de carga seguiremos viendo el Anexo C.3, donde podemos ver que el manual de RULMECA en la tabla 16, nos brinda el diámetro de los rodillos aconsejado según el ancho de banda. En este caso para una banda de 500mm de ancho, y una velocidad menor a 2 m/s, recomienda un diámetro de 89mm. Sin embargo, para esta banda en cuestión, se trabajó con 400mm y 0,30m/s, ambos valores inferiores a los de la tabla. Es por ello que al dirigirnos a la tabla "Programa de producción para rodillos PSV" del mismo manual de RULMECA, tomamos un valor anterior, el cual es 63mm de diámetro de modelo PSV 1, con un espesor del tubo de 3mm, cabezal espesor de 2,5mm, diámetro del eje de 20mm y un rodamiento tipo 6204C3.

Para los rodillos de retorno, se consultó el manual de RULMECA presente en el Anexo C.3, específicamente en la tabla "Programa de producción de rodillos de retorno". En este documento, se identificó que el tipo de rodillo PSV 1 tiene un diámetro de 63 mm, un eje de 20 mm y utiliza un rodamiento 6204. Estas especificaciones se tomaron en cuenta para asegurar la correcta funcionalidad de los rodillos de retorno en la banda transportadora de cinta. Finalmente, se muestra en las figuras 100 y 101 la banda de cinta.

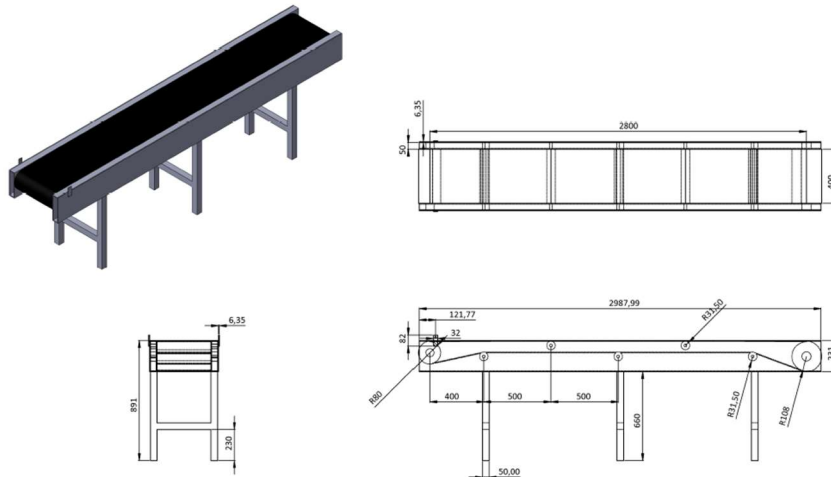


Figura 100. Plano Banda transportadora de cinta para cuñetes

Fuente: Fernández R. (2024)

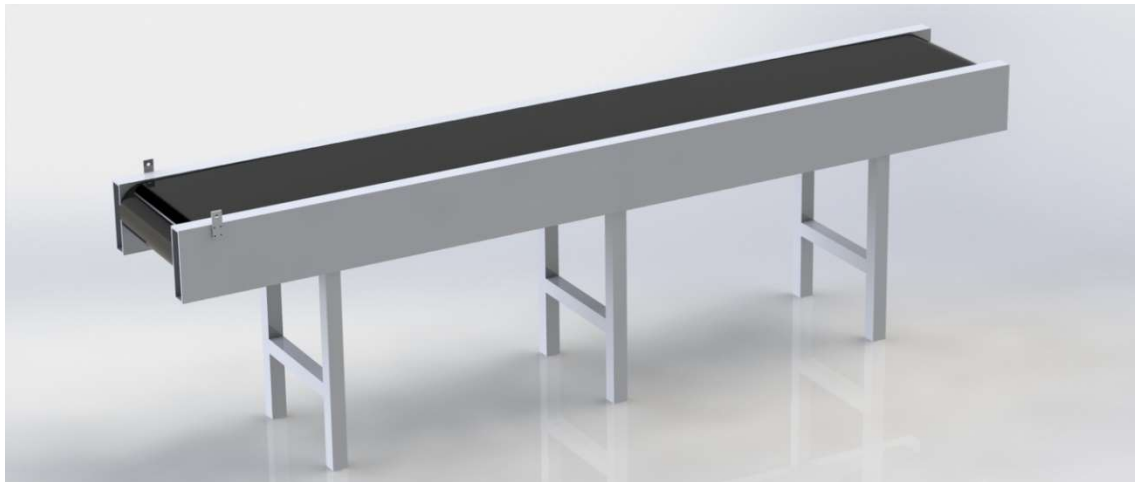


Figura 101. Banda transportadora de cinta para cuñetes

Fuente: Fernández R. (2024)

- **Banda de rodillos por gravedad para cuñetes (mesa de toma)**

Esta mesa de toma es similar a la utilizada para los galones y cuartos de galón. La banda que se puede observar en las figuras 102 y 103, incorpora rodillos de 50 mm seleccionados según el manual de Rollers Conveyors, S.A., y presenta agujeros en forma de U que permiten el ingreso de las garras del tridente. Esta configuración facilita la tarea de posicionar los cuñetes en el punto "0", donde el tridente del robot puede tomarlos y colocarlos en su respectivo lugar en la paleta.

La banda cuenta con dos topes fijos: uno en el extremo, que detiene el movimiento de los cuñetes, y otro en el lateral opuesto por donde ingresa la herramienta. Este tope lateral, al igual que en la otra banda, dispone de bases para alojar 4 sensores capacitivos que detectarán

la presencia de los cuñetes. Estos sensores envían una señal al robot para indicarle cuándo debe tomar los envases y llevarlos a su destino correspondiente.

Este transportador, al igual que el utilizado para los galones y cuartos de galón, incorpora un contador (sensor fotoeléctrico QX3/A0-1F) y un policía. Estos elementos cumplen la misma función que en el transportador mencionado anteriormente, evitando la formación de cuellos de botella en el proceso. El sensor fotoeléctrico actúa como contador y el policía, un cilindro neumático con una placa en el extremo de su eje, se despliega desde abajo cuando se alcanza la cantidad de 4 cuñetes. Este policía hace un tope para evitar el paso de más envases hasta que la herramienta del robot haya retirado los anteriores, momento en el cual el policía se retrae y la banda de rodillos se prepara para repetir el procedimiento.

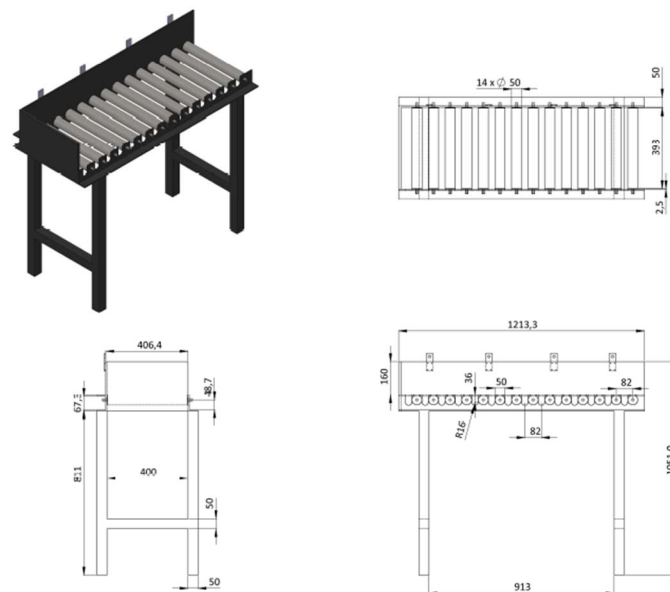


Figura 102. Plano Banda de rodillos para cuñetes

Fuente: Fernández R. (2024)



Figura 103. Banda de rodillos para cuñetes

Fuente: Fernández R. (2024)

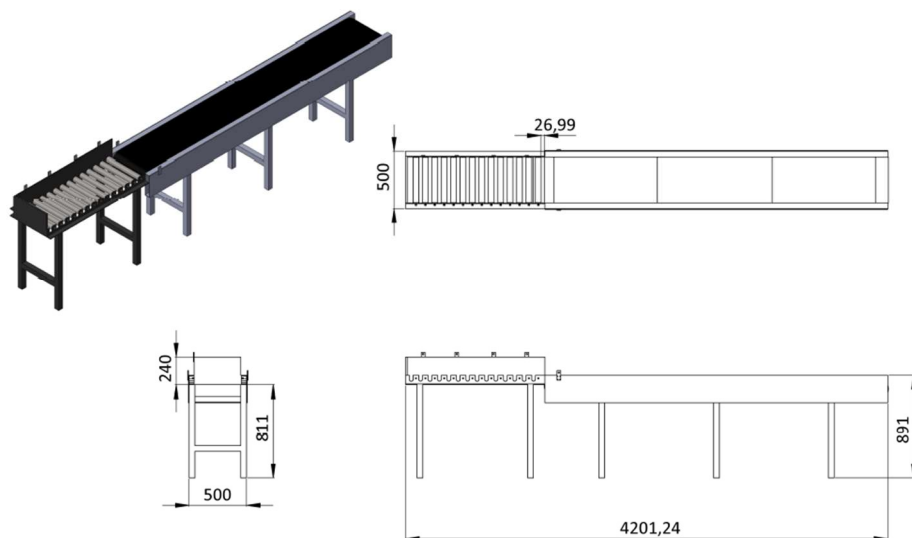


Figura 104. Plano transportador de cuñetes

Fuente: Fernández R. (2024)

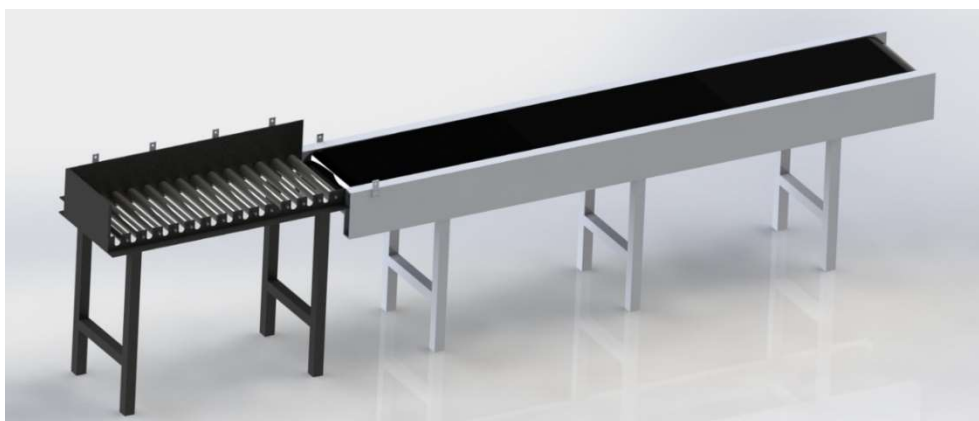


Figura 105. Transportador de cuñetes

Fuente: Fernández R. (2024)



Figura 106. Transportador de cuñetes (1)

Fuente: Fernández R. (2024)

4.3.5. Distribución de la celda robótica

La distribución estratégica de los elementos dentro de la celda robótica constituye un paso crucial para configurar eficientemente el proceso de paletizado y, posteriormente, facilitar el desarrollo del programa de simulación 3D. En el centro de la celda está ubicado el robot paletizador, posicionándose estratégicamente para acceder fácilmente a todos los elementos y a las bandas transportadoras adyacentes. Dichas bandas están dispuestas a los lados del robot, una destinada a los cuñetes y otra a los galones y cuartos de galón.

Detrás del robot, se destinó un espacio específico para acumular las paletas, listas para ser recogidas por el robot, y otros dos espacios designados como puntos constantes de paletizado respectivo para cada envase. En estos espacios para el paletizado, las paletas se colocan sobre una mesa cuadrada de 1500x1500mm con una altura de 500mm para elevarlas, para así asegurar que el robot no se fuerce hacia sus límites de alcance y la programación sea más amigable. Esta organización permitió una fluidez eficiente en el movimiento del robot y garantizó un proceso ordenado. En la figura 107 se presenta un croquis con las medidas exactas de distribución de la celda robótica.

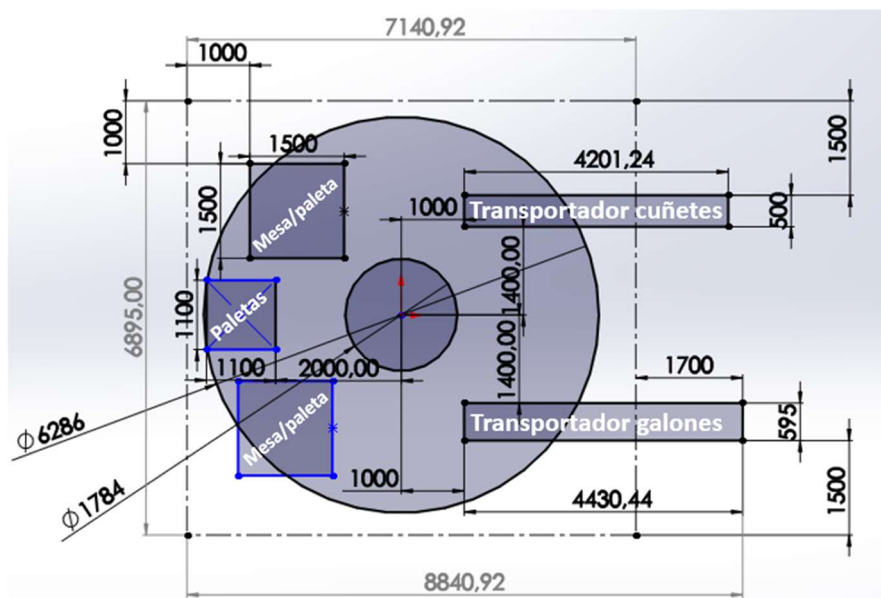


Figura 107. Croquis celda

Fuente: Fernández R. (2024)

Se puede observar en este croquis que el espacio utilizado para la automatización del proceso es de 8.840,92 x 6.895 mm, lo cual es viable debido a que el espacio total disponible en planta es de 9.000 x 13.000 mm. Este espacio será cercado con una cerca mallada tipo vicson para la protección de los equipos y evitar accidentes que puedan ocasionar cerca de la celda.

La representación visual de esta disposición se muestra de la figura 108 a la 111.



Figura 108. Distribución de la celda robótica (1)

Fuente: Fernández R. (2024)



Figura 109. Distribución de la celda robótica (2)

Fuente: Fernández R. (2024)

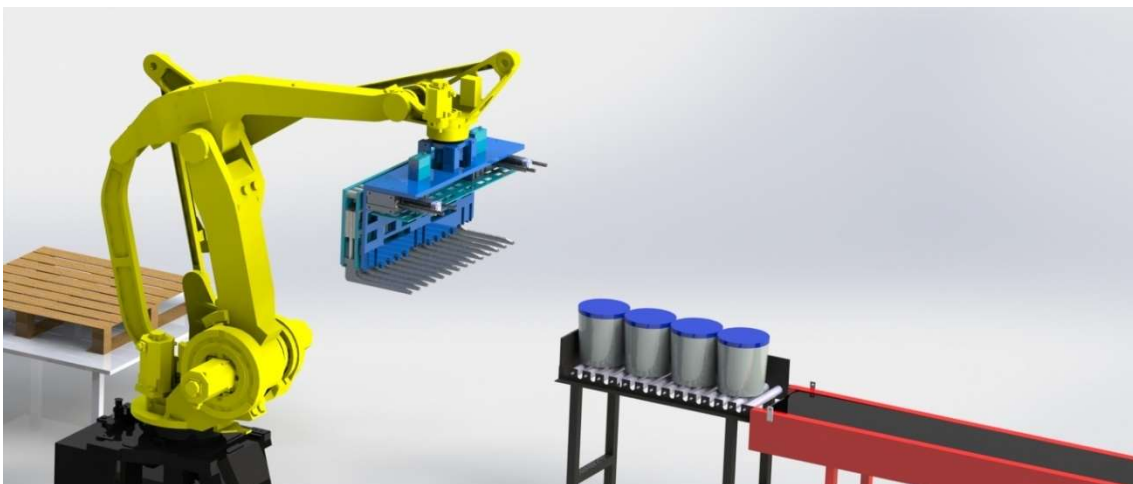


Figura 110. Distribución de la celda robótica con cuñetes

Fuente: Fernández R. (2024)



Figura 111. Distribución de la celda robótica con galones

Fuente: Fernández R. (2024)

Fase IV Desarrollo del programa para la automatización del proceso en un ambiente de simulación 3D.

En esta etapa crucial y final del proyecto, se procedió a desarrollar un programa de simulación de Robótica Industrial con el objetivo de validar la factibilidad de las decisiones tomadas previamente. Esta fase se basó en los datos recopilados, los elementos diseñados y la distribución específica creada para el proceso en la empresa Seven Colors, C.A.

Se empleó el software RoboDK para la simulación del proceso de paletizado. RoboDK es una plataforma de simulación de robótica industrial que permite modelar, programar y simular operaciones robóticas en entornos virtuales antes de implementarlas físicamente. Este software proporciona herramientas para la programación y simulación 3D de robots industriales, lo que facilita la optimización y validación de procesos automatizados.

En términos generales, RoboDK permite crear entornos virtuales que replican el espacio de trabajo real, incluyendo la disposición de máquinas, herramientas y obstáculos. Este software cuenta con una librería de robots, herramientas, objetos, transportadores, entre otros, que permite la fácil inclusión en el programa para llevar a cabo la simulación. Así mismo, en este pueden ser introducidos los objetos que queramos; en nuestro caso incluiremos la herramienta de trabajo del robot, las paletas, los envases, y las bandas transportadoras.

La programación offline permite desarrollar y simular programas de control para Robots Industrial sin la necesidad de conexión física al robot real. Esto agiliza el desarrollo y reduce el tiempo de inactividad del equipo. Además, se podrá visualizar de manera precisa cómo se llevarán a cabo las operaciones robóticas, identificando posibles problemas o mejoras antes de la implementación física.

El proceso implica cargar el modelo 3D de la celda robótica, definir las trayectorias y secuencias de movimiento, y simular la interacción del robot con los distintos elementos, como las bandas transportadoras y las paletas. Esto permite evaluar la eficacia y eficiencia del sistema antes de su implementación práctica.

Se empezó cargando los elementos de la celda robótica, así como el robot, la herramienta, las bandas transportadoras, envases, entre otros, así como refleja la figura 112.

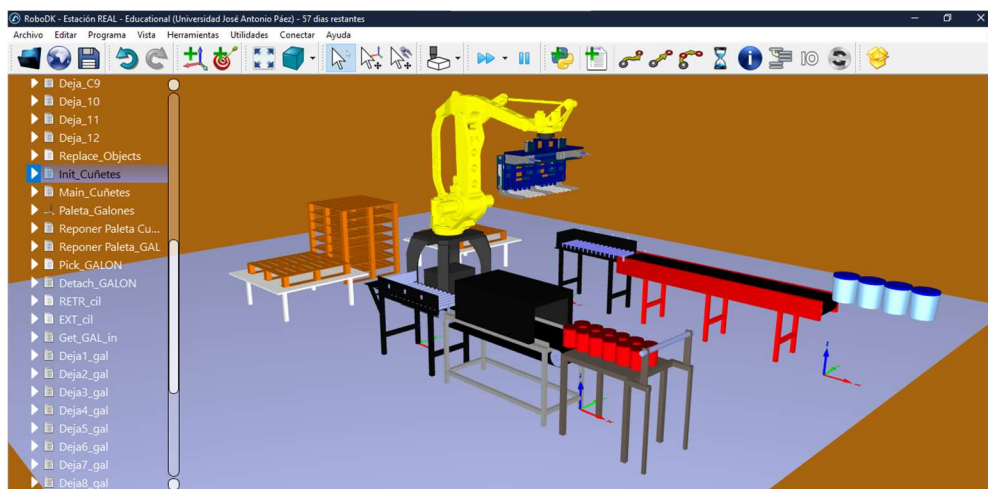


Figura 112. Elementos de la celda en RoboDK

Fuente: Fernández R. (2024)

Luego se simuló la llegada de los cuñetes, en lotes de 4, hasta el punto de toma de la herramienta en el transportador respectivo (figura 113) para luego por medio de trayectorias consecutivas bien cuidadosas, llevarlos hasta la paleta y poder organizar exitosamente la matriz de 4x4 con 3 pisos, formando así una paleta con 48 cuñetes como muestra la figura 114.

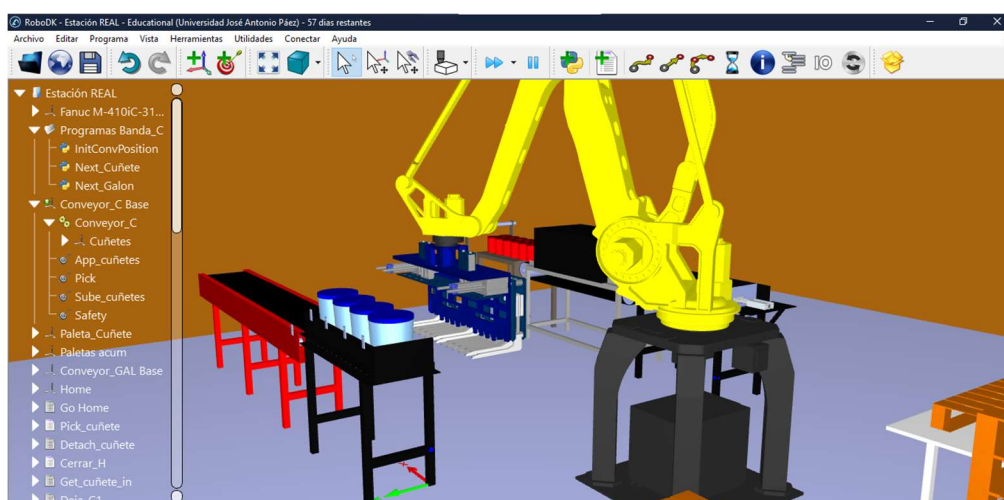


Figura 113. Llegada de cuñetes al punto de toma

Fuente: Fernández R. (2024)

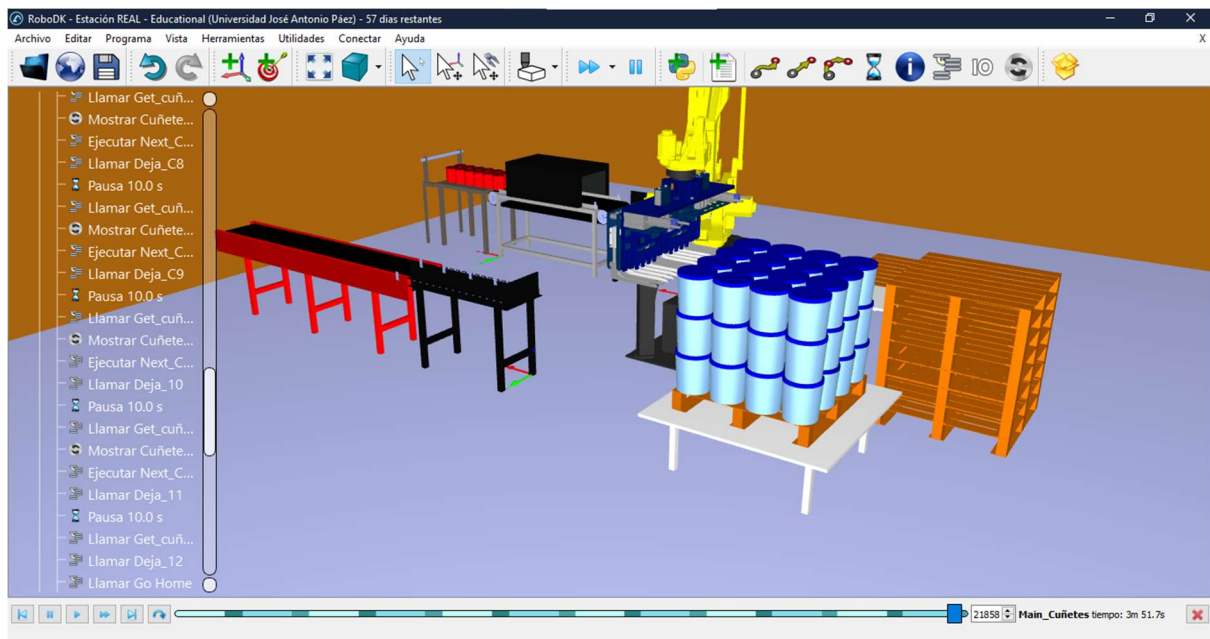


Figura 114. Paleta de cuñetes

Fuente: Fernández R. (2024)

Una vez formada esta matriz de cuñetes, el montacargas debe llevarse esta paleta para llevarla a su lugar de almacenamiento. Posteriormente, el robot procede por medio de sus garras a tomar una paleta del montón que se ubica en la parte trasera de él, para llevarla nuevamente al lugar de paletizado. Este procedimiento es visualizado en la figura 115 y 116.

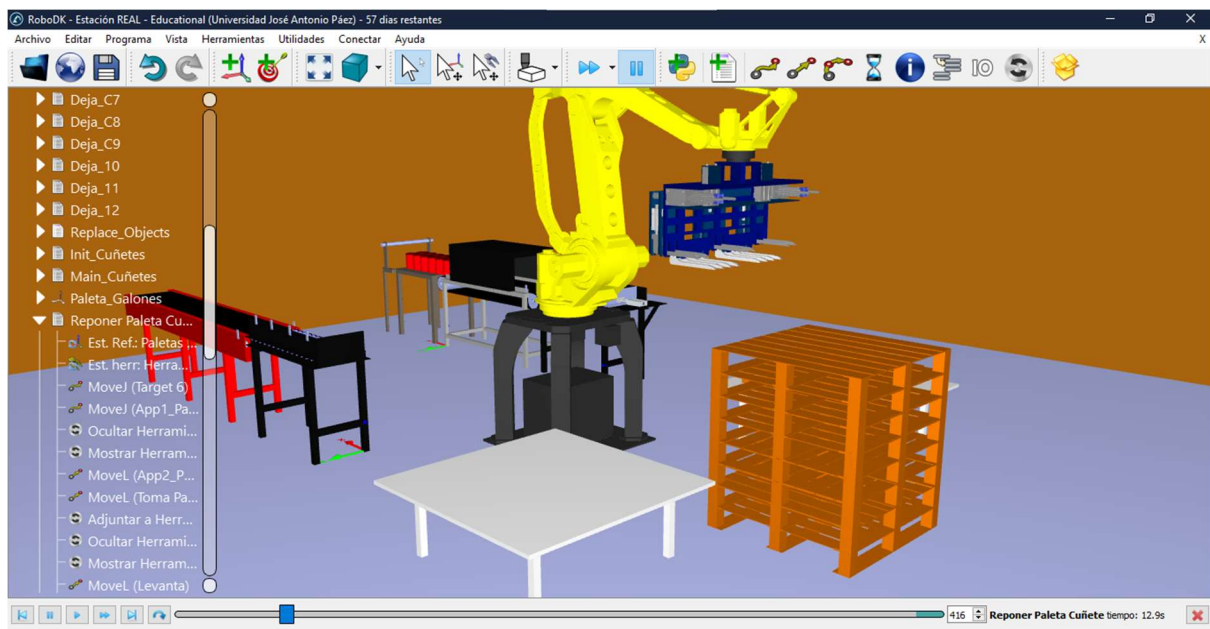


Figura 115. Reposición de paleta (1)

Fuente: Fernández R. (2024)

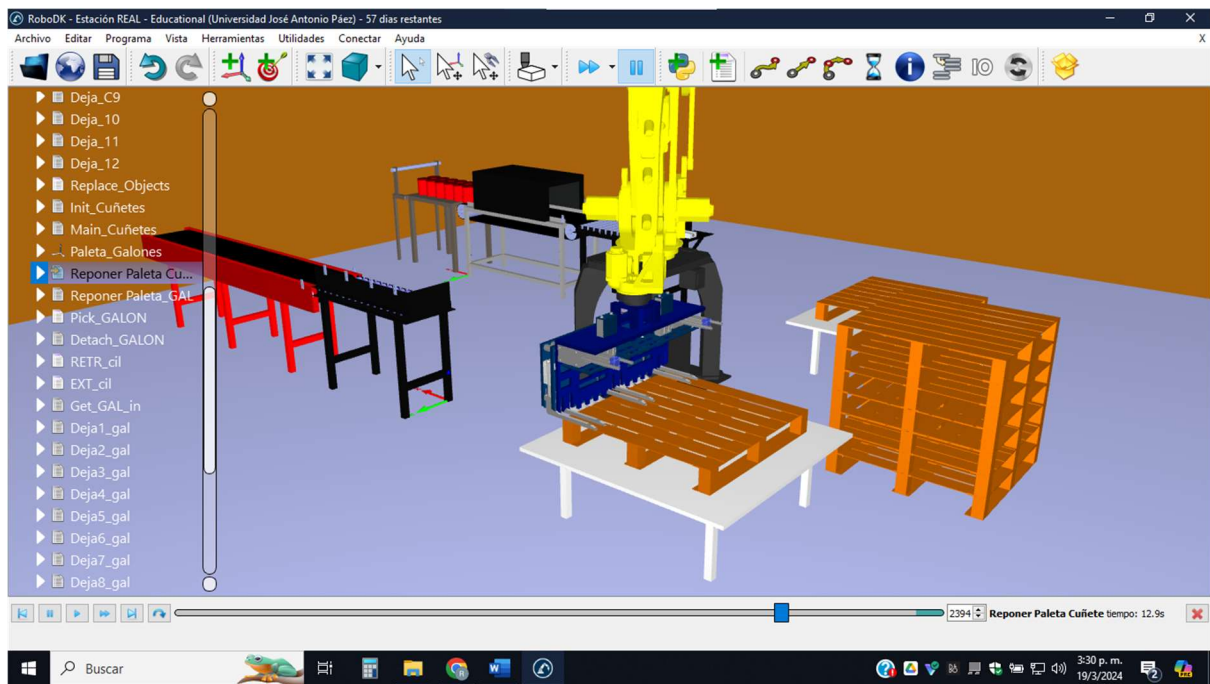


Figura 116. Reposición de paleta (2)

Fuente: Fernández R. (2024)

Finalizada la fase anterior, se repite con los galones, en donde es posible observar en la figura 117, que 3 unidades de los mismos en sus presentaciones de “4 pack”, son trasladados al punto de toma en la banda de rodillos para que la herramienta del robot pueda ingresar, sujetarlos y moverlos hacia su respectivo lugar para así formar una matriz de 6x6 galones con 5 pisos de altura (figura 118).

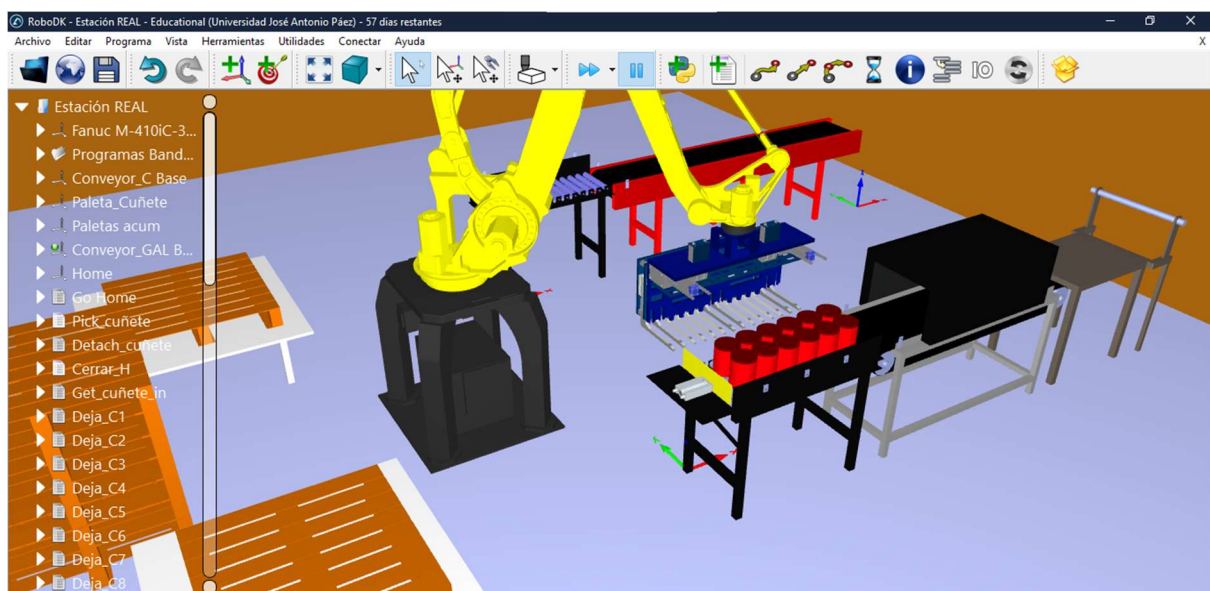


Figura 117. Llegada de los galones al punto de toma

Fuente: Fernández R. (2024)

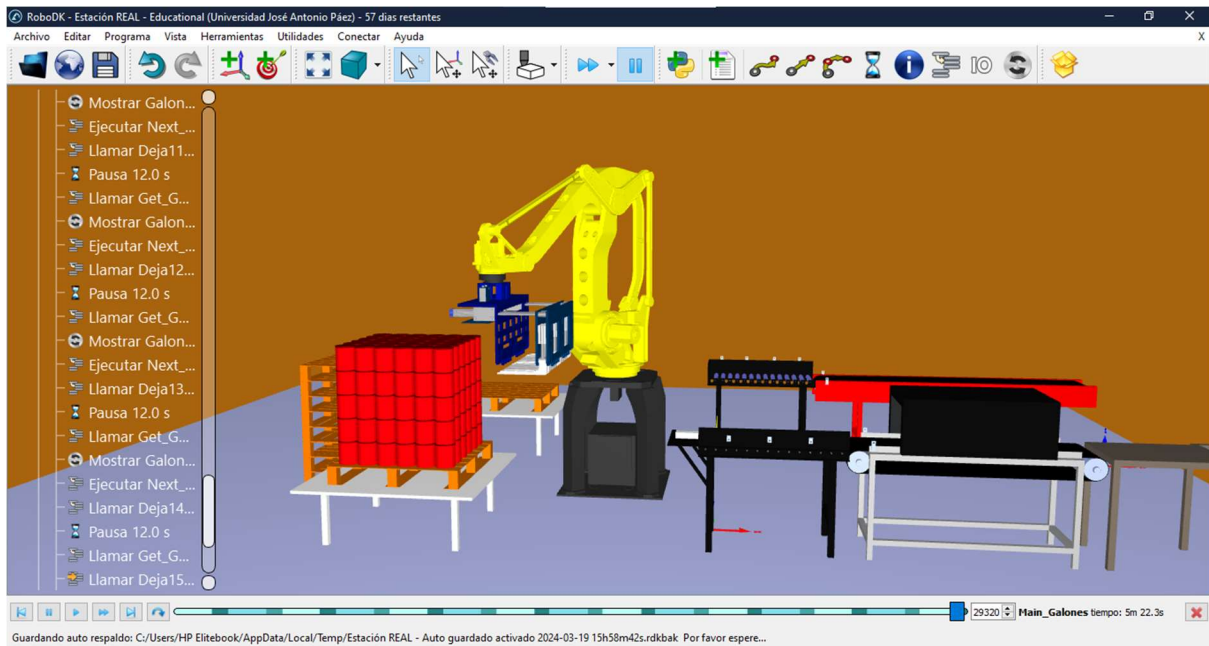


Figura 118. Paleta de galones

Fuente: Fernández R. (2024)

De igual manera, se espera que el montacargas retire la paleta para su posterior almacenamiento y se procede a reponer la paleta buscándola en las que están de manera apiladas y llevándolas a su respectivo lugar de paletizado, como es mostrado en la figura 119.

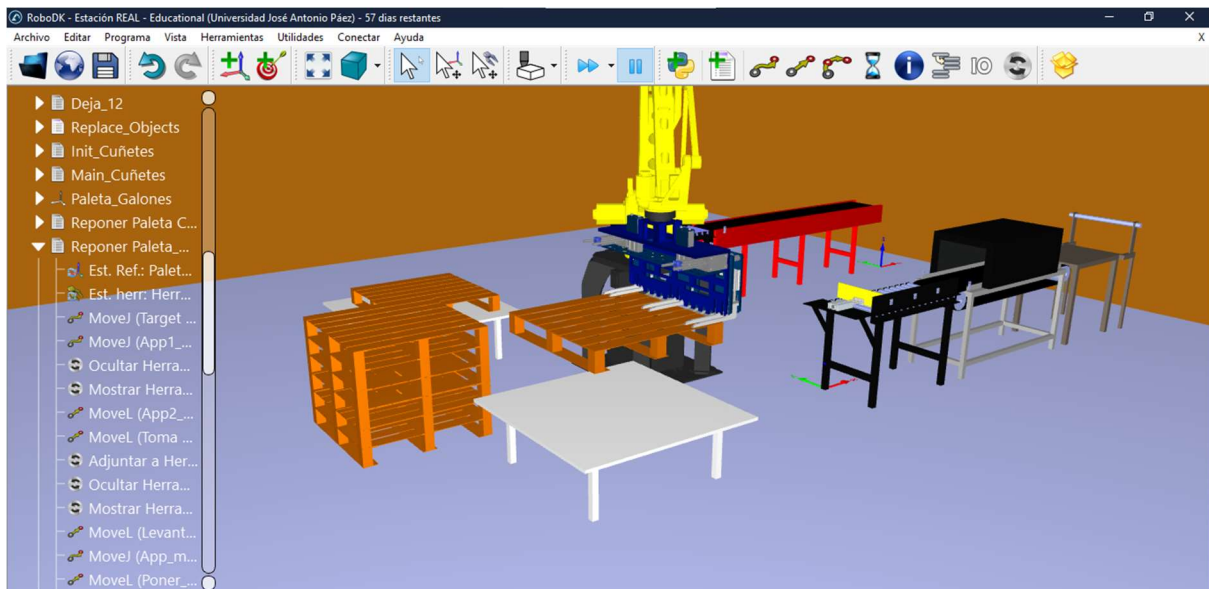


Figura 119. Reposición de paleta galones

Fuente: Fernández R. (2024)

Esta última configuración, es igualmente funcional para los cuartos de galón, la única distinción es que el cilindro que se utiliza como tope en la banda transportadora siempre estará

retraído, debido a que las dimensiones de los packs de los cuartos de galón cumplen con toda la amplitud de la herramienta.

El software RoboDK, nos proporciona un dato importante que es el tiempo de trabajo en el cual se realiza el paletizado. A continuación, en las figuras 120 y 121, podrán visualizarse cuál es el tiempo que toma el paletizado de cuñetes y el paletizado de los galones para poder compararlos con el paletizado manual que se lleva a cabo actualmente.

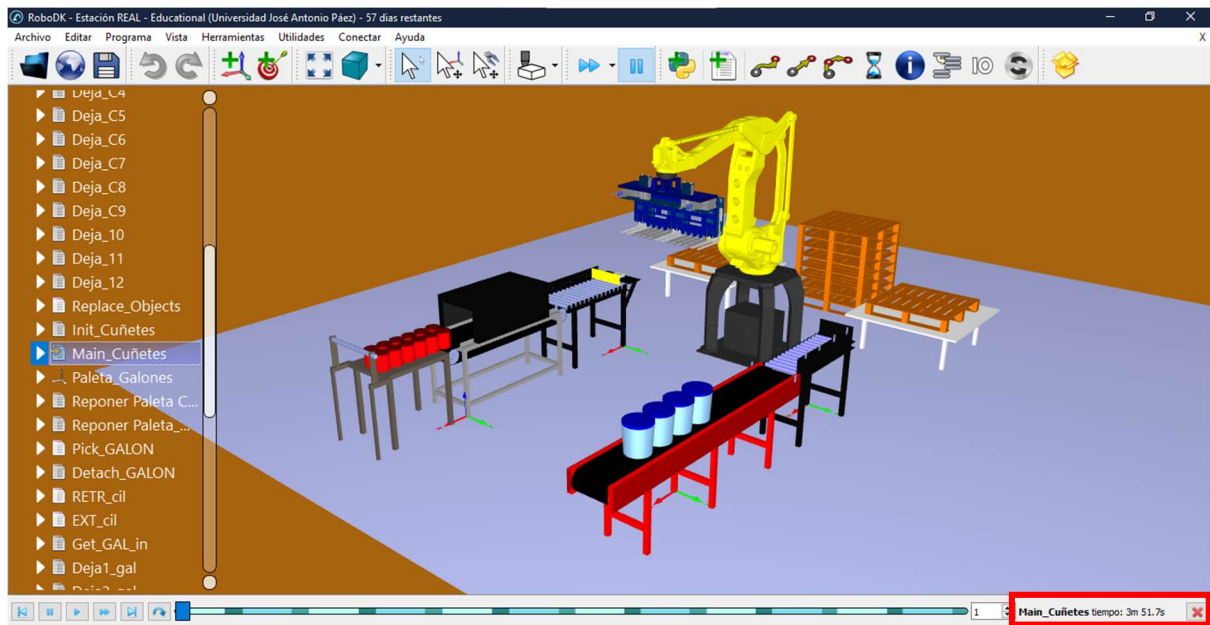


Figura 120. Tiempo paletizado cuñetes

Fuente: Fernández R. (2024)

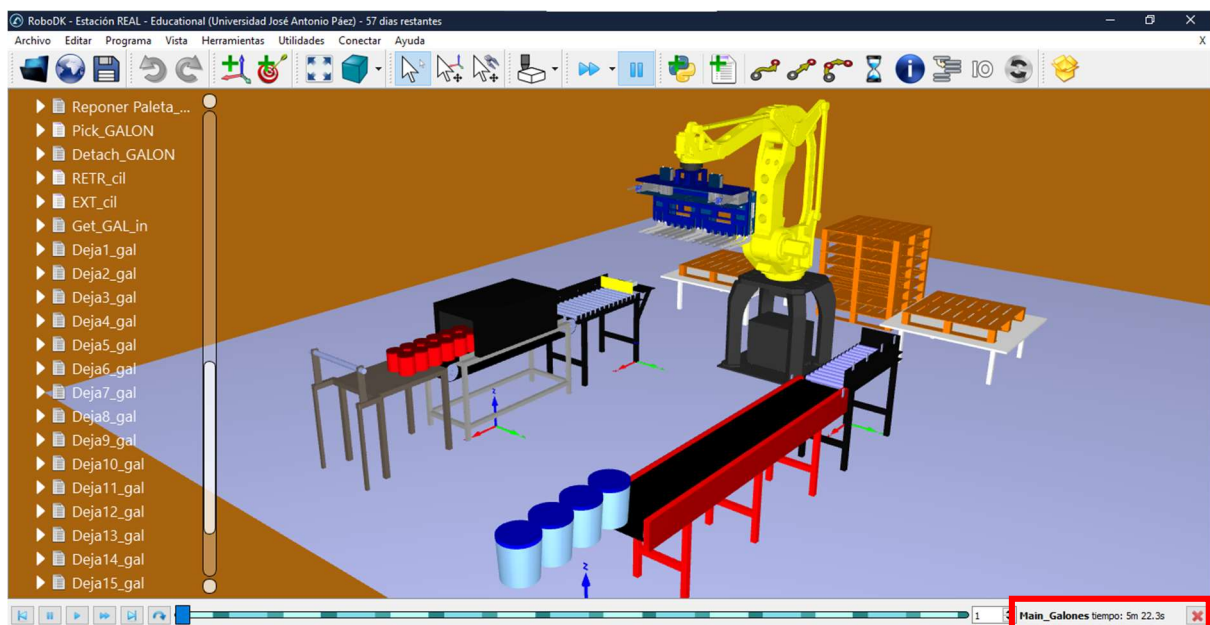


Figura 121. Tiempo paletizado galones

Fuente: Fernández R. (2024)

En la parte inferior derecha de ambas figuras, se evidencia que el tiempo de paletizado para los cuñetes es de 3 minutos y 51,7 segundos, mientras que para los galones es de 55 minutos y 22,3 segundos. Esta comparación revela una optimización drástica del tiempo de paletizado mediante la automatización del proceso, en contraste con el método manual, ya que anteriormente, el paletizado de cuñetes tomaba 8 minutos, y el de galones requería 40 minutos.

Fase V Estudio de la viabilidad económica, técnica, operativa, ambiental y social.

El análisis integral de viabilidad económica, técnica, operativa, ambiental y social para el proyecto de automatización del proceso de paletizado de envases de pintura con un robot industrial es importante para asegurar tanto su éxito como su sostenibilidad. Esta evaluación minuciosa abordó cada uno de los aspectos relevantes que podrían verse afectados positiva o negativamente al implementar este proyecto, abarcando múltiples perspectivas.

4.5.1. Viabilidad económica

Desde la perspectiva económica, se examinó detalladamente los costos asociados con la adquisición e instalación del robot, la herramienta diseñada, bandas transportadoras y cualquier otro componente relevante. Se hizo un presupuesto basado en los precios otorgados por empresas venezolanas dedicadas a cada rubro, entre estas se encuentran Neumatica Rotonda, C.A, Smartcut, Rollers Conveyors, S.A., Torniamerica, C.A., Sequin Industrial, C.A, Cercas Perimetrales, C.A., entre otros.

Debido a la situación actual del país en cuanto a la devaluación de la moneda nacional, el presupuesto se realizará en dólares americanos para que no afecte ni haya fluctuaciones futuras. Este presupuesto se visualiza en la tabla 8.

Tabla 8. Presupuesto

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Robot FANUC M-410iC/315	1	Unidad	\$90.000,00	\$90.000,00
Banda transportadora rodillo por gravedad	2	Unidad	\$5.000,00	\$10.000,00
Banda transportadora de cinta para cuñetes	1	4500	\$4.500,00	\$4.500,00
Láminas duraluminio	3002,4	Metros^2	\$1,92	\$5.764,61
Corte láminas duraluminio	1	Cortes	\$1.370,00	\$1.370,00
Barra 40mm ultraleno	1,016	Metros	\$50,00	\$50,80
Barra 20mm AISI 4340 normalizado	1,156	Metros	\$24,00	\$27,74
Válvula CM + EtherNet/IP	1	Unidad	\$1.438,11	\$1.438,11
Cilindro neumático (121A0500283AN)	2	Unidad	\$194,44	\$388,88
Cilindro guiado neumático (W1430402200)	2	Unidad	\$874,00	\$1.748,00
Cilindro guiado neumático (MGPM50-100Z)	3	Unidad	\$378,00	\$1.134,00
Sensores magnéticos para los cilindros MGPM50-100Z (W0952025390)	3	Unidad	\$47,75	\$143,25
Reguladores de caudal 10x1/4" código 9021011C	14	Unidad	\$25,59	\$358,26
Cilindro guiado SMC (MGPM32-50Z)	1	Unidad	\$275,85	\$275,85
Sensores capacitivos EATON (E53KAL30T110)	7	Unidad	\$74,00	\$518,00
Sensores fotoeléctricos MICRO DETECTORS (QX3/A0-1F)	2	Unidad	\$121,00	\$242,00
Tornillos M10x1,5x32	44	Unidad	\$0,27	\$11,88
Perno M8x1,25,115	64	Unidad	\$0,38	\$24,06
Cercado malla tipo vicson de 7x7m	28	mL	\$63,00	\$1.764,00
Mano de obra especializada (25% del costo total)	1		\$29.939,86	\$29.939,86
Total				\$149.699,31

Fuente: Fernández R. (2024)

Entre todos los elementos evaluados en este presupuesto, sumó un total de 149.699,31 dólares americanos. Es esencial que, al calcular los costos, se evalúe cuidadosamente la complejidad de las tareas que deben llevar a cabo los profesionales especializados y tome en cuenta factores como la duración del proyecto, el nivel de experiencia requerido y los riesgos asociados, es por ello que el presupuesto incluyó el 25% de mano de obra especializada del total de los demás ítems.

4.5.2. Viabilidad técnica

En el proceso de modernización, la empresa ha alcanzado una notable tecnificación mediante la implementación de sistemas automatizados. Este paso estratégico ha reforzado la competitividad en el mercado al permitir, en algún momento, aumentar la capacidad de paletizado con una reducción significativa en la cantidad de empleados requeridos.

El análisis de viabilidad técnica para el proyecto de automatización del proceso de paletizado de envases de pintura con un Robot Industrial involucró una evaluación exhaustiva de los aspectos técnicos relacionados con la implementación. En este contexto, se examinaron las capacidades del Robot Industrial, específicamente el FANUC M-410iC/315, asegurando que pudiera manipular eficientemente los envases de pintura, considerando aspectos como carga máxima, alcance y repetibilidad. Así como también, la factibilidad de la herramienta de trabajo del robot, la cual tiene las dimensiones y capacidades adaptables a los distintos envases de pintura. Además, se estudió la integración del sistema propuesto con la infraestructura existente, incluyendo la conexión con las bandas transportadoras y la sincronización con otros elementos del proceso de paletizado.

Durante este análisis, se anticiparon posibles desafíos técnicos, como la manipulación segura de envases, la adaptabilidad a variaciones en el proceso y la resolución de posibles fallas. Se comparó el tiempo del proceso automatizado con el método manual anterior, identificando mejoras y eficiencias potenciales.

4.5.3. Viabilidad operativa

La implementación de la automatización ha propiciado una disminución significativa en los errores humanos, generando un ambiente operativo más fluido y eficiente. La evaluación operativa se enfoca en la eficiencia del proceso, con especial atención a la reducción de los tiempos de paletizado. Este análisis busca mejorar tanto la productividad como la coordinación integral del sistema, identificando áreas de mejora continua.

Durante la evaluación operativa, se examinaron detalladamente la eficiencia del sistema en términos de tiempo de ciclo y capacidad de producción. Estos parámetros fueron

comparados con el método manual previamente empleado, revelando las mejoras sustanciales alcanzadas a través de la automatización.

En cuanto al mantenimiento de la herramienta, la misma se analizó y diseñó en piezas unidas de manera atornillada y no soldada, para así a la hora del cambio de una pieza, se tenga menos inconvenientes a comparación con una pieza soldada. Además, se analizó la capacidad del sistema para adaptarse a posibles cambios futuros en la producción, como variaciones en el tamaño o tipo de envases. La flexibilidad del robot y la herramienta para ajustarse a futuras demandas fueron tenidas en cuenta.

Además, se fomenta la implementación de cursos de capacitación dirigidos a los operadores, lo que resulta en un equipo de trabajo más competente y adaptado al uso efectivo de la automatización, fortaleciendo así sus habilidades laborales. La capacitación continua refuerza la adaptabilidad de los trabajadores a la nueva dinámica laboral, proporcionándoles las habilidades necesarias para operar y mantener los sistemas automatizados con destreza. De esta manera, se crea un entorno laboral más seguro, eficiente y propicio para el desarrollo profesional de los colaboradores.

4.5.4. Viabilidad ambiental

La automatización del proceso de paletizado con un Robot Industrial no solo reduce errores humanos, sino que también disminuye significativamente derrames de pintura, contribuyendo a un ambiente más sostenible y eficiente. La precisión de la automatización minimiza residuos y promueve prácticas amigables con el medio ambiente, reforzando así la viabilidad operativa y la responsabilidad ambiental del proyecto. Por otro lado, la automatización del proceso se realiza con corriente eléctrica, la cual es una energía limpia y no perjudica al ambiente.

4.5.5. Viabilidad social

Automatizando el proceso de paletizado, se logra la minimización de los riesgos y daños físicos para los trabajadores, ya que se eliminan los esfuerzos repetitivos y el levantamiento de cargas pesadas asociadas al proceso. Esta medida contribuye significativamente a la prevención de lesiones laborales y a la mejora de la salud ocupacional.

Este enfoque no solo protege la integridad física de los empleados, sino que también optimiza la eficiencia laboral al integrar adecuadamente la tecnología en las operaciones diarias.

CONCLUSIONES

Para este proyecto centrado en la automatización del proceso de paletizado de envases de pintura, se concluye que a partir de la evaluación exhaustiva del proceso de paletizado manual en Seven Colors, C.A., se identificaron diversas problemáticas, entre ellas el riesgo de lesiones para los operadores debido al manejo repetitivo de cargas pesadas, la falta de tecnología, modernización y eficiencia en tiempo y producción. Para abordar estas dificultades, se optó por la implementación de un sistema automatizado con un robot paletizador industrial.

El proceso de solución comenzó con un análisis detallado de la situación actual, identificando causas como la ergonomía inadecuada, la falta de normas, de tecnologías e ineficiencia en cuanto a tiempo de producción. Además, se visualizó que el proceso de paletizado de manera automatizada propicia unas ventajas mayores en comparación con el proceso de paletizado actual, pudiendo así abordar los problemas identificados anteriormente.

El diseño de la herramienta central del robot la cual se concluyó como tipo “tridente” se enfocó en la robustez y adaptabilidad para los distintos envases de pintura a manipular, utilizando materiales como el duraluminio, realizando análisis estáticos de Von Mises con la ayuda del software SolidWorks para garantizar la idoneidad estructural. Además, para la movilidad de esta versátil herramienta se incorporó tecnología neumática, así como válvulas y cilindros que ayudarán de forma eficiente a accionar la herramienta para tomar los envases.

Por otro lado, las bandas transportadoras, tanto de rodillos por gravedad como banda transportadora de cinta, fueron cuidadosamente seleccionadas mediante catálogos a partir de datos iniciales como la velocidad, el ancho de la banda y la carga sobre los rodillos. Estas incorporan sensores contadores fotoeléctricos y sensores capacitivos para sensar la presencia de los envases, de tal manera de optimizar el flujo de trabajo y prevenir cuellos de botella.

La distribución de la celda de paletizado se planificó estratégicamente, ubicando al robot paletizador en el centro para acceder eficientemente a las líneas de cuñetes y galones. Así como también se ubicó de manera efectiva la posición fija de las paletas tanto para su acumulación para ser tomadas por la herramienta, como la posición para el paletizado. Este diseño permitió maximizar la productividad y minimizar tiempos de ciclo.

Finalmente, se llevó a cabo una simulación detallada en el software de simulación de Robótica Industrial, RoboDK. En esta simulación se valida el proceso de paletizado pudiendo obtener datos valiosos, así como el tiempo empleado, corroborando que esta es una solución factible para la problemática inicial.

RECOMENDACIONES

Para este proyecto, se proporcionan diversas recomendaciones a tomar para el correcto funcionamiento y mejoras del mismo.

- Para que los equipos neumáticos utilizados en la herramienta funcionen correctamente por un largo tiempo, es esencial un adecuado mantenimiento de las líneas de aire, teniendo unidades de mantenimiento (FR+L) a disposición para asegurar la pureza del aire.
- Se sugiere adoptar un único modelo de paleta estándar con dimensiones de 1100x1100mm. La elección de estandarizar las paletas ofrece ventajas significativas, permitiendo una mayor organización en términos de normativas y almacenamiento. Además, este tipo de paletas se integra eficientemente con la herramienta del robot, ya que las garras pueden introducirse fácilmente a través de los agujeros diseñados en la paleta para su manipulación.
- Con el fin de lograr una sujeción de las paletas más efectiva durante el proceso de paletizado, se propone la instalación de un dispositivo que realice este trabajo. Este dispositivo estará equipado con cilindros neumáticos y placas en los extremos de sus ejes, diseñados para fijar la paleta de manera segura. Esta solución asegurará que la paleta permanezca estable y sin movimientos indeseados mientras se lleva a cabo la colocación de los cuñetes sobre la misma.
- Con el objetivo de optimizar el flujo dentro de la celda robótica y prevenir posibles cuellos de botella entre las camadas de paletas, se sugiere la incorporación de un transportador de cadenas. Este dispositivo permitirá posicionar y desplazar las paletas de manera organizada mientras se lleva a cabo el proceso de paletizado. Una vez completada una camada, el transportador se desplazará automáticamente, liberando espacio para que el robot coloque una nueva paleta en la posición designada. Este ciclo se repetirá de forma continua, mejorando significativamente el tiempo y la eficiencia global del proceso de paletizado.

REFERENCIAS

- Amazon (2023). **MGPM12-60Z MGPM16-70Z MGPM20-80Z MGPM25-90Z MGPM32-100Z MGPM40-75Z MGPM50-100Z MGPM63-125 Cilindro neumático de guía compacto tipo SMC 60Z 70Z 75Z 80Z 90Z 100Z 125Z (Color : 70Z , Size : MGPM50)**. Recuperado de <https://www.amazon.es/MGPM12-60Z-MGPM16-70Z-MGPM20-80Z-MGPM32-100Z-MGPM50-100Z/dp/B0C42KNB1K?th=1>
- Arias, F. (2012). **El Proyecto de Investigación. Introducción a la Metodología Científica**. 6ta Edición. Editorial Episteme. Caracas, Venezuela.
- Cerdán. (2021). **Diseño y desarrollo de una estación robótica virtual de Packing & Palletizing**. Trabajo de Grado. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Cuello y Valera (2021). **Desarrollo de una célula industrial de mecanizado, control de calidad basado en visión artificial y empaquetado**. Trabajo de Fin de Master. Universidad Politécnica de Valencia.
- Fanuc (s.f). **M-410iC/315**. Recuperado de <https://www.fanuc.eu/es/es/robots/p%C3%A1gina-filtro-robots/serie-m-410/m-410ic-315>
- Gobierno de la Provincia de Buenos Aires, Dirección de Educación Técnica. (2020). **Morfología Básica de un Robot Industrial**. Recuperado de <https://continuemos estudiando.abc.gob.ar/wp-content/uploads/2023/02/cuadernillo-de-actividades-6ta-entrega-morfologia-basica-de-un-robot-industrial-educacion-tecnica-continuemos-estudiando-2.pdf>.
- González y Garzón. (2019). **Diseño Y Simulación De Un Gripper Para La Manipulación De Recipientes en la FMS HAS – 200**. Trabajo de Grado. Universidad Distrital - Francisco José de Caldas.
- Goodyear Productos de Ingeniería (s.f). **Correas Pylon Pylon EP**
- Granda, A. (2022). **Propuesta de diseño de un brazo robótico industrial para proceso de soldadura SMAW**. Trabajo de Grado. Universidad José Antonio Páez.
- Grupo Rulmeca (s.f). **Rodillos y componentes para la manipulación a granel**
- Hernández, Fernández y Baptista. (2014). **Metodología de la investigación**. (5ª ed.). México Editorial: Mc. Graw Hill.

- International Federation of Robotics. (2021). Industrial Robots. Recuperado de: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/robot-sales-rise-again>
- ISO. (2021). ISO 8373: **Robots y dispositivos robóticos. Vocabulario** (ISO 8373: Robots and robotic devices – Vocabulary) (3ra ed., Versión 1) [Página de inicio]. Recuperado de: <https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:8373:ed-3:v1:en>.
- Izar. J. y González J. (2004). **Las 7 Herramientas Básicas de la Calidad**. 1era edición. (Capítulo III: El Diagrama de Pareto). Editorial Universitaria Potosina. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/303876853_CAPITULO_IV_41_Diagrama_de_Pareto
- KUKA Iberia, S.A.U (s. f.). **Paletización y despaletización automáticas**. Recuperado de <https://www.kuka.com/es-es/productos-servicios/tecnolog%C3%ADas-de-procesamiento/paletizaci%C3%B3n-autom%C3%A1tica>.
- MARTÍ, E. (1992) **Cuadernos de educación**. Aprender con ordenadores en la escuela. Barcelona, Ice-Horsori.
- Metal Work Iberica S.A (s.f.). **Galería fotográfica**. Recuperado de <https://metalwork.es/componentes-neumaticos/photogallery-0005134.html>
- Metal Work Pneumatic (s.f.). **General Catalogue**. Recuperado de <https://media.metalwork.it/browse/catalogue-eng#page/23>
- Palella, Martins. (2006). **Metodología de la investigación cuantitativa**. 2da Edición. Editorial FEDUPEL. Caracas, Venezuela.
- Pinzón. (2018). **Diseño de un sistema robotizado que permita paletizar el embalaje de jugos en presentación de cajas tetra pack de 200 ml, en la empresa de productos alimenticios Alpina Cauca**. Trabajo de Grado. Universidad autónoma de Occidente.
- Rollers Conveyors S.A. (s.f.). **Transportadores a Granel Equipos para Manejo de Materiales**.
- Sanz. W (2016). **Cinemática de Robots Industriales**. 3ra Edición. Recuperado de: <https://www.amazon.com/-/es/Wilmer-W-Eduardo-Sanz-S/dp/1537424211>

Tamayo, M. y Tamayo (2003). **El proceso de la investigación científica**. Recuperado de https://www.academia.edu/17470765/EL_PROCESO_DE_INVESTIGACION_CIENTIFICA_MARIO_TAMAYO_Y_TAMAYO_1.

Universidad Autónoma de Campeche (s. f). **Cuadro comparativo**

Universidad de San Carlos de Guatemala – Centro Universitario del Norte. (s. f). **Diagrama de Ishikawa**

Vicedo. (2022). **Programación con RobotStudio de robots ABB para la automatización de procesos de clasificación y paletizado**. Trabajo de Fin de Master. Universidad Miguel Hernández de Elche.

ANEXOS

ANEXO A.1



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

INSTRUCCIONES PARA LA GUIA DE ENTREVISTA

- Indique su función dentro de la empresa
- Proceda a leer detenidamente cada una de las preguntas
- Responda de manera objetiva
- En caso de dudas, consulte con la persona encarga de aplicar el cuestionario

Nº	Guión de entrevista
1	Desde su experiencia, ¿Cuáles son los modelos de paleta que se dispone y qué características tiene?
2	Podría describir usted ¿Cómo es la organización de los distintos tipos de producto (cuñete, galón, cuarto de galón) según el modelo de paleta?
3	Siendo usted experto en el objeto de estudio; según el tipo de producto, ¿Qué cantidades se colocan por paleta?
4	Puede usted especificar ¿Cuál es la posición de la paleta al momento del paletizado?
5	Según su experiencia, ¿Cómo funciona la banda plastificadora y para qué es utilizada?
6	Puede usted describir ¿Cuáles son las características que tienen los productos, así como el peso, geometría, tipo de envase, material, entre otros?
7	A partir de su experiencia en el campo industrial referido al proceso de paletizado en la empresa Seven Colors C.A, ¿Puede describir detalladamente el proceso?
8	En base a su experiencia, ¿Cuál es el tiempo promedio estimado para el paletizado de cada tipo de producto?



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CUADRO TÉCNICO METODOLÓGICO

OBJETIVO GENERAL: Proponer un sistema de automatización de paletizado de envases de pintura con un robot industrial en la empresa Seven Colors C.A.

OBJETIVO ESPECÍFICO	VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	ÍTEMS	FUENTE DE INFORMACIÓN
Diagnosticar el proceso actual del paletizado y los elementos que lo componen para su posterior automatización.	Estudio de proceso	Proceso de paletizado	Tipos de productos a paletizar	6	<i>Técnica:</i> Entrevista <i>Instrumento:</i> Guión de entrevista
			Organización de productos	2, 3 y 4	
			Etapas del proceso	1 y 7	
	Estudio de automatización del proceso	Manejo de equipos	Equipos actuales que intervienen en la automatización	5	
		Organización y alcance del espacio	Características del producto	6	
			Tiempo de paletizado	8	

ANEXO A.2



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESTIMADO PROFESOR (A): Alicia de Pizella

Seguidamente se le presenta un guión de entrevista que va dirigido a un panel de expertos de diferentes áreas de trabajo en la Empresa Seven Colors C.A., ubicada en la Zona Industrial La Quizanda, Valencia, Estado Carabobo, para un total de tres (03) personas; las respuestas que se obtendrán de la aplicación de este instrumento de recolección de datos va a permitir dar respuesta al objetivo específico de la investigación, que se denomina: “Diagnosticar el proceso actual del paletizado y los elementos que lo componen para su posterior automatización.”, de tal manera que permita obtener información de una fuente confiable. Por lo que se solicita a usted de sus buenos oficios para la validación de este instrumento dada su formación académica y experiencia en el ramo industrial y académico.

A tal efecto se anexa el cuadro técnico metodológico, el guión de entrevista y el formato de validación.

AUTOR:

Fernández, Ricardo.

C.I.: 27.549.449

TUTOR:

Sanz, Wilmer

C.I.: 7.130.496



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUIÓN DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	X			X		
2	X			X		
3	X			X		
4	X			X		
5	X			X		
6	X			X		
7	X			X		
8	X			X		

Fecha: 4-10/2023


Firma del Especialista:

Breve descripción del perfil académico del Especialista:

Luz Mercedes
Msc Enseñanza de los materiales



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESTIMADO PROFESOR (A): Fredy Barragán

Seguidamente se le presenta un guión de entrevista que va dirigido a un panel de expertos de diferentes áreas de trabajo en la Empresa Seven Colors C.A., ubicada en la Zona Industrial La Quizanda, Valencia, Estado Carabobo, para un total de tres (03) personas; las respuestas que se obtendrán de la aplicación de este instrumento de recolección de datos va a permitir dar respuesta al objetivo específico de la investigación, que se denomina: “Diagnosticar el proceso actual del paletizado y los elementos que lo componen para su posterior automatización.”, de tal manera que permita obtener información de una fuente confiable. Por lo que se solicita a usted de sus buenos oficios para la validación de este instrumento dada su formación académica y experiencia en el ramo industrial y académico.

A tal efecto se anexa el cuadro técnico metodológico, el guión de entrevista y el formato de validación.

AUTOR:

Fernández, Ricardo.

C.I.: 27.549.449

TUTOR:

Sanz, Wilmer

C.I.: 7.130.496



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUIÓN DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados,
anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	✓			✓		
2	✓			✓		
3	✓			✓		
4	✓			✓		
5	✓			✓		
6	✓			✓		
7	✓			✓		
8	✓			✓		

Fecha: 04/10/2023

Firma del Especialista:

Breve descripción del perfil académico del Especialista:	ING. MECÁNICO ESP. EN AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL MSc. EN MANUFACTURA Y MATERIALES Dr. EN EDUCACIÓN
--	--



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESTIMADO PROFESOR (A): Yndira Rodríguez

Seguidamente se le presenta un guión de entrevista que va dirigido a un panel de expertos de diferentes áreas de trabajo en la Empresa Seven Colors C.A., ubicada en la Zona Industrial La Quizanda, Valencia, Estado Carabobo, para un total de tres (03) personas; las respuestas que se obtendrán de la aplicación de este instrumento de recolección de datos va a permitir dar respuesta al objetivo específico de la investigación, que se denomina: “Diagnosticar el proceso actual del paletizado y los elementos que lo componen para su posterior automatización.”, de tal manera que permita obtener información de una fuente confiable. Por lo que se solicita a usted de sus buenos oficios para la validación de este instrumento dada su formación académica y experiencia en el ramo industrial y académico.

A tal efecto se anexa el cuadro técnico metodológico, el guión de entrevista y el formato de validación.

AUTOR:

Fernández, Ricardo.

C.I.: 27.549.449

TUTOR:

Sanz, Wilmer

C.I.: 7.130.496



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUIÓN DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados,
anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	✓			✓		
2	✓			✓		
3	✓			✓		
4	✓			✓		
5	✓			✓		
6	✓			✓		
7	✓			✓		
8	✓			✓		

Fecha: 04 / 10 / 2023


Firma del Especialista:

Breve descripción del perfil académico del Especialista:	Ingeniero Mecánico Dra. en Ciencias de la Educación
--	--

ANEXO B

Ficha técnica Robot FANUC M-410iC/315

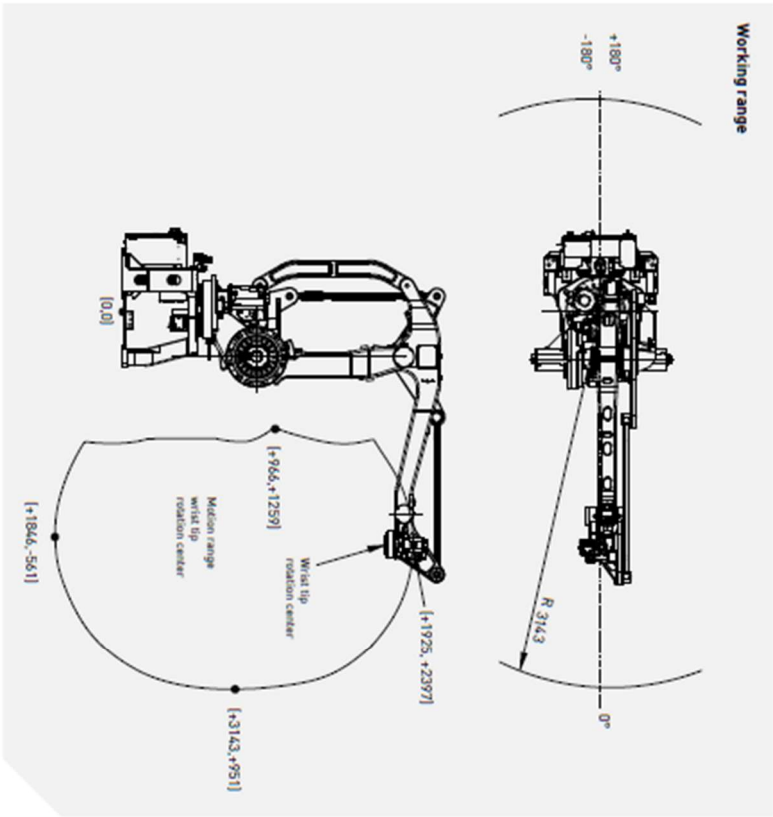
M-410iC/315 (Hollow wrist)																	
Controlled axes	Repeatability (mm)	Mechanical weight (kg)	Motion range [°]						Maximum speed [°/s]						J4 Moment/ Inertia (Nm/kgm²)	J5 Moment/ Inertia (Nm/kgm²)	J6 Moment/ Inertia (Nm/kgm²)
			J1	J2	J3	J4	J5	J6	J1	J2	J3	J4	J5	J6			
4	± 0.5	1600 (1300)	360	144	136	720	-	-	90	100	110	195	-	-	155	-	-
			 Max. load capacity at wrist: 315 kg  Max. reach: 3143 mm														



Max. load capacity
at wrist: **315 kg**



Max. reach:
3143 mm



Robot

Robot footprint (mm)

M-410iC/315
1094 x 945 (806 x 610)

Mounting position Floor

•

Mounting position Upside down

-

Mounting position Angle

-

Controller

R-30iB Plus

Open air cabinet

-

Mate cabinet

-

A-cabinet

-

B-cabinet

0

Pendant touch

-

Electrical connections

Voltage 50/60Hz 3phase [V]

380-575

Voltage 50/60Hz 1phase [V]

1

Average power consumption [kW]

8.8

Integrated services

Integrated signals on upper arm In/Out

1

Integrated air supply

-

Environment

Acoustic noise level [dB]

75.3

Ambient temperature [°C]

0-45

Protection

Body standard/optional

IP54

Wrist & J3 arm standard/optional

IP54

• standard • on request - not available | | with hardware and/or software option

ANEXO C.1

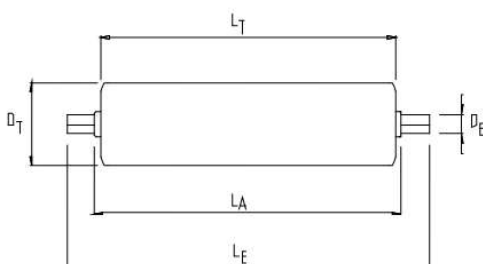
Rodillos manual ROLLERS CONVEYORS

**R
C**



Serie RCL

Los rodillos a gravedad serie RCL se caracterizan por tener una inercia a la rotación bastante baja, lo que facilita el movimiento de cajas o piezas por su propio peso solamente cuando los transportadores presentan cierta inclinación, aunque en ciertos casos es necesario utilizarlos en sistemas accionados mediante colocación de piñones sobre el rodillo, ranuras para bandas o simplemente como soporte de bandas transportadoras.



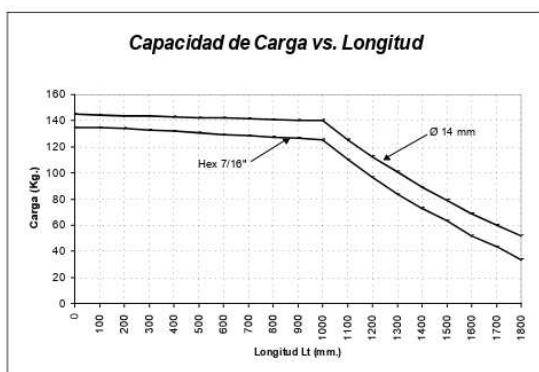
$$L_E = L_T + 40$$

$$L_A = L_T + 8$$

NOMENCLATURA

RCL*DT*LT*DE*LE*LA*R*G

- RCL: Rollers Converyor Light
- DT: Diámetro del tubo (50-60 mm)
- DE: Diámetro del eje (hex 7/16") (12-14 mm)
- LT: Longitud del tubo (mm)
- LE: Longitud del eje (mm)
- E: Espesor del tubo (mm)
- LA: Longitud del anclaje (mm)
- R: Con resorte
- G: Galvanizado



Capacidad de Carga Vs Longitud del Rodillo



Transportador Combinado
Gravedad - Motorizado

MATERIALES DE LOS RODILLOS SERIES RCL

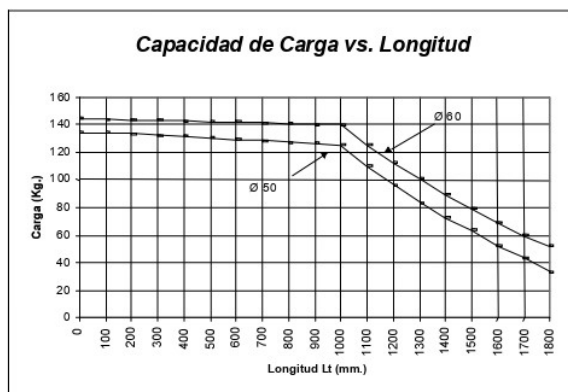
TUBOS: Generalmente se utilizan tubos de acero ASTM A-569 decapado y pulido con espesores de 1,5 - 1,9 - 2,3 - 2,9 mm, el cual le brinda gran resistencia a la carga, también llevan un recubrimiento de galvanizado electrolítico que protege contra la corrosión.

En los casos en que el material a transportar es delicado o contiene agentes químicos, es recomendable nuestros rodillos con recubrimiento de PCV, en su defecto fabricarlo con tubo plástico el cual permite que resista a la flexión, la corrosión, impacto, etc.

EJES: El eje utilizado en nuestros estándares es un acero hexagonal 7/16" trefilado en frío y de calidad C-1020 con ajuste h_9 , aunque nuestros componentes de rodamiento permiten utilizar ejes con diámetros que van desde 8 mm hasta 14 mm según sea el caso.

TAPAS CON RODAMIENTO: Todos los componentes que conforman estas tapas son producidos por nosotros con la utilización de tecnología nacional de altísima calidad, producto de años de estudios y ensayos, obteniéndose rodamientos de alta resistencia, durabilidad y mínima resistencia de arrastre reduciendo la inercia necesaria para el movimiento.

CAPACIDAD DE CARGA VS LONGITUD DEL RODILLO



ANEXO C.2

Bandas Serie EP 80 Goodyear



INFORMACIONES TECNICAS SOBRE LAS CORREAS TRANSPORTADORAS POLIESTER / NYLON

Tipo PLYLON®		EP 160/2	EP 250/3	EP 315/4
Nº de telas		2	3	4
Empalmes mecánicos	Kn/m de ancho	14	21,0	28,0
	lbf/pul de ancho	80	120,0	160,0
Empalmes vulcanizados	Kn/m de ancho	16,0	25,0	32,0
	lbf/pul de ancho	91,0	143,0	183,0
Peso aproximado de la carcasa	kg/m2	2,4	3,6	4,9
	Lb/ft2	0,5	0,7	1,0
Peso de cubierta 1/32 pul.				
Espesor B o Stacker	Kg/m2	0,9	0,9	0,9
Espesor de la carcasa	mm	1,7	2,6	3,5
	pul	0,1	0,1	0,2
Indice de impacto	Lb -pul	2500	3600	4700

Obs.:Para empalmes mecánicos, recomendamos las grampas Flexco, Minet, Farpa, Mastin, Steelace, Haydon y Nilos, apropiadas para el servicio mencionado.

ANCHO MAXIMO DE LA CORREA PARA POLINES DE CARGA HASTA 45 °

Tipo PLYLON®		EP 160/2		EP 250/3		EP 315/4	
Kg/m3	lb/ft3	mm	pul	mm	pul	mm	pul
0-730	0-45	650	26	800	32	900	36
730-1690	45-105	500	20	650	26	800	32
1690-2650	105-165	450	18	600	24	650	26
2650-3300	165-200	350	14	500	20	600	24

5

ANCHO MINIMO DE LA CORREA PARA ACANALAMIENTO SOBRE POLINES

Tipo PLYLON®		EP 160/2		EP 250/3		EP 315/4	
Angulo de los polines		mm	pul	mm	pul	mm	pul
35°		250	10	300	12	450	18
45°		400	16	500	20	600	24

DIAMETRO MINIMO DE LA POLEA MOTRIZ EN FUNCION DE LA TENSION APLICADA

Tipo PLYLON®		EP 160/2		EP 250/3		EP 315/4	
Tensión							
		mm	pul	mm	pul	mm	pul
Más de 80%		300	12	350	14	400	16
Entre 60% y 80%		250	10	300	12	350	14
Entre 40% y 60%		250	10	300	12	350	14
Bajo de 40%		200	8	250	10	300	12
Poleas de cola y contacto		200	8	250	10	300	12

EXTENSION DEL TENSOR RECOMENDADA A PARTIR DE LA DISTANCIA ENTRE CENTROS (%)

Tipo de tensor	Empalmes Mecánicos		Empalmes Vulcanizados (Mecánicos)	
	100% de tensión de trabajo	75% o menos de tensión de trabajo (vulc)	100% de tensión de trabajo	75% o menos de tensión de trabajo
Tornillo	1,5%	1%	2,5%	2%
Automático	1%	1%	1,5%+610mm	1,5%+610mm

ANEXO C.3

Tambores y rodillos manual RULMECA

Tab. 13 - Diámetros mínimos recomendados de los tambores

Carga de rotura de la banda N/mm	Bandas reforzadas con productos textiles DIN 22102			Bandas reforzadas con elemen- tos metálicos ST DIN 22131		
	Ø tambor motriz mm	contra- tambor	desviador	Ø tambor motriz mm	contra- tambor	desviador
200	200	160	125	-	-	-
250	250	200	160	-	-	-
315	315	250	200	-	-	-
400	400	315	250	-	-	-
500	500	400	315	-	-	-
630	630	500	400	-	-	-
800	800	630	500	630	500	315
1000	1000	800	630	630	500	315
1250	1250	1000	800	800	630	400
1600	1400	1250	1000	1000	800	500
2000	-	-	-	1000	800	500
2500	-	-	-	1250	1000	630
3150	-	-	-	1250	1000	630

Diámetros mínimos recomendados para los tambores en mm, hasta el 100% de carga de trabajo máxima recomendada RMBT ISO bis/3654

Tab.16 - Diámetro de los rodillos aconsejado

Ancho banda mm	Para velocidad ≤ 2 m/s			2 ÷ 4 m/s			≥ 4 m/s		
	Ø rodillos mm			Ø rodillos mm			Ø rodillos mm		
500	89			89					
650	89			89	108				
800	89	108		89	108	133	133		
1000	108	133		108	133		133	159	
1200	108	133		108	133	159	133	159	
1400	133	159		133	159		133	159	
1600	133	159		133	159	194	133	159	194
1800	159	159	194	159	194				
2000	159	194		159	194		159	194	
2200 y superior	194			194			194		

En caso de que se indicaran más diámetros, se elegirá en función del tamaño del material y de la dificultad de las condiciones de empleo.

Programa de producción de rodillos PSV

rodillo tipo	diámetro rodillo		diseño básico	espesor del tubo mm	cabezal espesor	diámetro del eje	rodamiento tipo
mm	pulgadas						
PSV 1	63		N	3			
	76	3"	N	3			
	89		N	3			
	102	4"	N	3			
	108		N	3,5	2,5	20	6204 C3
	114	4,5"	N	3,5			
	127	5"	N	4			
	133		N	4			
	140		N	4			

Programa de producción de rodillos de retorno

rodillo base tipo	D		Ø exterior		eje		rodamiento
	mm	s	mm	diseño	d	ch	
PSV 1	63	3	108	NG	20	14	6204
	63	3	133	NG			
	63	3	108	NL, NC			
	89	3	133	NL, NC			
	89	3	152	NL, NC			
	89	3	159	NL, NC			
	108	3,5	180	NL, NC			

ANEXO C.4

Mototambores manual RULMECA



Gama estándar de medidas de Mototambores

Diámetro del tubo	Referencia	Gama de potencia (Kw)	Gama de velocidades (Mtr/seg)
138	138i	0.09 a 1.00	0.05 a 1.25
165	165i	0.15 a 2.2	0.06 a 2.00
216	220M/220H	0.37 a 5.5	0.13 a 2.50
320	320L/320M/320H	0.75 a 7.5	0.13 a 2.50
400	400L/400M/400H	2.2 a 15.0	0.16 a 3.15
500	500L/500M/500H	2.2 a 22.0	0.20 a 3.15
630	630M/630H	5.5 a 55.0	0.63 a 4.00
800	800M/800H/800D	22.0 a 132.0	1.00 a 4.50
1000	1000HD	160.0 a 250.0	2.50 a 5.50

Por favor contacten con Rulmeca para otras opciones y les damos a conocer las siguientes:

- Recubrimiento de caucho o cerámico
- Opciones sin óxido y en acero inoxidable
- Frenos y antiretornos
- Exigencias especiales eléctricas y de temperatura
- Cualquier otro entorno o aplicaciones que quiera tener en cuenta.

Para más detalles sobre tipos y estilos, por favor soliciten nuestro catálogo general "Mototambores" a nuestra Compañía Rulmeca local o descárguelo desde nuestra web site www.rulmeca.com

ANEXO D

Planos de la herramienta de trabajo del robot

