



Acta de Correcciones al Proyecto de Grado Ingeniería Electrónica

Fecha: Febrero 17 de 2023

Autor: Allison Giseth García Garzón

Nombre del Proyecto de Grado: Propuesta De Automatización Del Proceso De Alistamiento Y Empaque De Pucks De Fibra Sintética

Director: Juan David Contreras
Codirector: Alexánder Martínez

Como indica el artículo 2.27 de las Directrices de Trabajo de Grado, he verificado que la estudiante indicada arriba ha implementado todas las correcciones que los Jurados del Proyecto de Grado definieron que se efectuaran, como consta en el Acta de Calificación correspondiente.

MSc. Juan David Contreras
Director Trabajo de Grado

Dr. Alexánder Martínez
Codirector Trabajo de Grado



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

Facultad de Ingeniería
y Ciencias
Ingeniería Electrónica

Monografía De Trabajo De Grado

Propuesta de automatización del proceso de alistamiento y empaque de pucks de fibra sintética

Allison Giseth García Garzón

Director

Juan David Contreras

Codirector

Alexánder Martínez

10 de Enero de 2023

Nota de Aceptación

Aprobado por el Comité de Trabajo de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana para optar al título de Ingeniero Electrónico.

Camilo Rocha

Dr. Hernán Camilo Rocha Niño

Decano Facultad de Ingeniería y Ciencias

[Handwritten Signature]

Dr. Luis Eduardo Tobón Llano

Director Carrera Ingeniería Electrónica

[Handwritten Signature]

MSc. Juan David Contreras

Director Trabajo de Grado

Alexander Martinez A

Dr. Alexánder Martínez

Co-Director Trabajo de Grado

JUAN MANUEL NOGALES V

Dr. Juan Manuel Nogales

Jurado 1

J. A. S. Plata

Prof. Simón Plata

Jurado 2

Santiago de Cali, 10 de Enero de 2023

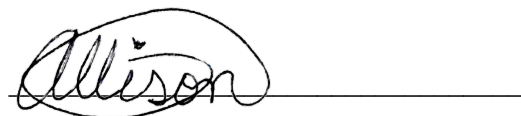
Señores
Pontificia Universidad Javeriana – Cali
Dr. Hernán Camilo Rocha Niño
Decano
Facultad de Ingeniería y Ciencias
Ciudad

Cordial Saludo.

Por medio de la presente me permito presentarle el Trabajo de Grado titulado “Propuesta de automatización del proceso de alistamiento y empaque de pucks de fibra sintética”.

Espero que este trabajo reúna todos los requisitos académicos, cumpla el propósito para el cual fue creado y sirva de apoyo para futuros proyectos relacionados con la materia.

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, reading "Allison", is written over a horizontal line. The signature is cursive and includes a small heart symbol above the letter 'i'.

Allison Giseth García Garzón

Código: 8938575

Santiago de Cali, 10 de Enero de 2023

Señores
Pontificia Universidad Javeriana – Cali
Dr. Hernán Camilo Rocha Niño
Decano
Facultad de Ingeniería y Ciencias
Ciudad


Cordial Saludo.

Certificamos que el presente Trabajo de Grado titulado “Propuesta de automatización del proceso de alistamiento y empaque de pucks de fibra sintética”, realizado por Allison Giseth García Garzón, estudiante de Ingeniería Electrónica, se encuentra terminado y puede ser presentado para su sustentación.

Atentamente,



MSc. Juan David Contreras
Director Trabajo de Grado



Dr. Alexander Martínez
Co-Director Trabajo de Grado

Agradecimientos

Quiero agradecerle a Dios por permitirme estudiar esta ingeniería, por darme la fortaleza y la sabiduría para aprender y acabarla con excelentes resultados. A mi mamá y mi papá por motivarme y ayudarme en el camino, por escuchar mis dudas y ayudarme a solucionarlas con lo que sabían y podían. A mi hermanito por estar pendiente y sacar a Ellie cuando la carrera consumía casi todo mi tiempo. A Mike por estar a mi lado cuando las cosas estaban bien y cuando la frustración me ganaba, por ser mi compañero de estudio y sacarme una sonrisa incluso en los días de estrés. A Juli por entenderme, por compartirme los apuntes cuando no alcanzaba a anotar algo y por las sesiones de estudio con los tres mosqueteros. A mi director de carrera por guiarme en la toma de decisiones y ayudarme con las dificultades. A mi director de tesis por tenerme paciencia, por motivarme a acabar el trabajo de grado y por guiarme cuando no estaba segura de los pasos siguientes del proyecto. A mi codirector por corregirme el documento detalladamente y darle importancia y atención a mi proyecto. A mis compañeros de universidad, por hacer de estos años un bonito recuerdo para mí y por enseñarme tantas cosas con sus diferentes personalidades. Finalmente, me agradezco a mí misma por seguir luchando y perseverando ante las adversidades y por todo lo que hice y aprendí en la universidad.

Glosario

Acrónimos y Abreviaturas

| | |
|------|------------------------------------------------------|
| IEEE | The Institute of Electrical and Electronic Engineers |
| IoT | Internet of Things |
| CAD | Computer-Aided Design |
| DOF | Degree of Freedom |

Términos

| | |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Wizard | Asistente de instalación que permite configurar los pasos a seguir para un determinado proceso |
| Pick | Hace parte del proceso de pick and place e indica la acción de coger la pieza para partir al place |
| Place | Hace parte del proceso de pick and place e indica la acción de colocar o dejar la pieza que ha cogido |
| Encoder | Dispositivo de detección que convierte movimiento en señales eléctricas |
| CAD | Modelos bidimensionales y tridimensionales de objetos físicos |
| Parent | Es el objeto al que está asociado cierto elemento, el elemento asociado a un parent tiene el sistema de referencia de este y se mueve cuando el parent lo hace |
| Layout | La disposición o ubicación de los objetos en el espacio |

Resumen

Este documento describe el desarrollo de un trabajo de grado con el objetivo de presentar una propuesta de automatización del proceso de alistamiento y empaque de pucks de fibra sintética utilizando los robots eCOBRA 600 y VIPER 850. Se busca que el producto final sea implementado en una línea de producción, con el fin de evitar que los trabajadores que actualmente conformen la línea sufran consecuencias en su salud por culpa de los movimientos repetitivos que deben realizar al organizar este material y así mismo aumentar la productividad de la empresa.

Cabe resaltar que el alcance de este proyecto fue la implementación de la propuesta en un ambiente de simulación. El diseño y síntesis del producto trabajó en la evolución a partir de los productos actuales en el mercado y en los reportados en la literatura científica sobre dispositivos utilizados en las cadenas de producción para aplicarlos a los robots eCobra 600 y Viper 850.

La metodología que se utilizó en este proyecto fue de campo o laboratorio, que está aplicada a comprender y resolver alguna situación, necesidad o problema en un contexto determinado [1]. En este caso, se llegó únicamente hasta la etapa de simulación y evaluación en un ambiente controlado.

La aplicación planteada entregó resultados positivos, ya que aumentó la productividad al aumentar el número de pucks que se recogen por minuto y el número de cajas que salen por minuto también, debido a que el robot eCobra aumentó la productividad en un 74,15% y el robot Viper en 86,75% lo que demuestra que es benéfico para la empresa contar con esta aplicación gracias a que puede aumentar su rentabilidad y cuidar la salud de los trabajadores al no realizar labores repetitivas.

Palabras clave: Automatización, línea de producción, industria, final de cadena de producción, robótica.

Abstract

This document describes the development of a project with the objective of presenting a proposal for the automation of the preparation and packing process of synthetic fiber pucks using the eCOBRA 600 and VIPER 850 robots. The final product is intended to be implemented in a production line, in order to prevent the workers who currently work at the line from suffering health consequences due to the repetitive movements they must make when organizing this material and also increase the productivity of the company.

It should be noted that this project's scope was the implementation of the proposal in a simulation environment. The design and synthesis of the product worked on the evolution from the current products on the market and on those reported in the scientific literature on devices used in supply chains to apply them to the eCobra 600 and Viper 850 robots.

The methodology used in this project was field or laboratory type, which is applied to understand and solve a situation, need, or problem in a given context [1]. In this case, only the simulation and evaluation stages were reached in a controlled environment.

The proposed application delivered positive results since it increased productivity by increasing the number of pucks that were collected per minute and the number of boxes that came out per minute as well, since the eCobra robot increased productivity by 74.15% and the Viper robot by 86.75%, which shows that it is beneficial for the company to have this application since it can increase its profitability and take care of the health of workers by not performing repetitive tasks.

Keywords: Automation, production line, industry, supply chain end, robotics.

Índice general

| | |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| Resumen | 9 |
| Abstract..... | 10 |
| 1. Introducción | 17 |
| 1.1. Planteamiento del problema | 19 |
| 1.2. Objetivos | 20 |
| 1.2.1. Objetivo General | 20 |
| 1.2.2. Objetivos Específicos | 20 |
| 1.3. Justificación..... | 20 |
| 1.4. Antecedentes | 22 |
| 2. Marco de Referencia | 26 |
| 2.1. Áreas Temáticas | 26 |
| 2.2. Marco Teórico..... | 26 |
| 2.2.1. Proceso productivo..... | 26 |
| 2.2.2. Línea de Producción y finales de línea..... | 27 |
| 2.2.3. Robot Industrial..... | 28 |
| 2.2.4. Robot eCOBRA 600..... | 29 |
| 2.2.5. Robot VIPER 850..... | 29 |
| 3. Definición de requisitos | 31 |
| 3.1. Descripción de piezas..... | 31 |
| 3.2. Layout | 32 |
| 3.3. Requisitos de velocidad..... | 32 |
| 3.4. Requisitos funcionales..... | 33 |
| 3.5. Requisitos técnicos de los robots | 33 |
| 4. Diseño de la solución..... | 34 |
| 4.1. Verificación de las características técnicas de los robots | 34 |
| 4.2. Volumen de trabajo de los Robots | 36 |
| 4.2.1. Robot eCobra 600..... | 37 |
| 4.2.2. Robot Viper 850..... | 39 |
| 4.3. Análisis de riesgo | 40 |

| | | |
|------------|--------------------------------------------|-----------|
| 4.4. | Diseño del nuevo layout..... | 44 |
| 4.5. | Control de bandas transportadoras | 47 |
| 4.5.1. | Diseño electrónico..... | 47 |
| 4.6. | Integración..... | 50 |
| 4.6.1. | Diagrama de componentes | 50 |
| 4.6.2. | Descripción de la integración..... | 50 |
| 5. | Simulación | 53 |
| 6. | Evaluación | 65 |
| 6.1. | Análisis socioeconómico..... | 70 |
| 6.2. | Implementación parcial de la solución..... | 74 |
| 7. | Conclusiones..... | 75 |
| 8. | Recomendaciones | 77 |
| 9. | Anexos | 78 |
| 10. | Bibliografía | 79 |

Índice de tablas

| | |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Velocidad robot eCobra. Fuente: [33] | 35 |
| Tabla 2. Velocidad robot Viper 850. Fuente: [34] | 36 |
| Tabla 3. Costos materiales y mano de obra | 70 |
| Tabla 4. Costo total del proyecto | 70 |
| Tabla 5. Datos de producción manual | 71 |
| Tabla 6. Datos del proyecto | 71 |
| Tabla 7. Costo total operarios | 72 |
| Tabla 8. Datos producción de robots en dos turnos por día | 73 |

Índice de figuras

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Final de línea manual. [39]..... | 27 |
| Figura 2. Final de línea automatizado. [40]..... | 27 |
| Figura 3. Robot eCobra 600. [33]..... | 29 |
| Figura 4. Movimientos de articulaciones robóticas. [33] | 29 |
| Figura 5. Robot Viper 850. [34] | 30 |
| Figura 6. Dimensiones de la vista lateral del robot Viper 850 (unidades en mm). [34]..... | 30 |
| Figura 7. Proceso manual. Fuente: elaboración propia | 31 |
| Figura 8. Puck de fibra sintética. Fuente: elaboración propia | 31 |
| Figura 9. Arreglo de Pucks en la caja. Fuente: elaboración propia | 31 |
| Figura 10. Layout inicial. Fuente: elaboración propia..... | 32 |
| Figura 11. Desplazamiento en Z. Fuente: elaboración propia..... | 34 |
| Figura 12. Desplazamiento en X. Fuente: elaboración propia | 34 |
| Figura 13. Desplazamiento en Y. Fuente: elaboración propia | 35 |
| Figura 14. Desplazamiento en Theta. Fuente: elaboración propia | 35 |
| Figura 15. Dimensiones del robot (en mm). [33] | 38 |
| Figura 16. Área de trabajo dibujo. [33] | 38 |
| Figura 17. Área de trabajo simulada. Fuente: elaboración propia..... | 39 |
| Figura 18. Dimensiones del robot (en mm). [34] | 39 |
| Figura 19. Área de trabajo dibujo. [34] | 40 |
| Figura 20. Área de trabajo simulada. Fuente: elaboración propia..... | 40 |
| Figura 21. Distancia de frenado en mm del eCobra 600. [33]..... | 41 |
| Figura 22. Tiempo de frenado en segundos del eCobra 600. [33]..... | 42 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 23. Distancia de frenado en mm del Viper 850. [34] | 42 |
| Figura 24. Tiempo de frenado en segundos del Viper 850. [34] | 43 |
| Figura 25. Diseño de la distribución del robot eCobra 600. Fuente: elaboración propia | 45 |
| Figura 26. Propuesta de distribución de los robots en la celda. Fuente: elaboración propia | 45 |
| Figura 27. Proceso de los pucks. Fuente: elaboración propia | 46 |
| Figura 28. Gripper Viper. Fuente: elaboración propia | 47 |
| Figura 29. Componente fuerza puck. Fuente: elaboración propia..... | 47 |
| Figura 30. Altura y distancia banda. Fuente: elaboración propia | 47 |
| Figura 31. Componentes de un vector. Fuente: elaboración propia | 48 |
| Figura 32. Diagrama de componentes. Fuente: elaboración propia | 50 |
| Figura 33. Ubicación sensores banda 2. Fuente: elaboración propia | 51 |
| Figura 34. Sensor banda 3. Fuente: elaboración propia | 52 |
| Figura 35. Primera fase. Fuente: elaboración propia..... | 53 |
| Figura 36. Ubicación robots. Fuente: elaboración propia | 54 |
| Figura 37. Configuración banda pick. Fuente: elaboración propia | 55 |
| Figura 38. Configuración pallet. Fuente: elaboración propia..... | 55 |
| Figura 39. Posiciones (a) Pallet origen (b) Primera ranura (c) Pallet +Y (d) Pallet +X. Fuente: elaboración propia | 56 |
| Figura 40. Visualización robots. Fuente: elaboración propia..... | 56 |
| Figura 41. Banda del place. Fuente: elaboración propia | 57 |
| Figura 42. Estructura banda. Fuente: elaboración propia..... | 57 |
| Figura 43. Entorno para simulación con robots y elementos. Fuente: elaboración propia .. | 58 |
| Figura 44. Integración componentes. Fuente: elaboración propia..... | 58 |
| Figura 45. Configuración E/S. Fuente: elaboración propia | 59 |
| Figura 46. Programa pick_viper. Fuente: elaboración propia | 59 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 47. Variable pallet. Fuente: elaboración propia | 60 |
| Figura 48. Cambio de estado pallet. Fuente: elaboración propia | 60 |
| Figura 49. Pallet en el PLC. Fuente: elaboración propia..... | 61 |
| Figura 50. Velocidades y distancia banda eCobra. Fuente: elaboración propia..... | 61 |
| Figura 51. Programa place_viper. Fuente: elaboración propia..... | 62 |
| Figura 52. Variable viperpuck. Fuente: elaboración propia | 62 |
| Figura 53. Reset valores pallet. Fuente: elaboración propia..... | 62 |
| Figura 54. Index pucks. Fuente: elaboración propia | 63 |
| Figura 55. Integración PLC y viperpuck. Fuente: elaboración propia | 63 |
| Figura 56. Velocidades y distancias banda Viper. Fuente: elaboración propia..... | 64 |
| Figura 57. Tabla de estadísticas. Fuente: elaboración propia..... | 65 |
| Figura 58. Cuatro minutos de simulación con robots al 80%. Fuente: elaboración propia.. | 66 |
| Figura 59. Ocho minutos de simulación con robots al 80%. Fuente: elaboración propia | 67 |
| Figura 60. Cinco minutos de simulación con robots al 90%. Fuente: elaboración propia ... | 68 |
| Figura 61. Diez minutos de simulación con robots al 90%. Fuente: elaboración propia | 68 |
| Figura 62. 14 minutos de simulación con robots al 90%. Fuente: elaboración propia..... | 69 |

Introducción

El concepto de automatización está enfocado en una disciplina de control que se basa en el uso de sistemas electromecánicos para controlar de forma automatizada diversos procesos industriales. Abarca control, sistemas digitales, supervisión, gestión de datos, accionamientos, instrumentación, comunicaciones, producción, interacciones y muchos otros. Este ha tenido un gran impacto en el área industrial, mecánica, informática, máquinas y programables. Una de sus principales características es que debe ser capaz de controlar efectivamente el conjunto de posibles eventos previstos frente a posibles ocurrencias; buscando siempre lograr la situación más favorable según la determinación de recursos asignados [2].

Una línea de producción consiste en la organización de un proceso que tiene una serie de operaciones secuenciales que permiten un montaje en serie dividido en diversas etapas o fases [3]. Estas etapas permiten realizar los productos desde el inicio (materia prima) y transformarlo en un producto final. Además, permite fabricar productos en cantidad. La línea de producción se remonta a la Revolución Industrial ocurrida a mediados del siglo XVIII, pues en aquella época se buscaba optimizar los tiempos de producción, así como bajar los costos y fue en ese periodo cuando se incorporaron las primeras líneas en las fábricas e industrias de la época [4]. Seguidamente, la función de la línea era posicionar las máquinas de forma alineada para asignarle a los empleados áreas de trabajo con tareas puntuales, marcar un área de inicio, un área de fin y analizar el tipo de producto que se iba a generar en la línea para adecuar la maquinaria [4].

Una parte fundamental que se debe tener en cuenta en una línea de producción es que obliga a las personas a realizar tareas repetitivas que a largo plazo pueden afectar la salud. Se entiende como tareas repetitivas un grupo de movimientos continuos mantenidos durante un trabajo. Esto implica la acción conjunta de los músculos, los huesos, las articulaciones y los nervios de una parte del cuerpo lo que provoca en esta misma zona fatiga muscular, sobrecarga, dolor y, por último, lesión [5]. Las consecuencias son no solo físicas sino también mentales, ya que se generan trastornos musculoesqueléticos y estrés laboral que impactan en gran medida el funcionamiento de la persona en la labor. De acuerdo con lo anterior, es posible inferir que hay una necesidad de contar con un producto para la automatización de estas tareas repetitivas ya que evita que los trabajadores sufran las consecuencias de salud además de ser una contribución a la productividad de las empresas.

Los robots industriales brindan esa capacidad de automatización. Estos robots consisten en un manipulador mecánico multifuncional que se puede programar y se caracterizan por tener desde tres hasta siete ejes en función del modelo y del tipo aplicación a la que va a ser destinado. Adicionalmente, son controlados de manera automática, son reprogramables con varios grados de libertad, se pueden crear secuencias de trabajo, trayectorias y además pueden incorporar diferentes tipos de sensores o de fuerza en función de la aplicación [6].

En una fábrica o industria se realizan diferentes tipos de procesos, como la transformación de la materia prima en productos, las revisiones de calidad, el empaque del producto o el transporte. Cada proceso tiene sus complicaciones y alguna forma de automatizarlo para aumentar productividad en la empresa. De esta forma, en la etapa de empaque se tienen diversos problemas donde uno de ellos es que hay productos que caen desordenados a las bandas transportadora, por ende, no pueden ser empacados justo cuando caen a la banda ya que no estarían organizados de la forma más eficaz en la que podrían llenar el espacio con la mayor cantidad de productos o de una forma en la que se facilite su transporte. Por lo que se hace necesario encontrar una forma en la que se puedan acomodar los productos y empacarlos, con el fin de automatizar el proceso, evitar que algunos funcionarios deban estar presentes en esta parte básica del proceso y mejorar la productividad de la empresa.

Es así como en el presente trabajo se desarrolló el diseño y simulación de la automatización del proceso de final de línea con dos robots. No se considera el montaje en la planta real ya que, aunque se cuenta con los robots físicamente, la planta está ubicada en otro país, por lo tanto, se entrega la propuesta en un software de automatización industrial. De esta forma se soluciona el problema de las tareas repetitivas en este tipo de casos y se aumenta la productividad de la empresa, cuidando la salud de los trabajadores, evitándoles consecuencias perjudiciales sobre su movilidad y su cuerpo a futuro y ayudándole a la empresa a crecer al entregarle tecnología de automatización, con lo que de una u otra forma también puede ayudarle indirectamente a la misma a posicionarse en el mercado.

Así mismo, se cubre la etapa del proceso del diseño y selección, evaluando la factibilidad en cuanto a productividad y costos de implementación y producción al analizar los componentes que se deben utilizar según las necesidades y requerimientos, generando la propuesta tanto económica como simulada de la automatización del proceso de alistamiento y empaque.

Para la aplicación se propone utilizar el robot tipo SCARA de Adept OMRON referencia eCobra 600 ya que se caracterizan por trabajar a grandes velocidades en las aplicaciones de Pick & Place y ensamblaje y hay numerosos sectores que se benefician de las prestaciones que presentan estos robots [7]. A su vez también se cuenta con el robot Viper 850 de tipo antropomórfico, por lo que se puede usar en aplicaciones de menor velocidad pero mayor volumen y versatilidad del movimiento, tales como el proceso de empaque. Adicionalmente, estos robots ofrecen flexibilidad debido a la amplia gama de tareas que pueden realizar como la soldadura por arco, el procesamiento de materiales, el ensamblaje, la transición de componentes, el Pick & Place, el empaque, el llenado del sistema, el paletizado, entre otros [8]. De acuerdo con lo anterior, la combinación de estos robots es ideal para automatizar finales de línea ya que se pueden ajustar a las necesidades típicas de estos procesos.

Considerando que los materiales pueden llegar desacomodados y los productos pueden tener formas diferentes, es conveniente utilizar algún dispositivo que ayude en su posterior empaque, para esta aplicación se utilizó una cámara que permitiera observar la forma en la que venían los elementos y así mismo el robot supiera cómo cogerlos y ubicarlos. En el caso de este proyecto, se trabajó en la aplicación de pucks de fibra sintética, el cual es un material utilizado para realizar el cemento y que se agrupa de forma cilíndrica.

El presente trabajo empieza con un contexto del problema o planteamiento, una justificación del problema para entender su necesidad, los antecedentes sobre el tema y unos objetivos que permitan darle forma a la solución. Posteriormente se entrega un marco de referencia donde se presenta el área teórica. Más adelante se exponen los requisitos de la solución y el diseño de la misma, seguido de una explicación sobre cómo se realizó la simulación. Tras la explicación, se realiza una evaluación sobre los resultados y se concluye sobre el proyecto. Finalmente, se dan unas recomendaciones y se presentan los anexos y la bibliografía.

1.1. Planteamiento del problema

En las líneas de producción de las industrias, los trabajadores deben realizar numerosas actividades donde adoptan posturas forzadas. Estas son comunes en trabajos en bipedestación, sedestación prolongada, talleres de reparación, centros de montaje mecánico, etc., pudiendo dar lugar a lesiones musculoesqueléticas. Los efectos van desde ligeras molestias hasta incapacidad [9]. Estas tareas se pueden encontrar durante todo el proceso de producción, desde el inicio hasta el empaque de los productos, por lo que es necesario tener un enfoque en las diferentes áreas que lo conforman.

Las posturas no ergonómicas en numerosas ocasiones originan trastornos musculoesqueléticos. Estas molestias musculoesqueléticas son de aparición lenta y de carácter inofensivo en apariencia, por lo que se suele ignorar el síntoma hasta que se hace crónico y aparece el daño permanente; se localizan fundamentalmente en el tejido conectivo, sobre todo en tendones y sus vainas, y pueden también dañar o irritar los nervios, o impedir el flujo sanguíneo a través de venas y arterias. Son frecuentes en la zona de hombros y cuello [10].

Según Becerra, et al en [11], estos trastornos de origen laboral constituyen una de las principales causas de enfermedad relacionadas con el trabajo. “En Europa el 24% de los trabajadores afirma sufrir dolor de espalda y el 22,8% se queja de dolores musculares. La repercusión de los problemas musculoesqueléticos no sólo afecta a la calidad de vida de los trabajadores, sino que, además, suponen un importante coste social: prestaciones económicas por incapacidad temporal o permanente, gastos hospitalarios, consultas médicas, prestación farmacéutica, entre otros”.

En la industria de pucks de fibra sintética se tiene el problema de que este material está compacto en forma de cilindro y cuando cae a la banda transportadora en la línea de alistamiento y empaque, llega de forma desorganizada, por lo que debe haber unos operarios que acomoden este material para que siga el proceso de forma ordenada y pueda ser empacado posteriormente.

Por otra parte, el error humano puede generar complicaciones en el proceso de producción y según Anita Schjøll Brede, CEO y cofundadora de Iris.ai, una de las startup de inteligencia

artificial más innovadoras de 2017 según Fast Company [12], la inteligencia artificial y las máquinas tienen un margen de error de tan solo 3% mientras que los humanos lo tienen del 5% por lo que al día de hoy, son mejores que nosotros y por ende se puede afirmar que hacer uso de robots industriales disminuye la cantidad de errores en el proceso, disminuyendo a su vez costos y aumentando la productividad de la empresa. De esta forma se puede entender que la automatización de los procesos les brinda a las empresas que trabajan con alistamiento y empaque, ventajas que les permiten ser más competitivas en el mercado ya que pueden producir más productos, en menos tiempo, a un menor costo y por ende ser una mejor opción para sus clientes al ofrecer buenos precios gracias a su proceso de producción.

Por lo tanto, en este proyecto se trabaja con dos robots que ya están físicamente en una planta en Cali, los cuales son el eCobra 600 y el Viper 850. El caso de estudio se busca trabajar basándose en la disponibilidad de los robots que tiene una empresa de Cali, que en este caso no estaban siendo utilizados y por lo tanto se presenta la oportunidad de ser aprovechados sin incurrir en la adquisición de nuevos equipos.

1.2. Objetivos

Para resolver el problema planteado anteriormente se han propuesto los siguientes objetivos.

1.2.1. Objetivo General

Desarrollar la simulación de automatización donde los robots eCobra y Viper ejecuten las rutinas de alistamiento y empaque de pucks de fibra sintética en una línea de producción.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar el proceso de alistamiento y empaque según las características de un caso de estudio.
- Diseñar una propuesta de automatización del proceso de alistamiento y empaque integrando los robots eCOBRA 600 y VIPER 850.
- Implementar la propuesta en un software de simulación para robots industriales.
- Evaluar socioeconómicamente la solución propuesta.

1.3. Justificación

La automatización influye directamente en la compañía que la implementa, así como en el país en el que se opera, lo que genera un beneficio mutuo que promueve el crecimiento estructural de la compañía y le genera una ventaja competitiva [13]. Es así como se puede apreciar que es una buena elección para las empresas que cuentan con procedimientos de alistamiento y empaque, automatizar sus procesos.

A nivel mundial, más de la mitad de las empresas (56%) en una encuesta realizada por el International Business Report (IBR), dijo que ya se encuentran automatizando prácticas comerciales o planean hacerlo en los próximos 12 meses. En Latinoamérica, la cifra difiere sólo en México donde 80% de los negocios sostuvo que ya se encuentran automatizando prácticas comerciales o planean hacerlo en los próximos 12 meses. Argentina y Brasil se mostraron alineados a la tendencia global, con un 54% y 48% respectivamente. Por otro lado, la productividad de las empresas de EE. UU. que utilizan intensivamente IT (Innovación Tecnológica) llegó a crecer más del 4% en 2003 cuando habían crecido, desde principios de los 90, menos del 1%. En dicho año las empresas tecnológicas de producción de IT crecían al 15% y las que no eran intensivas en IT al 12% [13]. A partir de lo anterior se puede apreciar cómo las empresas mejoran al implementar automatización en sus procesos, por lo que se demuestra la ventaja real que conlleva esta implementación en la empresa planteada inicialmente, la cual también puede mejorar sus cifras de productividad como en los estudios mencionados.

En cuanto a la automatización de tareas repetitivas, se aprecia que permite a los trabajadores que las realizaban de un modo manual, dedicarse a otras funciones con mayor valor añadido, realizando actividades menos monótonas, con más valor, que no impliquen tanto esfuerzo físico y, sobre todo, más seguras [14]. De esta forma se puede entender que se cuida la salud de los trabajadores de la empresa, ya que se evita que sufran los temidos trastornos musculoesqueléticos por la realización de estas tareas. Adicionalmente, les permiten de una u otra forma crecer con la empresa ya que, al ocuparlos con tareas de mayor valor añadido, pueden expresar ideas de crecimiento que benefician a todos, exponer sus ideas o pertenecer a áreas de desarrollo.

Por otra parte, según distintas empresas como Sure Controls y Big Sky Engineering y la Enciclopedia Británica (en su artículo Advantages and disadvantages of automation) [15], las organizaciones implementan un sistema de automatización porque les aporta ventajas como tener un control y monitoreo adaptativo en diferentes etapas y procesos industriales que les permite eliminar el error humano, mejorando la calidad del trabajo; una mayor consistencia por el ritmo constante y continuo con el que se trabaja, logrando mayor duración, estabilidad y solidez de los procesos; sistemas automatizados que ofrecen flexibilidad ya que solo se debe reprogramar al robot si se quiere cambiar a otra tarea, ahorrando tiempo al no tener que capacitar y entrenar a las personas para que las realicen, entre otros. Nuevamente, se evidencia la cantidad de beneficios que se obtienen al automatizar los procesos industriales en una empresa de este estilo.

Por otro lado, las herramientas que se utilizan para automatizar un proyecto son altamente importantes en el sentido que permiten ahorrar tiempo y esfuerzo innecesario al utilizarlas adecuadamente. Esto quiere decir, que utilizar una herramienta de simulación para plantear la automatización, en vez de saltar directamente a una implementación física, ayuda a

realizar cambios rápidos y evaluaciones con diferentes variables que permitan obtener los resultados más eficientes sin necesidad de invertir dinero en partes o artículos que aún no se sabe si serán útiles. Realizar este proyecto por medio de un software de simulación, permite conocer la integración de los componentes de primera mano y darse cuenta del funcionamiento de las diferentes partes mientras trabajan a la misma vez, por lo que se puede conocer el tiempo de respuesta esperado y calcular el valor de la productividad.

1.4. Antecedentes

Con el fin de conocer más sobre el tema y saber qué se ha hecho para solucionar esta problemática, se realizó una investigación sobre los trabajos similares que puedan servir como aporte al trabajo actual. Para esta búsqueda, se hizo uso de las palabras clave y las bases de datos proporcionadas por la universidad. Adicionalmente, la investigación se enfocó o direccionó a medida que iba avanzando el proyecto, ya que primeramente se investigó sobre la automatización en las industrias, ventajas, implementaciones y robots. Posteriormente se investigó sobre artículos que hablaban de automatización con inteligencia artificial, optimización y empaquetado con brazos robóticos. Por último, se investigó cómo funciona la integración de la visión o cámaras en los robots industriales para las bandas de producción.

En primer lugar, se realizó una búsqueda teórica donde se encontraron las bases sobre automatización industrial, las ventajas que ofrece, algunos desafíos que enfrenta y las implementaciones con los robots. En “Control System Design of a Case Packing Robot Based on Simotion” [16] se plantea el diseño de un robot paralelo de alta velocidad con tres grados de libertad de traslación basado en el mecanismo Delta, así como una empacadora de cajas basada en este robot que integra la apertura de cajas, el empaque, el sellado y algunas otras funciones. En cuanto a las ventajas de la automatización, en “Study on Integrated Supply Chain System for Logistics Enterprises” [17] se explica que la integración de procesos en la cadena de producción hace un uso completo de las fortalezas de cada empresa cooperativa logrando sinergias y permitiéndole ser un sistema muy inteligente. Adicionalmente, las empresas de logística deben ser capaces de hacer una estrategia de cadena de suministro sólida a nivel internacional, reingeniarse los procesos comerciales, la integración de tecnología y la gestión eficaz de los recursos humanos; así como tener la capacidad de administrar varios proveedores de servicios logísticos simultáneamente. Como ventaja está que agrega valor y aumenta las ganancias de una sola empresa clasificando este objetivo en tres partes, que son: el control de costos, la satisfacción del cliente y la eficiencia de la operación. Estos dos artículos son pertinentes para el desarrollo de este proyecto ya que permiten entender la importancia de la automatización y las ventajas que esta presenta, lo que permite generar argumentos con respecto a la implementación de los robots en una cadena de producción y el reemplazo de los trabajadores para que se ocupen de otras tareas.

Posteriormente, se realizó la investigación sobre el uso de la automatización con inteligencia artificial. En “Optimizing Supply Chain through Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI)” [18] se analizan las ventajas de combinar la automatización con la inteligencia artificial, así como servir de ayuda a la hora de tomar decisiones o mejorar el

sistema de la cadena de suministro y aumentar la transparencia. Mencionan también que se presentan algunos obstáculos en las asociaciones en medio de IoT y configuraciones logísticas, como la percepción de la cadena de suministro y la distribución de productos básicos en la capacidad precisa, en la etapa exacta, en la posición precisa, en el orden real y en el gasto exacto. Así mismo ofrecen un ejemplo de tecnología aplicada en manejo de la cadena de producción, consta de componentes de detección, procesamiento y aprendizaje. Los sistemas que utilizan IA (como Big Data Analytics y Machine Learning) permiten que la gestión de la cadena de suministro vaya más allá de la gestión transaccional, lo que permite una gestión de la cadena de suministro más integral, compleja y racional. En “The Global Supply Chain Is Our New Fab: Integration and Automation Challenges” [19] se presentan algunos retos que deben superar las empresas cuando se introducen en el mundo de la automatización. Por un lado, mencionan que una adquisición de datos completamente automatizada es un requisito previo para poder manejar la importante cantidad de datos que se necesitan y que los métodos SPC (Control Estadístico de Procesos) y APC (Control Avanzado de Procesos) son parte de un enfoque que permite especificar y mejorar las métricas de calidad de aplicación general. Y por el otro dicen que el principal reto ocurre cuando se requiere un procesamiento flexible, ya que los sistemas de TI deben demostrar que pueden organizar procesos de rutina y manejar una producción ágil. Aunque en el presente proyecto no se piensa utilizar inteligencia artificial, si es relevante la investigación de este tipo de artículos ya que dan una vista sobre las diferentes opciones que existen a la hora de automatizar, e incluso se puede dejar como implementación para futuros proyectos con el fin de comparar el funcionamiento con la propuesta sin IA y con IA. Además, se puede analizar la forma en la que se implementa la IA para adaptarla a la solución que se plantee, teniendo en cuenta los alcances.

Por otro lado, se analizó el uso de brazos robóticos y la optimización. En “Modeling of TCM Packing Robot and Its Kinematics Simulation and Optimization” [20] se realiza un estudio de caso donde se diseña un robot delta para empaque de Medicina China Tradicional (TCM) ya que la producción de productos TCM tiene un bajo grado de automatización por lo que se demoran en producirlo y actualmente se utiliza producción auxiliar artificial que disminuye la calidad del producto; por ende se requiere aumentar la productividad y mejorar la calidad. Tras realizar las simulaciones, analizan los resultados de las curvas de cambio de posición, velocidad y aceleración durante el movimiento del dispositivo de agarre final del robot de empaque paralelo, se verifica la racionalidad de los procedimientos de agarre, encajonamiento y empaque establecidos, y se comparan los diagramas obtenidos a través de la simulación dejando el camino abierto para futuras investigaciones cinemáticas. En cuanto al uso de los brazos robóticos “Practical Control Strategy for Packing Multiple Boxes Simultaneously with Dual-Arm Robot” [21] discute el uso de dos brazos robóticos usados simultáneamente para empacar 10 cajas de celulares a través de una estrategia de control práctica y eficiente para empacar varias cajas simultáneamente en un espacio de trabajo congestionado, sujetando con precisión las cajas e insertándolas en una caja de embalaje evitando obstáculos. Concluyen diciendo que, aunque el método propuesto se limita al proceso de empaque de cajas, el trabajo futuro implicaría el desarrollo de un método de enseñanza cinestésico general para manipuladores de dos brazos en diversas aplicaciones. En

estos artículos se destaca el uso como tal de brazos robóticos, que son pertinentes para esta aplicación ya que se busca utilizar uno o dos brazos, además ofrecen un punto de contraste con otras implementaciones que han usado robots de este tipo y permite analizar la propuesta que se desarrolle.

Finalmente, para entender la integración de la visión o cámaras en los robots industriales para las bandas de producción se analizaron unos artículos sobre este concepto. En “Integration of a Multi-Camera Vision System and Admittance Control for Robotic Industrial Depalletizing” [22] proponen un diseño de un robot que ayuda a despaletizar las cajas haciendo uso de un sistema de cámaras integrado con el que el brazo robótico mira dónde está el espacio, introduce una placa y posteriormente separa las cajas. Dado que en los escenarios industriales las cajas suelen estar muy apretadas, el espacio entre las cajas puede ser muy pequeño por lo que el sistema diseñado debía detectar con gran precisión. Por ello, el sistema propuesto aprovechaba la integración de un sistema de visión multicámara, control de admitancia y una cámara 2D RGB de 8 megapíxeles en la mano del robot para refinar la detección del espacio entre las cajas para insertar la herramienta. Por último, en “A Vision-Based Path Planning and Object Tracking Framework for 6-DOF Robotic Manipulator” [23] se propone una mejora en la eficiencia de producción de los manipuladores de robots industriales a través de técnicas de planificación de ruta y visión artificial con un enfoque en la localización y el cálculo de la ruta más corta. El sistema propuesto consistía en un marcador RGB, redes neuronales y doble cámara, mejorando así tanto la localización como los mejores resultados en la línea de producción en varias industrias. Estos artículos entregan información sobre la visión y la integración con robots, que es útil para entender cómo se pueden unir estos dos sistemas para crear una implementación más completa. En este proyecto se debe analizar la forma en la que vienen los pucks, para así mismo saber cómo agarrarlos y empacarlos, por lo que una cámara integrada con los brazos robóticos representa una buena solución.

Adicionalmente se realizó una búsqueda sobre las características de la automatización industrial y si la forma óptima de automatizar el proceso del estudio de caso era con uno o dos robots.

En “Automatización de los procesos industriales” [24] se plantea que la automatización industrial se caracteriza por reducir los costos de fabricación y calidad en los productos, liberar al ser humano de tareas tediosas, peligrosas o insalubres y favorecer de alguna forma los tiempos de fabricación, productividad o respuesta a los cambios en la producción al automatizar cualquier máquina o proceso. En “La automatización industrial: ¿Qué es? Sus características más relevantes” [25] se destacan tres características de los sistemas de automatización industrial las cuales son: una mayor precisión y repetitividad en las tareas, cambio en el tipo de mano de obra por personal especializado en tecnología en determinadas tareas y un mejor control de los procesos productivos. Estas características se presentan como ventajosas para la aplicación que se requiere y confirman el hecho de que sea una aplicación de automatización industrial, ya que todas las características se ajustan perfectamente.

En cuanto al número de robots que se necesitan para automatizar el proceso, en “Estudio de las etapas de automatización de un proceso industrial: comunicaciones y operación” [26] se menciona que la aplicación debe ser dividida en un conjunto de acciones que se organizan en etapas, por lo que se llegó a la conclusión que lo mejor era utilizar dos robots, uno para cada parte del proceso, debido a que si se utilizaba uno solo, no se optimizaría todo el tiempo que se lograría con dos. Esto debido a que entregarle todo el proceso a un solo robot hacía que tuviera que sobre esforzarse y no pudiera cumplir con la meta e incluso dejar pasar una gran cantidad de piezas, mientras que dividir el proceso de automatización, permitía que cada robot estuviera encargado de una sola tarea.

Marco de Referencia

2.1. Áreas Temáticas

- Industria – Línea De Producción – Automatización – Final De Línea.
- Industria – Línea De Producción – Automatización – Robot eCobra 600.
- Industria – Línea De Producción – Automatización – Robot Viper 850.
- Sistemas de control – Control de Robots – Movimiento robótico.
- Procesamiento computacional y de la información – Programación – Programación de robots
- Aplicaciones industriales – Sistemas de ensamblado – Ensamblado robótico
- Automatización y robótica – Robots – Manipuladores – Efectores finales
- Sensores – Sistemas de sensado y aplicaciones – Sistemas robóticos de sensado – Sistemas de visión en robots

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Proceso productivo

Un proceso de producción es el conjunto de actividades orientadas a la transformación de recursos o factores productivos en bienes y/o servicios y se divide en tres etapas:

Acopio/ etapa analítica: donde las materias primas se reúnen para ser utilizadas en la fabricación. El objetivo principal de una empresa durante esta fase es conseguir la mayor cantidad de materia prima posible al menor costo. En este cálculo hay que considerar también los costes de transporte y almacén. Es en esta fase cuando se procede a la descomposición de las materias primas en partes más pequeñas. Además, en esta primera fase el gerente o el jefe de producción indicará el objetivo de producción que se tiene que conseguir, algo que se debe tener en cuenta a la hora de realizar el acopio de la materia prima, así como de todo el material que se necesitará para realizar la correcta producción [27].

Producción/ etapa de síntesis: durante esta fase, las materias primas que se recogieron previamente se transforman en el producto real que la empresa produce a través de su montaje. En esta etapa es fundamental observar los estándares de calidad y controlar su cumplimiento. Para que esta fase salga según lo previsto, es necesario hacer un trabajo de observación del entorno, de tal manera que se puedan anticipar los cambios y se pueda trazar un plan de actuación para saber cómo actuar en todo momento para seguir trabajando

en pro del cumplimiento de los objetivos [27].

Procesamiento/ etapa de acondicionamiento: la adecuación a las necesidades del cliente o la adaptación del producto para un nuevo fin son las metas de esta fase productiva, que es la más orientada hacia la comercialización propiamente dicha. Transporte, almacén y elementos intangibles asociados a la demanda son las tres variables principales por considerar en esta etapa. Una vez el producto/servicio ya esté entregado, no se puede olvidar que hay que llevar a cabo una tarea de control que permita saber si lo que se ha entregado cumple con los objetivos marcados y con los estándares de calidad que el cliente demanda [27].

2.2.2. Línea de Producción y finales de línea

Una línea de producción se puede entender como el conjunto de operaciones secuenciales en las que se organiza un proceso para la fabricación de un producto. Para poder producir en masa se requiere organizar un montaje en serie de las distintas operaciones requeridas para su transformación de materias prima en producto. Es decir, organizar por fases y dividir los grupos de trabajo teniendo en cuenta que todas las operaciones se hacen por separado y al final se realiza el montaje final donde se juntan para entregar el producto terminado [28]. En la Figura 1 se puede apreciar el final de línea manual, mientras que en la figura 2 se aprecia el automatizado.



Figura 1. Final de línea manual. [39]

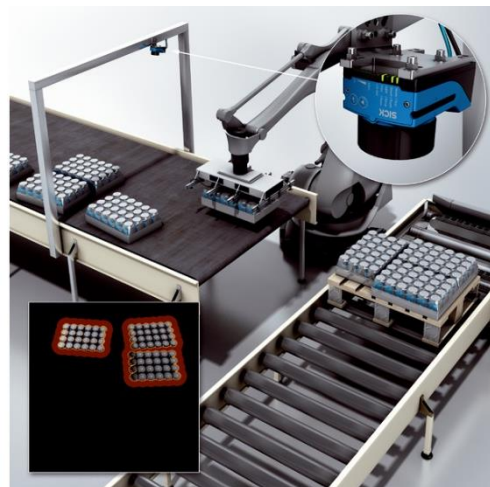


Figura 2. Final de línea automatizado. [40]

Existen varios tipos de líneas de producción dependiendo de su organización y según J. P. Garcia-Sabater en [29] se obtiene la siguiente información.

El más habitual es el one piece flow, donde las máquinas y recursos se ordenan según la secuencia de tareas y los productos pasan de una a otra de un modo directo (más o menos

automatizado).

Según los procesos que ejecutan se distingue entre las líneas de montaje donde los productos se realizan por la agregación de materiales y los flujos de llegada de los materiales son muy relevantes; y líneas de fabricación donde se produce una transformación sucesiva de los productos, es decir que la materia prima entra al principio de la línea y el producto avanza, siendo transformado.

En función del modo según el que se mueve el producto entre estaciones se distingue entre líneas automáticas que tienen mecanismos que mueven el producto de un sitio a otro y manuales donde el trabajador es quien mueve el producto.

En función de quien marca el ritmo de trabajo las líneas pueden ser paced donde la línea es la que mantiene la velocidad constante en el movimiento del producto o unpaced donde el producto no avanza hasta que no se le da autorización para ello.

En función de la variedad de productos que se pueden fabricar en una línea se distingue entre líneas monomodelo (sólo pueden fabricar un producto), multimodelo (permiten transformar varios tipos de producto) y con mezcla de modelos.

Por otro lado, el final de línea consiste en el final del proceso de producción descrito anteriormente, mientras que la automatización de final de la línea es la aplicación de herramientas flexibles, robotizadas y autónomas, capaces de llevar a cabo en los productos recién terminados el empaquetado, enfardado, paletizado, encajado, clasificación y distribución, con la mínima intervención de mano de obra humana [30].

2.2.3. Robot Industrial

La definición de un robot industrial según la norma internacional ISO 8373:2012 es ‘un manipulador multifuncional, reprogramable y controlado automáticamente, programable en tres o más ejes que puede estar fijo en un área o móvil para su uso en aplicaciones de automatización industrial’ [31].

Una de las principales ventajas de la aplicación de estos robots es que producen trabajos más precisos y de alta calidad, lo que lleva a producir una mayor cantidad en un corto período de tiempo y además realizan aplicaciones con más repetitividad que los humanos, aunque también tienen ventajas como evitar que los trabajadores realicen tareas peligrosas o que ahorran dinero a las empresas a largo plazo con un rápido retorno de la inversión, menos lesiones laborales (reduciendo o eliminando la compensación de los trabajadores) y con el uso de menos materiales, evidenciando algunos beneficios del uso de estos robots [32].

2.2.4. Robot eCOBRA 600

Los robots eCobra son robots industriales SCARA (Brazo robótico de ensamblaje de cumplimiento selectivo) de cuatro ejes como el de la figura 3. Las articulaciones 1, 2 y 4 son rotacionales, la articulación 3 es traslacional [33] como se ve en la figura 4.



Figura 3. Robot eCobra 600. [33]

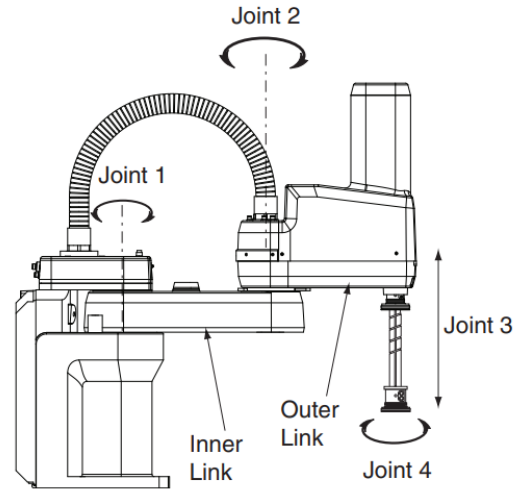


Figura 4. Movimientos de articulaciones robóticas. [33]

Los robots eCobra usan un amplificador eAIB. Los robots se programan y controlan mediante eAIB. Los amplificadores y el servocontrol completo para los robots eCobra están contenidos en el eAIB, que está integrado en la base del robot. El eAIB también proporciona la plataforma para ejecutar el sistema operativo eV+ y el lenguaje [33].

2.2.5. Robot VIPER 850

Los robots Viper 650 y Viper 850 (figura 5) son robots articulados de seis ejes de alto rendimiento diseñados específicamente para aplicaciones de ensamblaje. La velocidad y la precisión de los robots Viper también los hacen ideales para el manejo de materiales, empaque, mantenimiento de máquinas y muchas otras operaciones que requieren una automatización rápida y precisa [34]. En la figura 6 se puede apreciar la vista lateral del robot y sus dimensiones.



Figura 5. Robot Viper 850. [34]

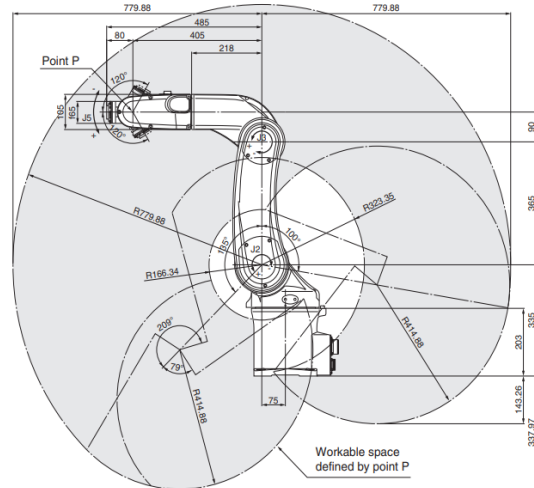


Figura 6. Dimensiones de la vista lateral del robot Viper 850 (unidades en mm). [34]

Las comunicaciones EtherCAT permiten que los robots operen junto con los nodos EtherCAT, otros productos Sysmac y el software de automatización Sysmac Studio para lograr una funcionalidad óptima y facilidad de operación [34].

Definición de requisitos

3.1. Descripción de piezas

En el caso de estudio utilizado, se parte de la necesidad de automatizar el alistamiento y empaque de unos pucks de fibra sintética que caen de forma desordenada a una banda transportadora. En la figura 7 se presenta el layout del proceso realizado de forma manual, involucrando dos operarios, en la primera etapa llamada alistamiento se busca ordenar los pucks pasándoles de la primera banda transportadora donde caen desordenados, hacia una segunda banda donde deben quedar en una misma orientación u uno junto al otro. En la segunda etapa, llamada el empaque, se deben tomar grupos de ocho pucks y ponerlos apilados en las cajas hasta llenarlas, finalmente, cuando la caja está llena pasa a una etapa de paletizado que no se considera en este proyecto.

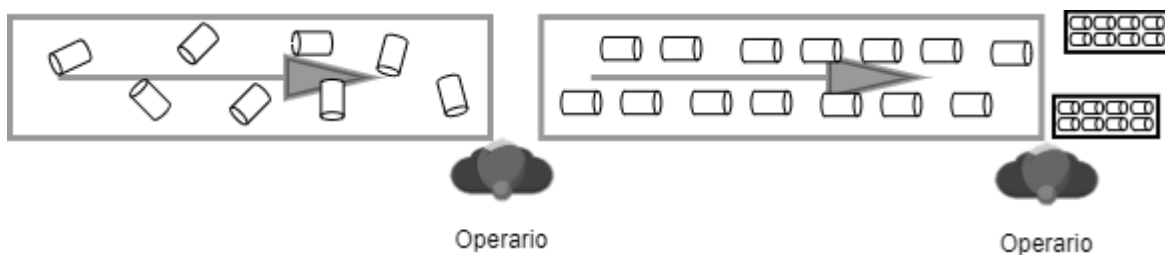


Figura 7. Proceso manual. Fuente: elaboración propia

Los pucks de fibra sintética de la figura 8 tienen un peso de 135 gramos aproximadamente y una medida de 53 mm de diámetro y 62 mm de alto. Las cajas, figura 9, a su vez son corrugadas y tienen una medida de 270 mm de largo, 125 mm de ancho y 170 mm de alto y un peso de 3,3 Kg máximo.



Figura 8. Puck de fibra sintética.
Fuente: elaboración propia



Figura 9. Arreglo de Pucks en la caja.
Fuente: elaboración propia

3.2. Layout

Para la elaboración del layout se consideraron los requerimientos y la disponibilidad de espacio que había. En la figura 10 a continuación se presenta el layout inicial de la propuesta. Las bandas están denotadas por los rectángulos y la flecha indica la dirección de la misma. Los rectángulos pintados de naranja claro simbolizan el área que está disponible para poner los robots, es decir, los lugares donde se podrían ubicar y cumplirían con el propósito de la solución. Finalmente, la caja se presenta sobre una mesa como idea inicial, donde el operario debe cogerla una vez esté llena y llevarla a la otra banda para seguir con el proceso de paletizado, el cual es ajeno al alcance del presente proyecto. Aún no se ubican los robots como tal ya que es una propuesta inicial y general, donde únicamente se quiere hacer un boceto de la idea para tener una visualización un poco más clara de lo que se quiere hacer.

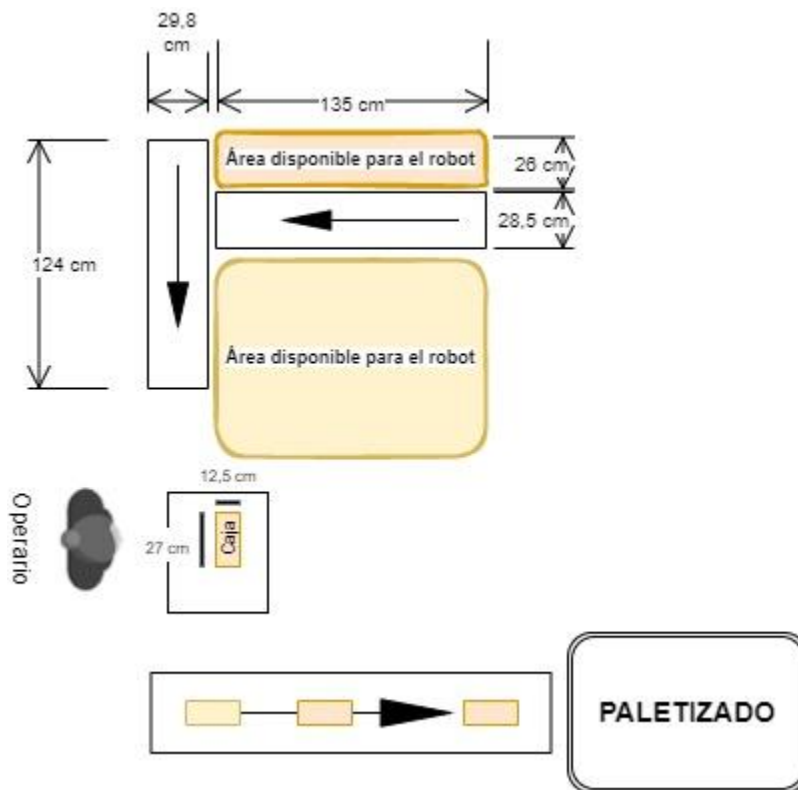


Figura 10. Layout inicial. Fuente: elaboración propia

3.3. Requisitos de velocidad

En cuanto a la velocidad que debe tener la solución propuesta, se tiene que debe superar la velocidad a la que actualmente se obtienen las piezas con el fin de que sea considerado como útil y que genere de un cambio. En la actualidad, se tiene un aproximado de 20 pucks por minuto, es decir que por la banda pasan esta cantidad de pucks cada minuto, que se organizan en una caja.

Adicionalmente, se presenta que actualmente la aplicación entrega una caja cada 1,2 minutos aproximadamente o menos.

3.4. Requisitos funcionales

En el caso de estudio se plantean algunos requisitos especiales para que la aplicación funcione correctamente. Dentro de estos requisitos se encuentran que:

- Las piezas deben ser dispuestas en una caja organizadas en 3 pisos en arreglos de 2x4. Esto quiere decir que caben 24 pucks por caja.
- Los pucks deben ser manipulados de forma horizontal, esto quiere decir que cuando caen a la banda, se debe asegurar que estén de forma horizontal cuando el robot lo tome, al igual que cuando sean guardados en la caja.

3.5. Requisitos técnicos de los robots

De acuerdo con lo anterior, se definen los requisitos de velocidad, carga y volumen de trabajo que los robots deberán cumplir para poder operar los procesos de alistamiento y empaque.

Robot de alistamiento:

- Carga: 135 gramos de la carga útil + 200 gramos aproximados de la herramienta
- Velocidad: 20 picks por minuto, sobre la distancia = mm/s o m/s
- Volumen de trabajo: área máxima de trabajo en el plano de la base de 27 m²
- 4 grados de libertad con morfología Delta o Scara para alta velocidad

Robot de empaque:

- Carga: 540 gramos de la carga útil + 1500 gramos aproximados de la herramienta
- Velocidad: 5 picks por minuto, sobre la distancia = mm/s o m/s
- Volumen de trabajo: área máxima de trabajo en el plano de la base de 22 m²
- 6 grados de libertad con morfología antropomórfica para tener un alcance mayor

Requisitos generales:

- El tipo de comunicación deseada es Ethernet
- Presupuesto y restricciones de marca: Se busca utilizar los robots que ya se tienen físicamente para no incurrir en gastos elevados, así como los componentes con los que ya se cuenta. Las marcas principales por utilizar son Allen-Bradley y Omron, ya que la empresa es partner oficial, lo que le permite tener precios preferenciales en los productos.

Diseño de la solución

4.1. Verificación de las características técnicas de los robots

Como parte de los requisitos, se definió que es deseable usar los robots con los que ya se cuentan en la empresa, por lo tanto, un primer pase será verificar si estos robots efectivamente cumplen con los requisitos técnicos para dar solución al problema tal como se describió en el capítulo 3.

Para el proceso de alistamiento, se parte del hecho de que el robot que se necesita debe tener 4 DOF distribuidos de la siguiente forma:

- 3 grados para la posición espacial que permiten mover el puck de una banda a otra, moverse en z (figura 11), moverse en “x” (figura 12) y moverse en “y” (figura 13).
- 1 grado de orientación (figura 14) sobre el eje vertical para orientar el puck siempre en la misma dirección sobre la banda de empaque.

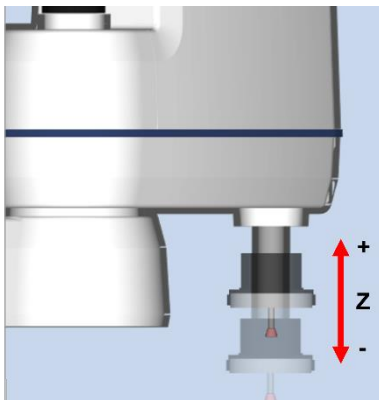


Figura 11. Desplazamiento en Z. Fuente: elaboración propia

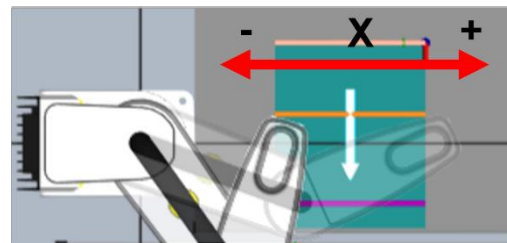


Figura 12. Desplazamiento en X. Fuente: elaboración propia

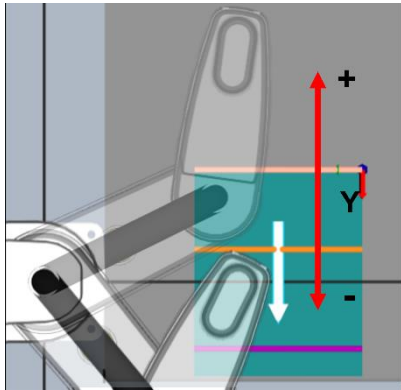


Figura 13. Desplazamiento en Y. Fuente: elaboración propia

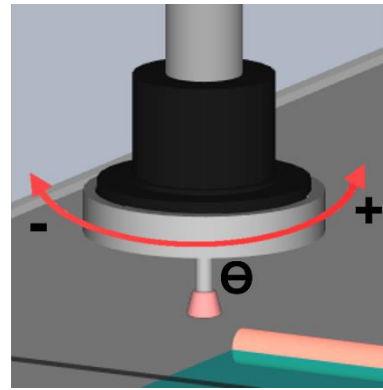


Figura 14. Desplazamiento en Theta. Fuente: elaboración propia

Para el robot de empaque, se definió que es requerido un robot de 6 DOF con una carga y volumen mayor a la del robot a alistamiento.

De acuerdo con estas características, se plantea usar el robot eCobra para el proceso de alistamiento y el robot Viper para el proceso de empaque. A continuación, se revisa a detalle las características técnicas de cada robot para verificar que cumplan con los requisitos particulares de cada proceso.

La banda donde se ponen las piezas organizadas está dividida en dos espacios, para que el robot eCobra ponga los pucks en ese arreglo y luego el robot Viper coja las fichas en arreglos de 2x2, de esta forma se adjunta la tabla de especificaciones de cada uno de los robots para analizar las velocidades que cada uno alcanza.

La velocidad de las articulaciones del robot eCobra 600 se puede ver en la tabla 1 continuación

| Product name | | eCobra | | | |
|-----------------------|---------|------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | | 600 Standard | | 600 Pro | |
| | | Standard | Cleanroom | Standard | Cleanroom |
| Size | | 600 | | | |
| Type | | | | | |
| Cleanroom | | | | | |
| Part Number | | RL4-1166000 | RL4-1166010 | RL4-2166000 | RL4-2166010 |
| Number of axes | | 4 | | | |
| Mounting | | table/floor | | | |
| Reach | | 600 mm | | | |
| Maximum Payload | | 5.5 kg | | | |
| Repeatability | XY | ±0.017 mm | | | |
| | Z | ±0.003 mm | | | |
| | Theta | ±0.019° | | | |
| Joint Range | Joint 1 | ±105° | | | |
| | Joint 2 | ±157.5° | | | |
| | Joint 3 | 210 mm | | | |
| | Joint 4 | ±360° | | | |
| Inertia Moment (Max.) | Joint 4 | 450 kg-cm ² | | | |
| Joint Speeds | Joint 1 | 386°/s | | | |
| | Joint 2 | 720°/s | | | |
| | Joint 3 | 1100 mm/s | | | |
| | Joint 4 | 1200°/s | | | |

Tabla 1. Velocidad robot eCobra. Fuente: [33]

En la tabla 2 se pueden observar las velocidades de cada una de las articulaciones del robot Viper 850.

| Product name | | Viper | | |
|-----------------------|---------|------------------------|-------------|-------------|
| | | 850 | | |
| | | Standard | Cleanroom | IP54/65 |
| Part Number | | RL6-2068000 | RL6-2068020 | RL6-2068010 |
| Mounting | | Table/Floor/Inverted | | |
| Number of axes | | 6 | | |
| Reach | | 855 mm | | |
| Maximum Payload | | 5 kg | | |
| Repeatability | XYZ | ±0.03 mm | | |
| Joint Range | Joint 1 | ±170° | | |
| | Joint 2 | -190°, +45° | | |
| | Joint 3 | -29°, +256° | | |
| | Joint 4 | ±190° | | |
| | Joint 5 | ±120° | | |
| | Joint 6 | ±360° | | |
| Inertia Moment (Max.) | Joint 4 | 0.295 kgm ² | | |
| | Joint 5 | 0.295 kgm ² | | |
| | Joint 6 | 0.045 kgm ² | | |
| Joint Speeds | Joint 1 | 250°/s | | |
| | Joint 2 | 250°/s | | |
| | Joint 3 | 250°/s | | |
| | Joint 4 | 375°/s | | |
| | Joint 5 | 375°/s | | |
| | Joint 6 | 600°/s | | |

Tabla 2. Velocidad robot Viper 850. Fuente: [34]

En general el robot eCobra tiene velocidades mucho mayores que el robot Viper, lo que lo hace útil para coger y organizar los pucks que llegan desordenados.

4.2. Volumen de trabajo de los Robots

Los robots presentan las siguientes características en cuanto al volumen o espacio de trabajo según el manual de usuario [33]:

Paradas duras

Si el robot se topa con uno de sus topes rígidos, el movimiento del robot se detendrá por completo, se generará un error de envolvente y se cortará la energía a los motores del robot.

El robot no puede continuar moviéndose después de golpear un tope rígido hasta que se haya solucionado el error.

Los topes rígidos son capaces de detener completamente el robot a cualquier velocidad, carga y extensión máxima o mínima.

Dispositivos de limitación

Omron Adept Technologies, Inc. no proporciona dispositivos limitadores dinámicos o electromecánicos. El robot no tiene un eje blando con clasificación de seguridad ni limitación de espacio.

Sin embargo, el usuario puede instalar sus propios dispositivos limitadores dinámicos con clasificación de seguridad (categoría 0 o 1) si es necesario, que cumplan con la norma ISO 10218-1, cláusula 5.12.2. Se recomienda fuertemente al usuario instalarlos en caso de que no los tenga instalados.

Singularidades

Una singularidad es una condición causada por la alineación colineal de dos o más ejes del robot, lo que resulta en un movimiento y velocidades impredecibles del robot. No existen singularidades que provoquen una situación peligrosa con un robot eCobra. Sin embargo, para el caso del robot Viper el manual indica que, por razones de seguridad, siempre debe evitar todas las ubicaciones de los límites del espacio de trabajo del robot y que no hay singularidades para los comandos de movimiento interpolados por articulaciones. Esto significa que se puede usar un comando de movimiento interpolado conjunto para salir de una singularidad encontrada en otro tipo de comando.

4.2.1. Robot eCobra 600

La accesibilidad del robot se define como su capacidad para mover sus articulaciones y enlaces en el espacio libre para que su mano alcance el objetivo dado [35]. En la figura 15 se pueden ver las dimensiones del robot y en la figura 16 se puede apreciar el diagrama o el área donde el robot se puede mover y alcanzar.

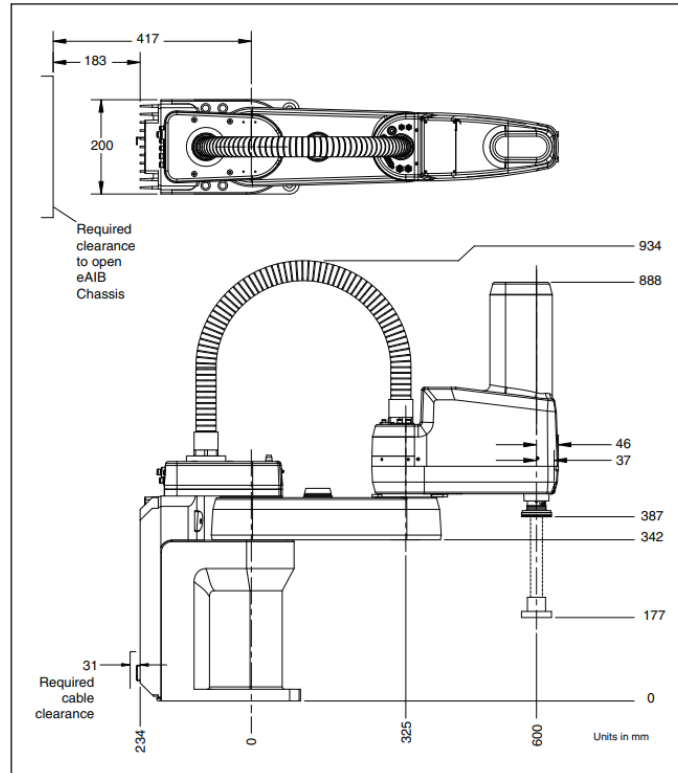


Figura 15. Dimensiones del robot (en mm). [33]

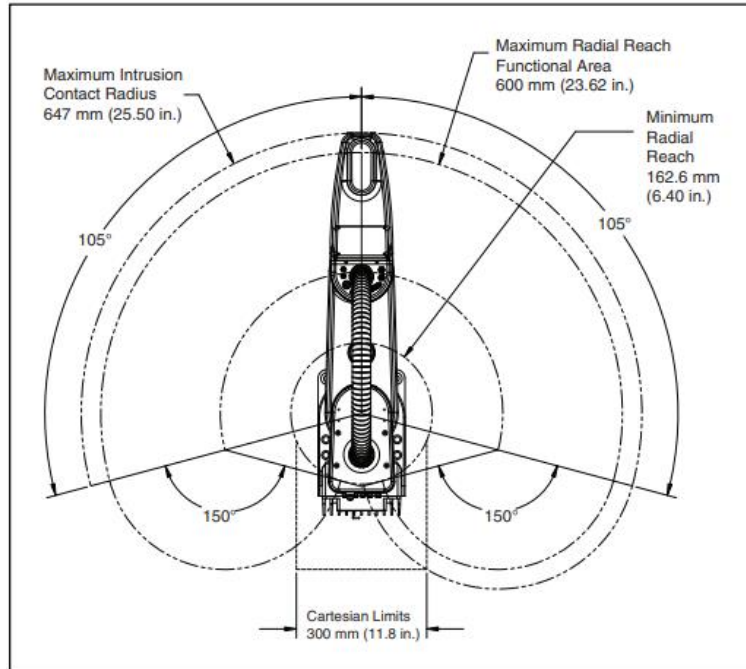


Figura 16. Área de trabajo dibujo. [33]

Por otro lado, el espacio de trabajo diestro está compuesto por el conjunto de puntos que el manipulador puede alcanzar con una orientación arbitraria de su efector final [36]. En este

caso, en la figura 17 se muestra el área de trabajo simulada, aunque se espera que el robot utilice un espacio de trabajo de 135° .

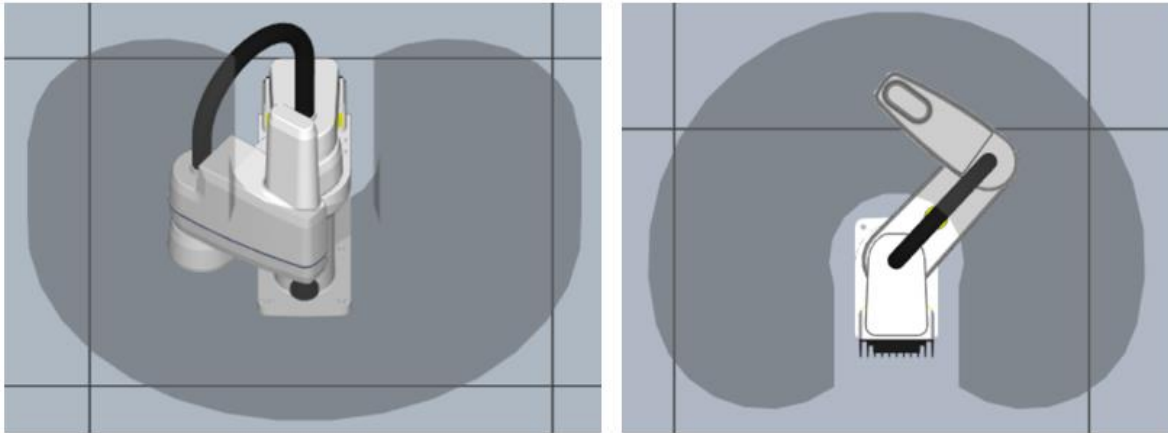


Figura 17. Área de trabajo simulada. Fuente: elaboración propia

4.2.2. Robot Viper 850

En cuanto a la accesibilidad, en la figura 18 se ven las dimensiones del robot y en la figura 19 se puede apreciar el diagrama o el área donde el robot se puede mover y alcanzar.

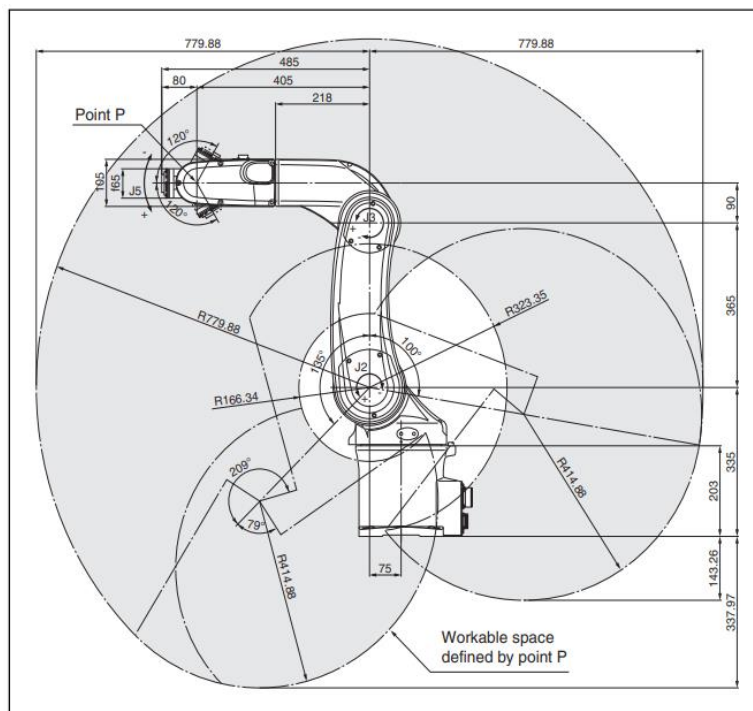


Figura 18. Dimensiones del robot (en mm). [34]

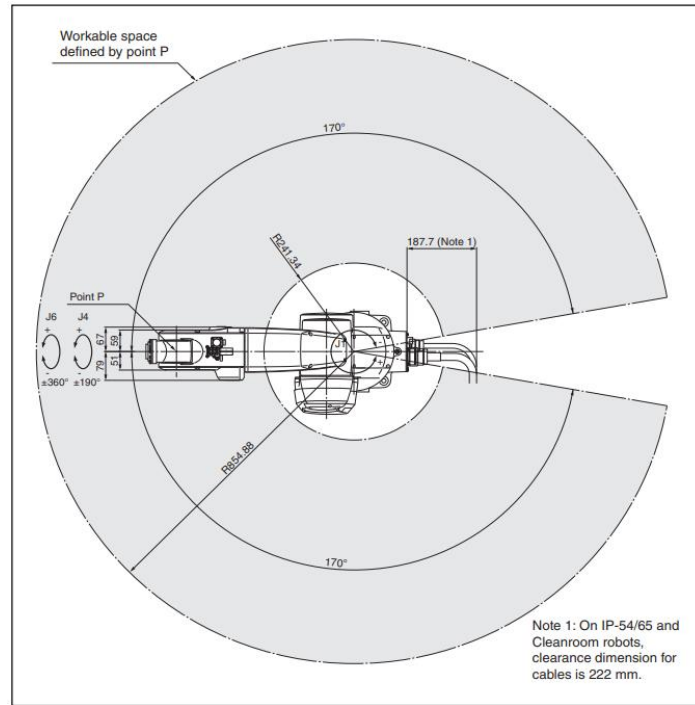


Figura 19. Área de trabajo dibujo. [34]

En este caso, el espacio de trabajo diestro que se espera es aproximadamente de 90° y el área de trabajo simulada se puede ver en la figura 20.

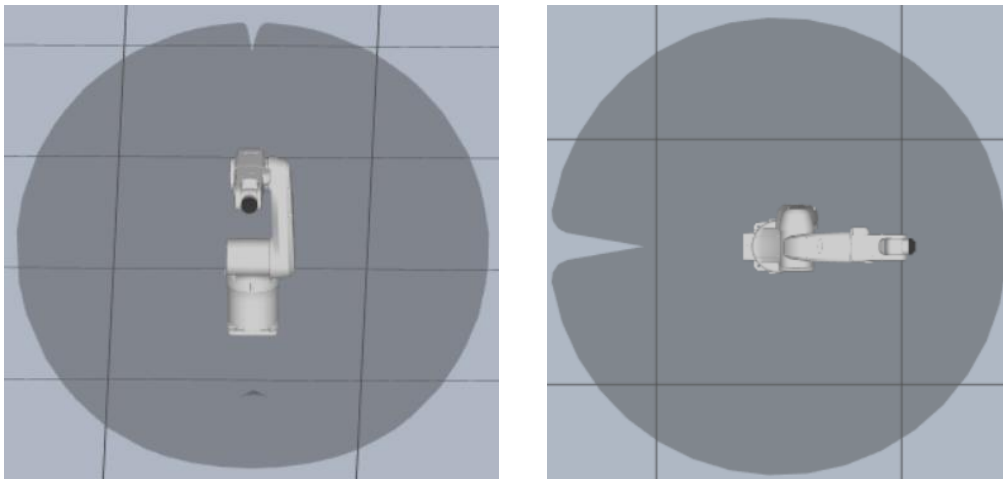


Figura 20. Área de trabajo simulada. Fuente: elaboración propia

4.3. Análisis de riesgo

En robótica existen varias normas que regulan la seguridad, las tres principales son la *Normativa Europea EN 775*, la *Normativa americana ANSI/RIA R15.06-1992* y las *normas internacionales ISO 10218:1992*. La primera hecha por el Comité Europeo de Normalización (CEN) adapta las normas de la ISO 10218:1992, la segunda fue realizada por el Instituto

Nacional de Normalización de Estados Unidos, contiene una definición de riesgos, la probabilidad de aparición de accidentes y severidad del daño físico a una persona. La última norma contiene una sección sobre el análisis de la seguridad, la definición de riesgos y la identificación de posibles fuentes de peligros o accidentes, así como una sección sobre diseño y fabricación de sistemas robotizados [37]. Estas se implementan en la aplicación, al tenerlas en cuenta para el diseño de la seguridad y la elección de los componentes de seguridad.

En cuanto a los riesgos que se pueden presentar, se sabe que trabajar con este tipo de maquinaria hace necesario la capacitación de las personas y el seguimiento sobre las precauciones que se deben tener en cuenta a la hora de manejarla. De igual forma los robots incorporan una serie de protecciones que previenen los accidentes que puedan generarse al utilizar los mismos. En general ambos robots tienen características similares en cuanto a la distancia y el tiempo de parada de las articulaciones de mayor movimiento, pero el robot eCobra es un poco más constante sin importar la carga que tenga, mientras que el robot Viper si tiene un poco de variación dependiendo si es de 33%, 66% o 100% de la carga total que soporta.

A continuación, en las figuras 21 y 23 se pueden observar las gráficas de distancia de frenado y en las figuras 22 y 24 se puede ver el tiempo de frenado de las tres articulaciones de mayor movimiento de los robots eCobra 600 y Viper 850.

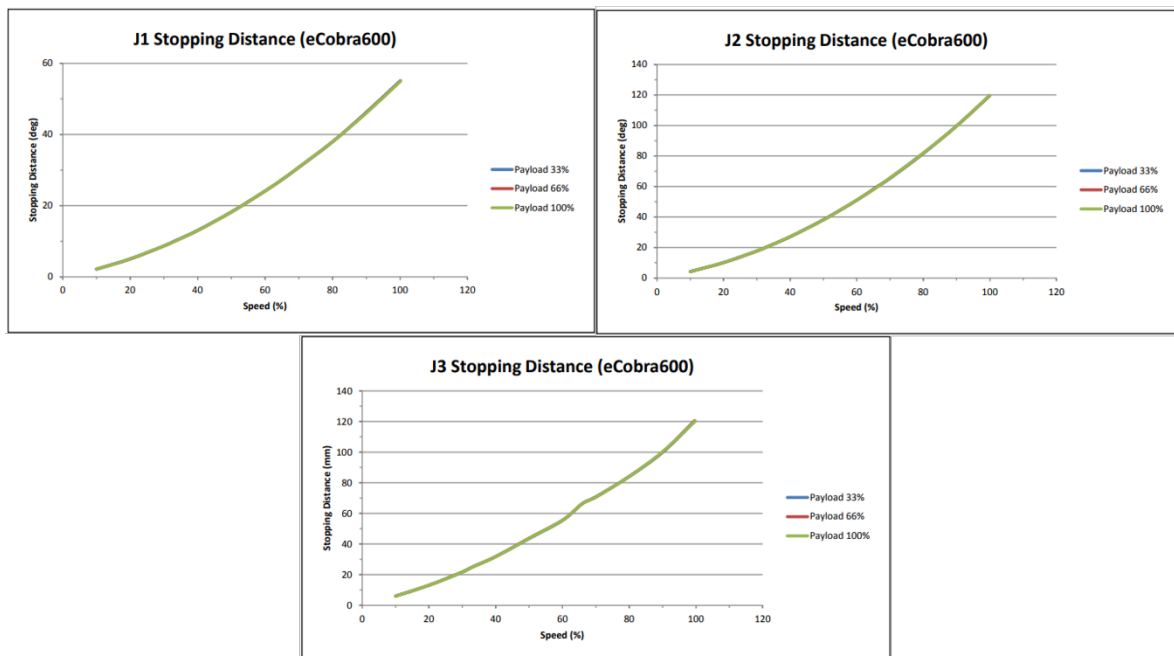


Figura 21. Distancia de frenado en mm del eCobra 600. [33]

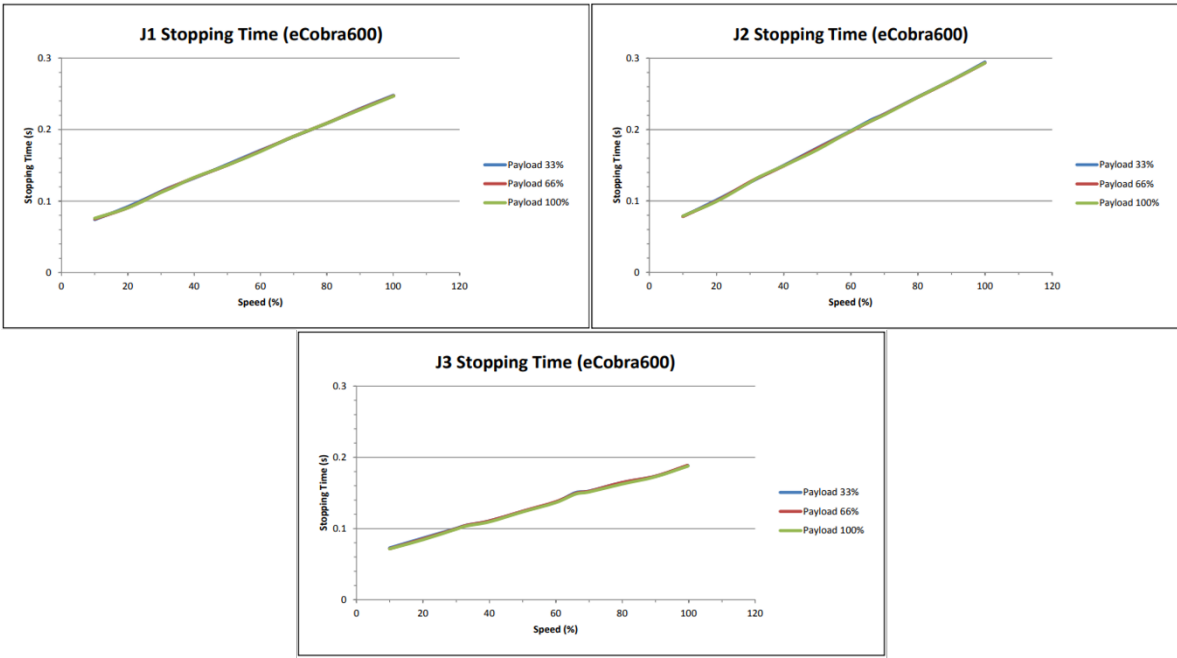


Figura 22. Tiempo de frenado en segundos del eCobra 600. [33]

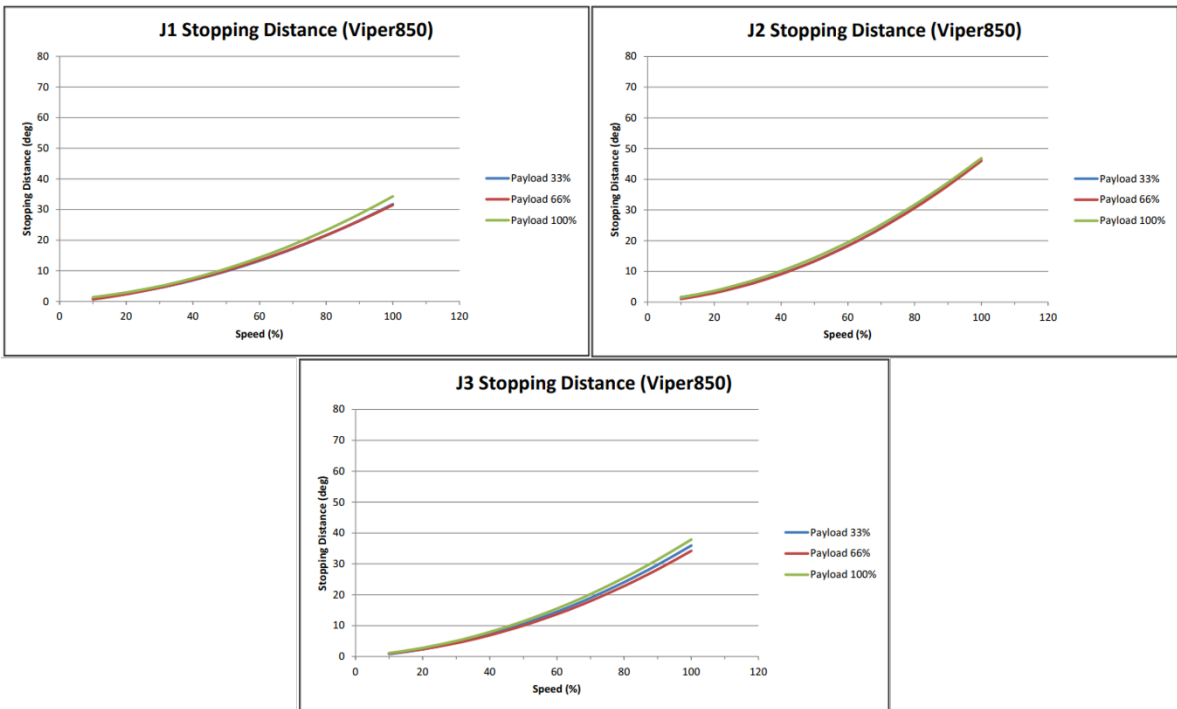


Figura 23. Distancia de frenado en mm del Viper 850. [34]

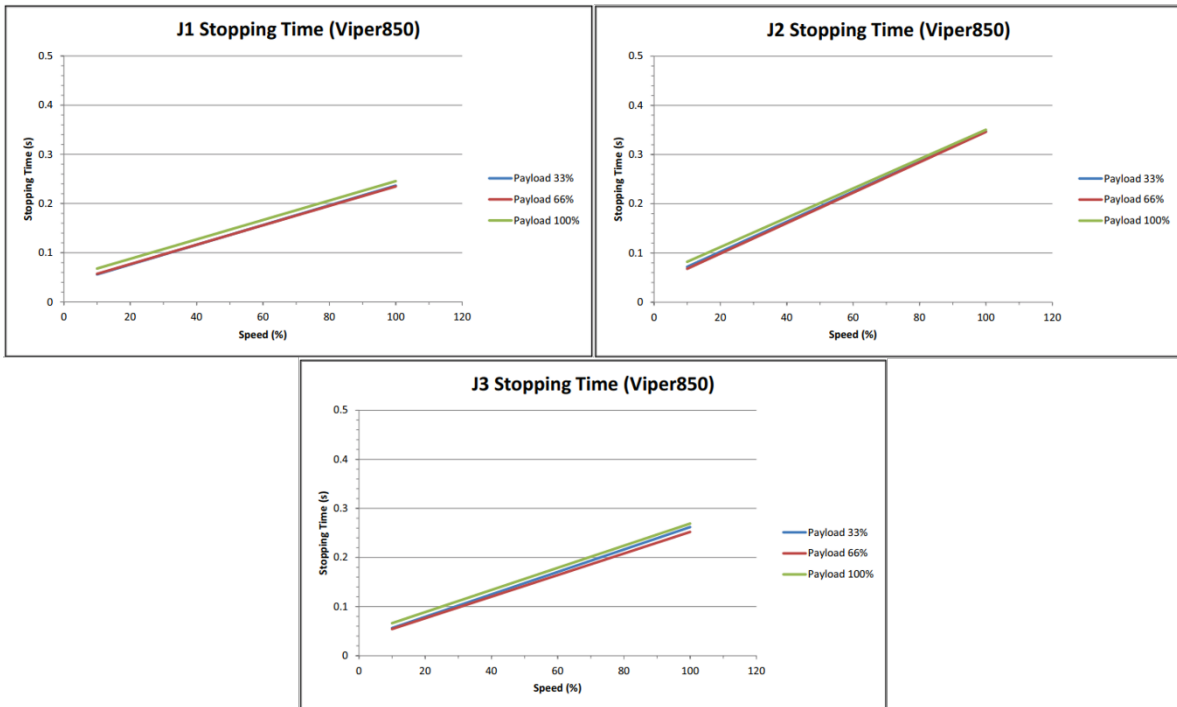


Figura 24. Tiempo de frenado en segundos del Viper 850. [34]

Al analizar estas gráficas de distancias y tiempos y teniendo en cuenta el alcance y la velocidad de los robots, se ve la necesidad de un tipo de barrera que impida o restrinja a los operarios de entrar a este espacio para evitar accidentes. Además, según estudios realizados por el Instituto de Investigaciones de Seguridad en el Trabajo de Tokio, el 90% de los accidentes en líneas robotizadas ocurren durante las operaciones de mantenimiento, ajuste, programación, etc., mientras que sólo el 10% ocurre durante el funcionamiento normal de la línea [37]. Lo que pone en evidencia la necesidad de utilizar barreras que eviten accidentes en la planta. Adicionalmente, se deben tener paradas de emergencia para detener el proceso en caso de una eventualidad, también se debe limitar la velocidad máxima, e incluir detectores de sobreesfuerzo.

En cuanto a las barreras que existen se tienen:

- Las barreras de acceso a la célula que se disponen en torno a la célula e impiden el acceso a personas, es decir que realizan una parada inmediata cuando alguien entra a la zona de trabajo.
- Las barreras de acceso a la zona perimetral divididas en barreras materiales e inmateriales.
 - En las barreras materiales se implementan tres tipos de interruptores de seguridad, los primero son con dispositivo de bloqueo con enclavamiento electromagnético que disponen de un electroimán que bloquea el pestillo una vez está en posición de seguridad, el segundo caso son los interruptores de seguridad sin dispositivo de bloqueo colocados en una protección móvil que certifican que está en la posición de trabajo y que puede empezar, finalmente

están los interruptor de seguridad sin contacto que están formados por dos elementos que se reconocen entre ellos sin necesidad de contacto.

- En las barreras inmateriales también hay de tres tipos. primero las cortinas fotoeléctricas que son dispositivos que forman una cortina de radiaciones ópticas y que detectan la interrupción de estas, segundo, el scanner láser que explora su entorno sin contacto por medio de un haz láser infrarrojo, sin necesidad de utilizar reflector o receptor separado, por último, las alfombras sensibles que son interruptores eléctricos de área sensibles a la presión, por lo que, si una persona se para sobre estas, se activan [37].

De esta forma se define que lo mejor para proteger a los operarios es tener los robots dentro de una celda encerrados ya que las barreras inmateriales no son muy recomendables para la protección perimetral al no tener un mecanismo que detenga físicamente al robot en caso de que no frene a tiempo. Por otro lado, las barreras físicas les permiten a los robots tener libertad en sus movimientos sin afectar el resto del proceso de la banda o causarle daño a una persona.

Por lo tanto, se propone realizar un encerramiento de los robots construyendo una celda que cubra a los dos robots y que únicamente tenga las salidas de las bandas y una puerta para entrar en caso de que se necesite acceder a los robots. Para la seguridad de esta puerta se utilizaría el interruptor de seguridad con enclavamiento electromagnético, ya que ofrece una protección óptima al no permitir que se abra la puerta si está energizada la máquina o si no se ha presionado un paro de emergencia. En cuanto a los pulsadores de parada de emergencia (e-stop), se pondría uno en cada lado del encerramiento ya que de esta forma se cubre el perímetro de la aplicación y permite que en cualquier lado se pueda detener el proceso. Adicionalmente, los robots cuentan con su propio paro de emergencia.

4.4. Diseño del nuevo layout

Para la aplicación se tiene una distribución inicial como la que se aprecia en la figura 25, donde se presenta la banda donde llegarían los pucks de fibra sintética, el robot los cogería y los pondría en otra banda para posteriormente meterlos en la caja. Es importante mencionar que en la banda donde se ponen las piezas, debe haber algún tipo de separación o estructura que permita mantener organizados los pucks y que sigan por “su carril” sin interferir en el camino de los otros con el fin de que cuando lleguen al otro robot, estén organizados y el otro robot no deba esforzarse en el momento de cogerlos.

Siguiendo el diseño y el análisis de riesgo, se llega a la conclusión que se debe utilizar una banda donde esté la caja para que el robot Viper ponga las piezas, ya que de esta forma se puede hacer un encerramiento total.

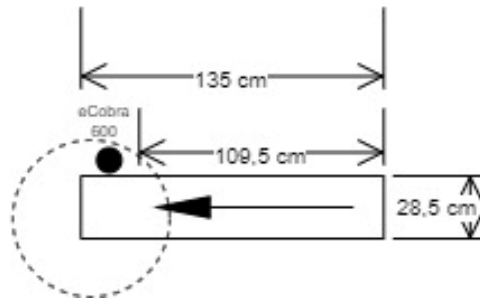


Figura 25. Diseño de la distribución del robot eCobra 600. Fuente: elaboración propia

En cuanto a la distribución del robot eCobra en el espacio se tiene que:

- De la base del robot al final de la banda hay 109,5 cm
- La base del robot mide 140 cm de altura, 50 cm de largo y 20,2 cm de ancho
- La banda tiene una medida de 135 cm de largo y un área efectiva de 28,5 cm de ancho.

La disposición de ambos robots está pensada como se muestra en la figura 26.

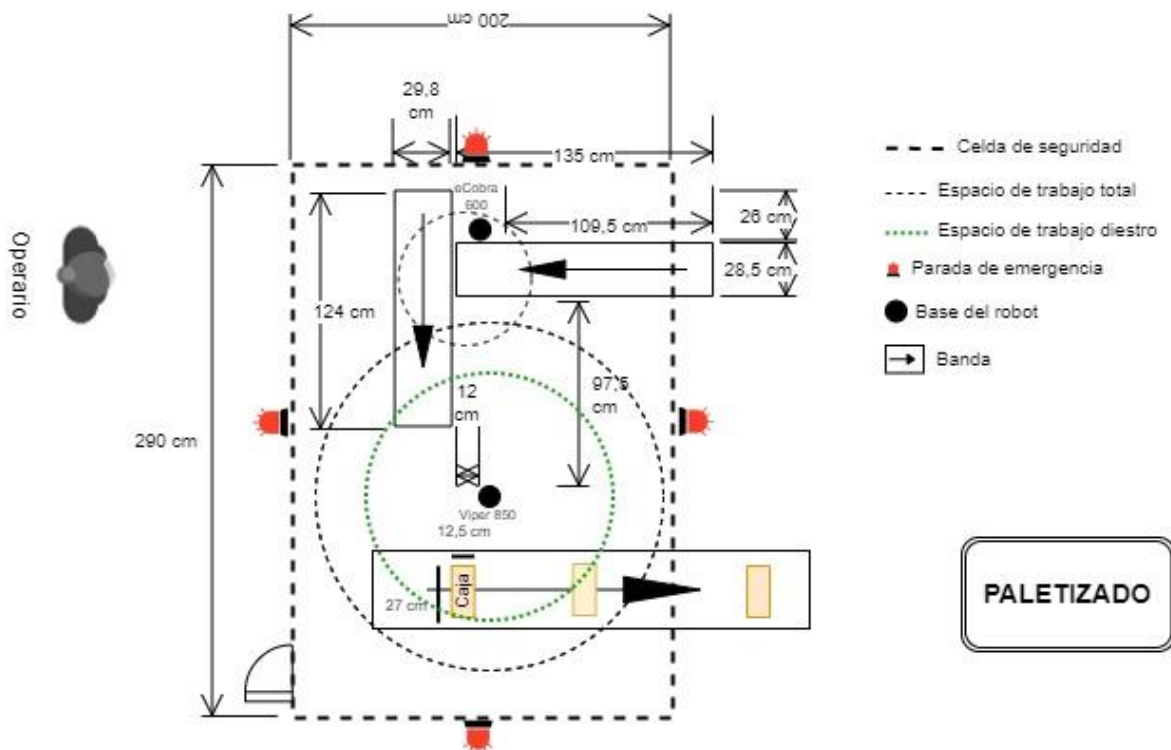


Figura 26. Propuesta de distribución de los robots en la celda. Fuente: elaboración propia

Por lo tanto, el robot eCobra debe tener un alcance de una banda a la otra para ponerlos en filas de dos y el robot Viper debe coger los arreglos para meterlos en una caja.

En cuanto a la distribución del robot Viper en el espacio se tiene que:

- La banda donde recoge las piezas está a una altura de 144,8 cm del piso

- La banda tiene una medida de 124 cm de largo y un área efectiva de 29,8 cm de ancho
- La base del robot mide 142 cm de altura, 21,8 cm de largo y 21,8 de ancho

En la figura 27 se muestra la propuesta de la solución, es decir cómo llegan los pucks, como se acomodan en la banda y cómo van organizados en la caja.

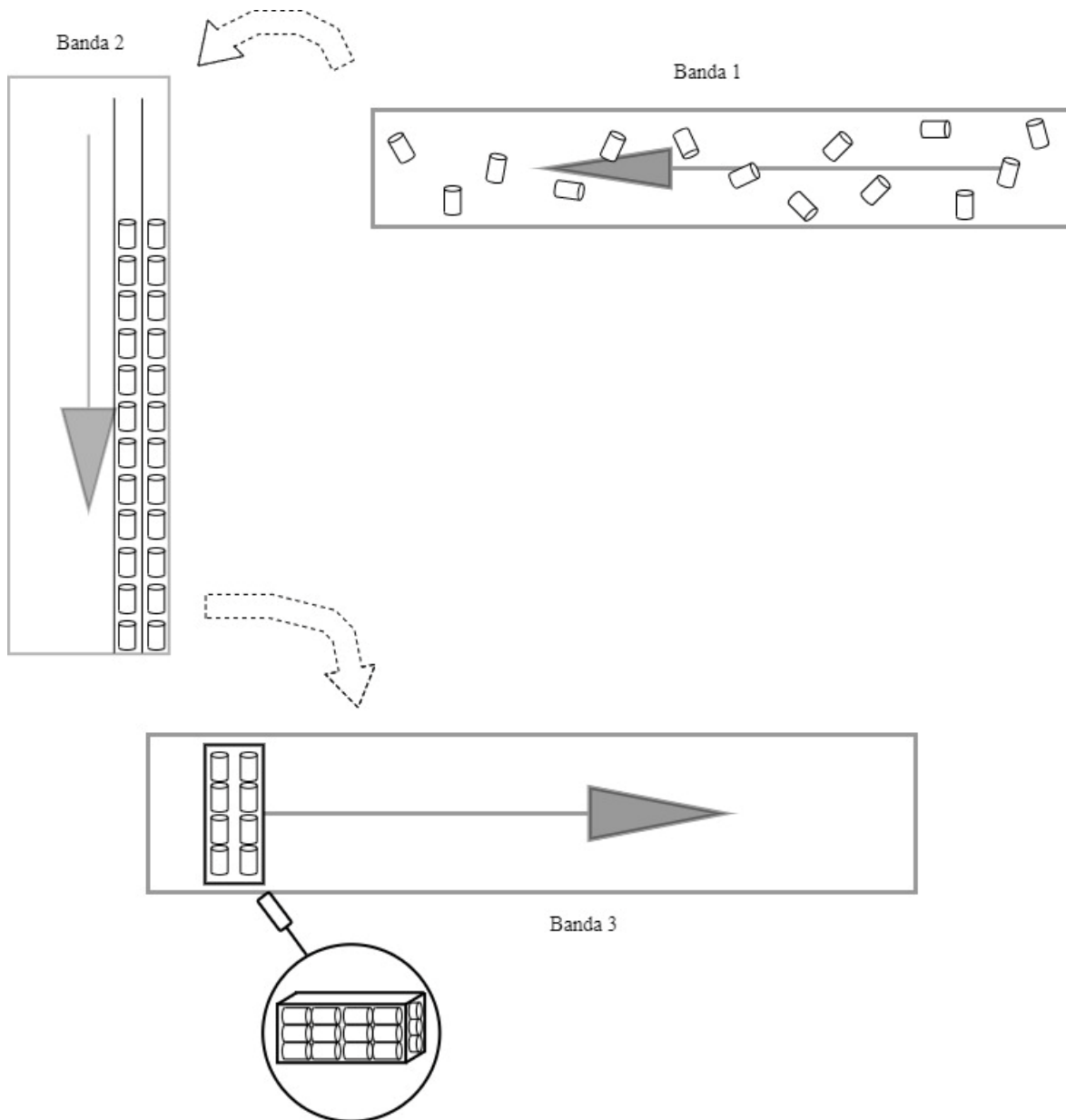


Figura 27. Proceso de los pucks. Fuente: elaboración propia

Por otra parte, el gripper de este robot tiene cuatro ventosas (2x2) puestas sobre una estructura y organizadas con unas distancias de 70 mm de largo y 65 mm de ancho de una con respecto a la otra como se muestra en la figura 28.

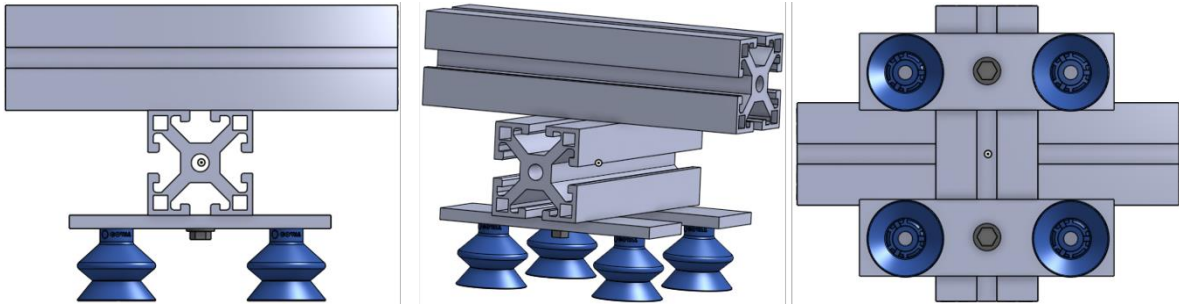


Figura 28. Gripper Viper. Fuente: elaboración propia

4.5. Control de bandas transportadoras

4.5.1. Diseño electrónico

Teniendo el diseño y una idea general de los componentes que se necesitan, se procede a escoger estos componentes según las características requeridas. Para el motor, se realizó un cálculo con las bandas transportadoras con el fin de saber qué potencia se necesitaba, para realizarlo se encontró la fuerza ejercida hacia abajo por el peso total de los pucks (figura 29) en determinado tiempo, se multiplicó por la distancia de la banda en “x” para tener la componente en “x” y por la altura en “y” para obtener la componente en “y” (figura 30), con estos dos valores se encontró el vector resultante (figura 31) y se dividió por el tiempo que se demoraba en pasar esa cantidad de piezas para obtener la potencia en watts.

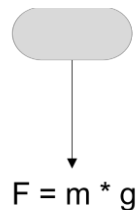


Figura 29. Componente fuerza puck. Fuente: elaboración propia

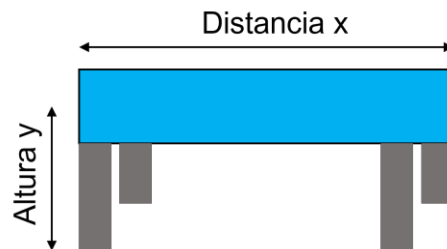


Figura 30. Altura y distancia banda. Fuente: elaboración propia

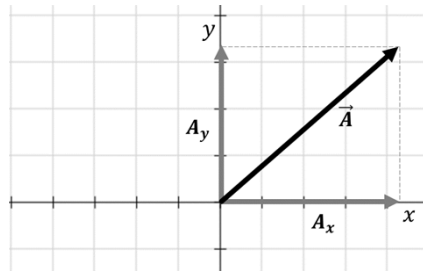


Figura 31. Componentes de un vector. Fuente: elaboración propia

Debido a que las piezas son livianas, la potencia obtenida fue menor a 1 kW, sin embargo, al tratarse de aplicaciones industriales y teniendo en cuenta que el motor no solo se encarga de mover los pucks, sino también de todo el mecanismo necesario para conseguir dicho movimiento se decidió utilizar una referencia cercana a esta potencia que fuera comercial. Es por esto que se escogió el motorreductor trifásico de ½ HP Sew Eurodrive S37DRN71M4.

Debido a que se debe controlar la velocidad del motor, así como garantizar un arranque y parada suave, es necesario seleccionar un variador de frecuencia, para esto se debe tener en cuenta principalmente la potencia del motor y el voltaje por lo que en este caso se debe tener uno que soporte al menos ½ Hp y 220 VAC, también de debe tener en cuenta que la velocidad del motor no es controlada de forma remota, sino manual, por lo que no hace falta que este tenga un puerto de comunicación. Otro requerimiento de este componente es que tenga un puerto de seguridad para realizar este control, es decir un puerto SE. Es por esto que se escoge el variador PowerFlex 525 con referencia 25B-B2P5N104 de la marca Allen-Bradley.

Se hace necesario el uso de sensores con el fin de detectar cuando haya piezas suficientes para introducir en la caja y también para detectar la presencia de esta. Se piensa usar auto réflex con supresión de fondo, ya que a diferencia del réflex solo se necesita el sensor, por lo que ocupa menos espacio y permite que las piezas puedan estar organizadas sin desviar su camino. Por otro lado, debe ser con supresión de fondo ya que las piezas son blancas, lo que hace que, si no tiene la supresión de fondo, no detecte la pieza afectando la aplicación y el funcionamiento de esta y en cuanto al sensor de la caja, es una ventaja que tenga supresión de fondo para que no confunda la caja con el resto de la aplicación y solo envíe la señal cuando realmente haya una caja presente. La referencia escogida para este sensor es WTB4S-3P2261 de la marca SICK ya que cumple con los parámetros requeridos como el hecho de que pueda detectar un componente a una distancia mínima de 4 mm y que sus dimensiones son 12,2 mm x 41,8 mm x 17,3 mm.

Con el fin de programar las decisiones que debe tomar el sistema frente a diferentes situaciones y recibir las señales de los sensores, es necesario utilizar un PLC. Para esto se debe tener en cuenta el número de entradas y de salidas necesarias, en el diseño se piensa hacer uso de cuatro entradas y cinco salidas, sin embargo, se tiene presente que el PLC escogido debe tener un mayor número de entradas y salidas para dejar la posibilidad en un futuro de que se amplie la aplicación o se introduzcan más elementos, permitiendo tener posibilidad de crecimiento y de ser adaptable. Adicionalmente se tiene en cuenta que debe tener una alimentación de 24 V. En esta aplicación no se utiliza conexión por EtherCat pero

el dispositivo escogido deja abierta la posibilidad. En cuanto a la marca, se busca que sea la misma de los robots, ya que permiten tener una integración más sencilla en los software utilizados. Es por esto que se propone utilizar el PLC básico de Omron con referencia CP1L-EL20DR-D.

Un factor muy importante para tener en cuenta en un diseño de una aplicación industrial es la seguridad, por lo que en este caso se debe poner un control que sea único para este elemento. Debido a que se tienen cuatro paros de emergencia y un interlock para la puerta, no se requiere de un sistema muy complejo, lo que hace innecesario el uso de un PLC de control, permitiendo utilizar componentes más sencillos y económicos como los relés de seguridad. Para escogerlo se debe tener en cuenta la categoría de seguridad, las entradas requeridas y las salidas. En este caso se debe escoger uno que tenga una entrada doble canal, para tener doble seguridad, y una entrada de reset, así como una salida doble canal normalmente abierta que vaya a los variadores y una salida que vaya al interlock para habilitar o deshabilitar la bobina. Por lo tanto, el relé que se propone es el G9SB-301-D de la marca Omron que ofrece estas características y además se puede integrar fácilmente en el ecosistema de la aplicación.

El paro de emergencia propuesto es el A22E-M-02 ya que tiene doble canal, lo cual es ideal para lograr la integración con el relé. Se piensa usar cuatro de estos en serie con el interlock. La referencia del interlock debe cumplir con un contactor doble canal y un reset para la bobina por lo que se propone utilizar el D4SL-N2NFA-D4 ya que permite tener los contactores necesarios, con redundancia de doble confirmación, y mantener la puerta bloqueada en todo momento para que solo se pueda desbloquear cuando se oprima un paro de emergencia y se energice el circuito asociado a esta conexión en el relé.

Adicionalmente, el robot Viper debe levantar cuatro pucks al tiempo, por lo que el vacío que se genera directamente con el robot no es suficiente y se hace necesario utilizar una válvula externa, conectada al puerto XIO del robot, para activar y desactivar el vacío con un generador de vacío externo también. La válvula escogida fue la VP342-5DZ1-02FA de la marca SMC.

Finalmente, para escoger la fuente principal se debe hacer un cálculo de las cargas del sistema, es así como después de sumar las corrientes de los dispositivos y aumentar un 25% se concluye que la fuente a utilizar debe ser de 20 A y de 24 V, por lo que debe tener una potencia de 480 W. Por este motivo se propone escoger la fuente con referencia S8VK-G48024 de la marca OMRON. Por otro lado, para los componentes de seguridad se utiliza otra fuente aparte, ya que es una práctica cautelosa alimentar estos componentes con una fuente diferente a la principal para que dado el caso de que algo falle, no se vea afectado el circuito principal. Es por esto que al sumar las corrientes de los componentes de seguridad se obtiene que la fuente requerida es de 0,35 A y comercialmente se encuentra de 1,3 A, por lo que se escoge esta fuente con referencia S8VK-G03024 de la marca OMRON. En el anexo 1 del capítulo de anexos se puede encontrar más información sobre los componentes y sus conexiones.

4.6. Integración

4.6.1. Diagrama de componentes

A continuación, en la figura 32, se muestra un diagrama de cómo están conectados los componentes con el fin de tener una ayuda visual de lo explicado en el apartado anterior.

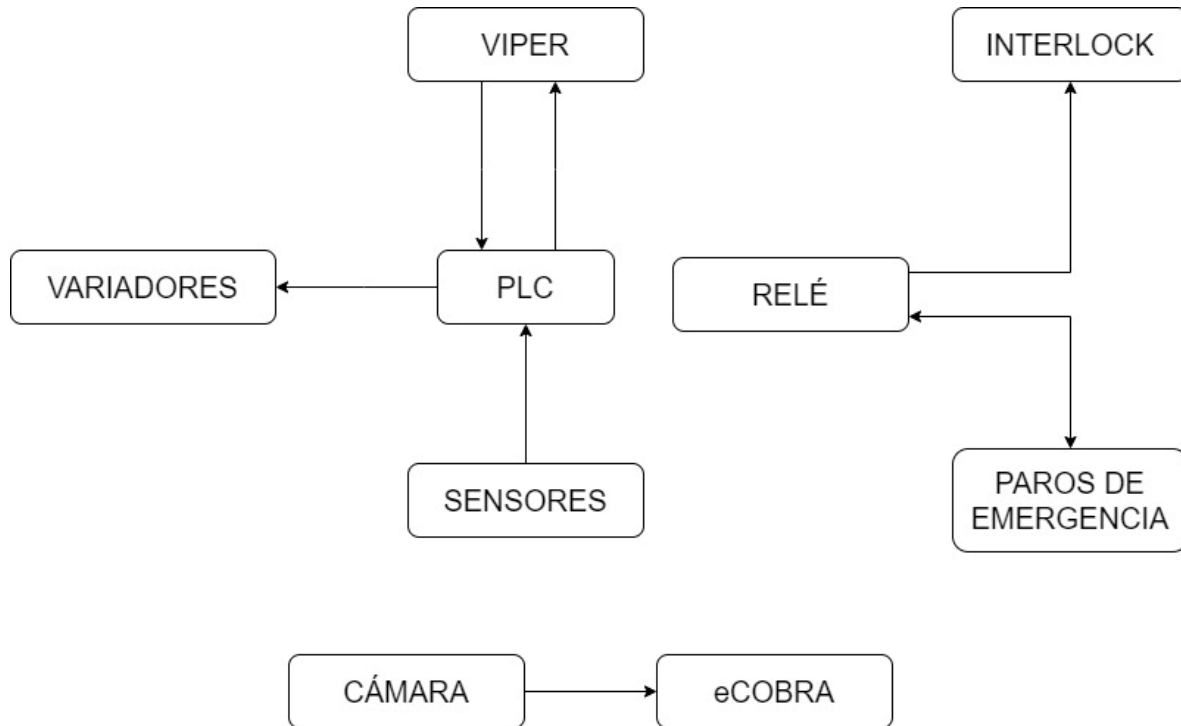


Figura 32. Diagrama de componentes. Fuente: elaboración propia

4.6.2. Descripción de la integración

Una vez definidos los componentes se debe realizar la integración de los mismos. Para esto se debe entender cómo interactúan entre sí. Para efectos de entendimiento, se enumerará la banda por donde llegan las piezas como banda 1, la banda donde se ponen organizadas como banda 2 y donde se meten a la caja como banda 3, esta numeración se puede apreciar en la figura 27. La banda 1 está en todo momento encendida, ya que lo que se quiere es que lleguen los pucks de forma constante y que la cámara pueda ver dónde están y enviarle la señal al robot por medio del conector de XIO. El PLC entonces hace que la banda 1 se encienda cuando todo el sistema lo haga y que solo se apague cuando todo se apague o cuando se oprima un paro de emergencia. La banda 2 tiene dos carriles para ayudar a ubicar las piezas y el robot Viper coge cuatro piezas a la vez organizadas en una matriz 2x2 y los sensores están ubicados transversales a la dirección de la banda dos en una posición que detecte cuando el arreglo 2x2 está completo (figura 33). Cabe aclarar que al final de la banda hay un elemento físico que permite que los pucks no se salgan de la banda sino que lleguen hasta ahí y se vayan acumulando debido a que la banda sigue avanzando y llevando más piezas

hasta que el robot Viper las retire. La banda 2 debe parar cuando los sensores detecten que hay dos piezas por más de 1,5 segundos, ya que esto indica que no está pasando un puck, sino que está estático en esa posición. Los sensores están conectados al PLC por lo que cuando se cumpla el tiempo programado, el PLC envía una señal al variador de la banda 2 para que la detenga y al Viper para que vaya a recoger las piezas. Se debe parar la banda ya que de lo contrario las piezas siguen llegando y se van acumulando, haciendo presión a las piezas que va a coger el Viper, por lo que dificulta la tarea de este y hace que se corra el riesgo de que las ventosas del Viper no puedan coger todas las piezas. Inmediatamente los sensores dejen de detectar piezas porque el Viper las recogió, el PLC vuelve a prender el variador de la banda 2 y la para nuevamente cuando esté completa la matriz.

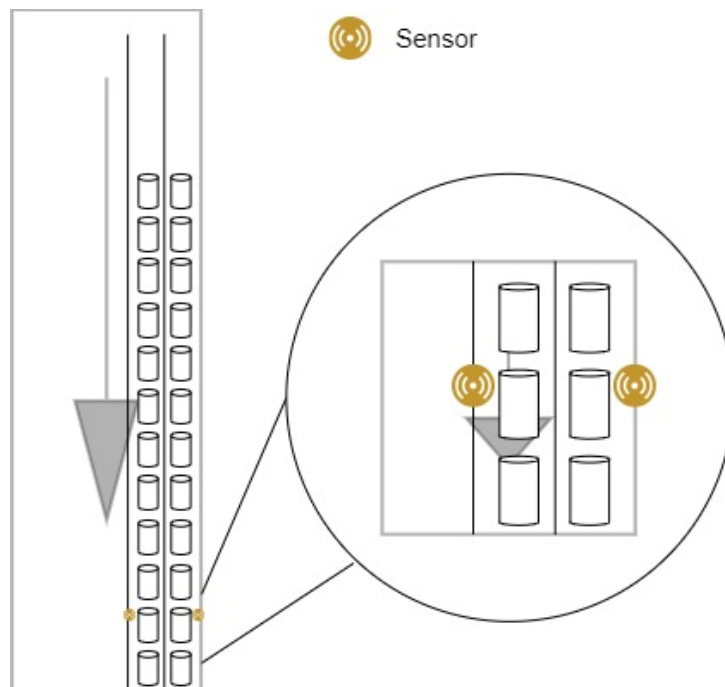


Figura 33. Ubicación sensores banda 2. Fuente: elaboración propia

Cuando el contador del Viper detecte que ya se ha hecho el recorrido seis veces, es decir que ya han ubicado las 24 piezas en la caja, se envía la señal al PLC y se activa el variador de la banda 3 para que se lleve esa caja al área de paletizado y que así mismo llegue una nueva caja. Cuando el sensor ubicado en la tercera banda (figura 34) detecte que hay una caja, debe enviarle una señal al variador para que detenga esta banda y que el Viper pueda meter las piezas nuevamente.

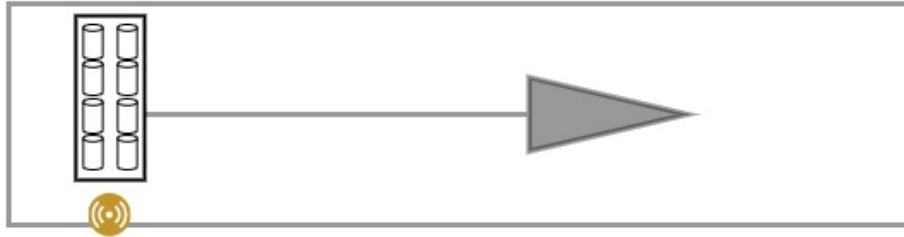


Figura 34. Sensor banda 3. Fuente: elaboración propia

Se debe aclarar que cuando se active cualquiera de los paros de emergencia se interrumpen todos los procesos, es decir que los variadores detienen las bandas, también se detienen los robots y se desactiva el interruptor de la puerta para permitir el ingreso del personal al área de los robots en caso de ser necesario. Este proceso se realiza a través del relé de seguridad que es el encargado de parar el proceso.

Simulación

Para realizar la simulación se utilizó el software Sysmac Studio, el cual tiene integrado el software de Adept Automation Control Environment (ACE) que es un paquete de software basado en PC que contiene una colección de herramientas para configurar, programar, controlar y monitorear equipos. Se accede a estas herramientas a través de la interfaz gráfica de usuario (GUI) de ACE™, que proporciona un entorno fácil de usar, de apuntar y hacer clic [38]. Por medio de una de las herramientas que ofrece el programa se puede hacer un wizard para realizar la simulación. El proceso, que se divide en cuatro fases, será explicado a continuación.

La primera fase consiste en escoger de qué forma serán recogidas las piezas por el robot, es decir si estarán en una posición fija, en una banda, si hay alguna cámara etc. De la misma forma se escoge cómo serán entregadas las piezas y si se quiere hacer un refinamiento de la posición. A continuación, se muestra una imagen (figura 35) de cómo se presentan las opciones.

Muestra de aplicación del gestor de procesos

Configuración de recogida

Seleccionar la configuración de recogida

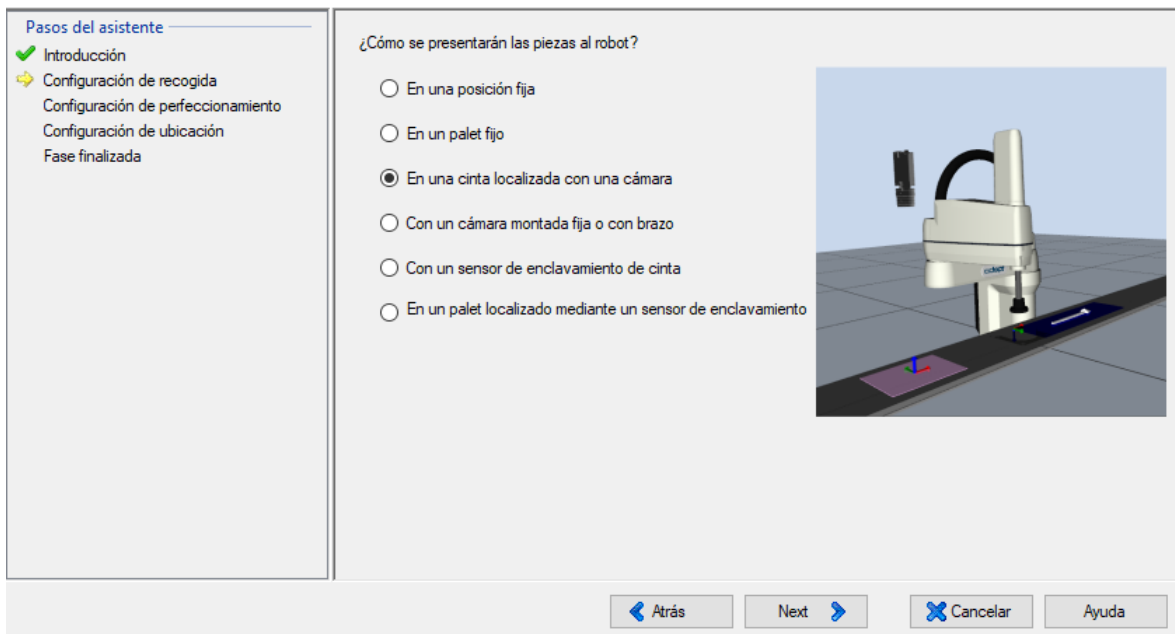


Figura 35. Primera fase. Fuente: elaboración propia

Para el presente proyecto se escogió que las piezas fueran recogidas sobre una banda con cámara, ya que como se ha mencionado, estas caen de forma desordenada y debe ver cómo

viene la pieza y así mismo cogerla y acomodarla en la otra banda. No se escogió hacer refinamiento y para la posición de entrega se eligió un pallet fijo, ya que, al ser sobre una banda, se puede poner siempre la misma posición y hacer que la banda sea la que se mueva.

Para la segunda fase se identifica el controlador y el robot que se quiere usar en la aplicación. Al estar trabajando en emulación, se debe poner la dirección IP 127.0.0.1, ya que esta es la que se utiliza para conectarse con el controlador virtual. Posteriormente se deben escoger los robots, en este caso se escoge el eCobra 600 Pro y el Viper 850. Se deben ubicar en el espacio, por lo que el diseño realizado en las secciones anteriores entra en juego. Para esto, se debe seleccionar un robot como origen, en este caso el eCobra, y situar el otro con ese marco de referencia. En la figura 36 se puede ver cómo se realiza este proceso.

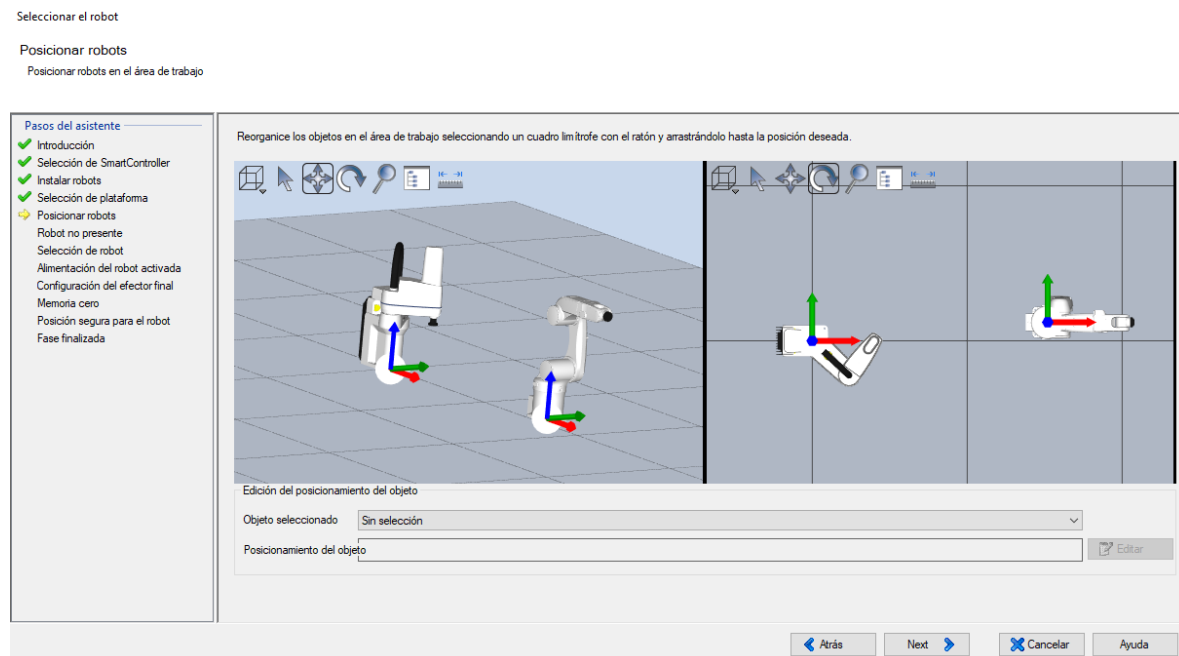


Figura 36. Ubicación robots. Fuente: elaboración propia

Para la tercera fase se debe escoger un robot para iniciar la programación y escoger la posición segura del mismo. Para las instrucciones de recogida del paso siguiente se empieza por escoger la cámara, se debe seleccionar la cámara de emulación ya que es la que incluye la simulación. Posterior a esto, se entrena la ventana de la cinta, que es la encargada de mostrar desde qué parte de la banda empiezan a salir las piezas, desde dónde procesa la información de la cámara y dónde puede coger las piezas el robot. En la figura 37, se puede apreciar la flecha sobre la banda, que indica en qué sentido se mueven las piezas, la línea azul que indica el final de la banda y la línea morada, que indica que las piezas deben ser recogidas antes de este límite preferiblemente, debido a que es probable que una vez pasen este límite el robot deje de seguir las.

Entrenar la ventana de la cinta

Use el ratón para entrenar la ventana de la cinta en el display virtual

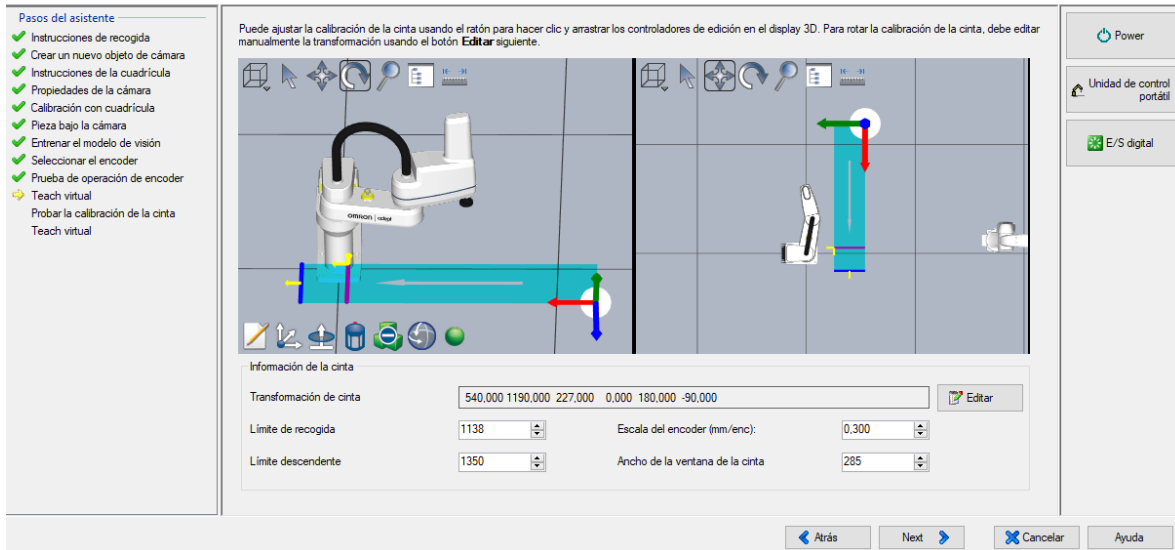


Figura 37. Configuración banda pick. Fuente: elaboración propia

Para probar la calibración de la cinta se debe ubicar el robot sobre la banda y activarla, a lo que el robot debe responder siguiendo en línea recta la posición en la que fue puesto mientras se desplaza la banda. Esto con el fin de calibrarlo para que le haga seguimiento a la pieza antes de cogerla. En este mismo paso se ubica la cámara sobre la banda, por lo que se ajustan los valores correspondientes de “x”, “y” y “z”.

Para la cuarta fase se escoge la configuración del pallet para hacer el *place*, en este caso se elige que sea de 1 en “x” y 2 en “y”, esto debido a que como la banda se mueve, no se hace necesario hacer place en diferentes posiciones de “x” sino que solo se debe hacer en “y”. En la figura 38, se puede ver esta ventana de la simulación.

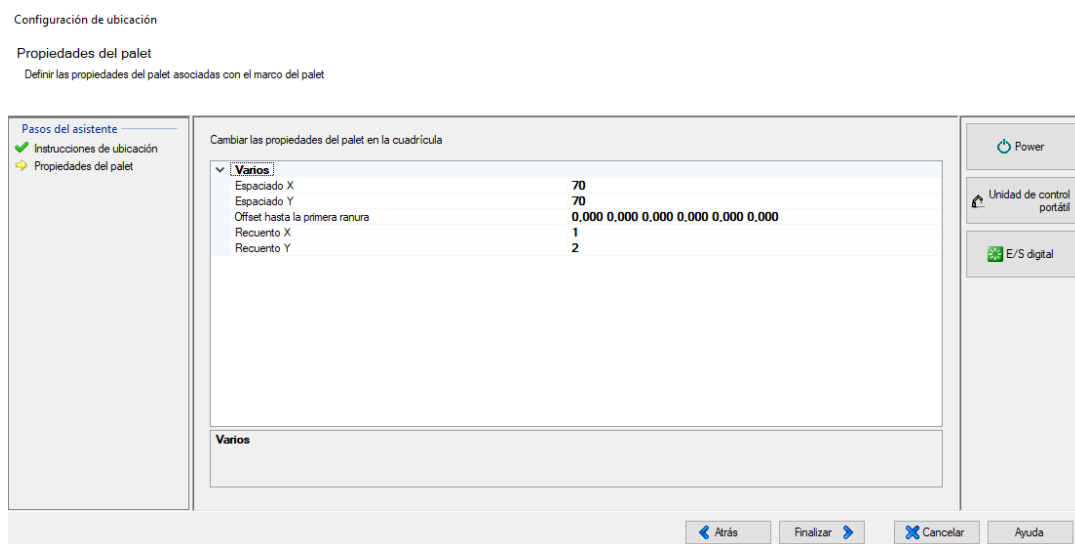


Figura 38. Configuración pallet. Fuente: elaboración propia

Consecutivamente, se posiciona el robot sobre una pieza de ejemplo para calibrar el robot con los cálculos hechos internamente por el programa, es decir, según el encoder de la banda, el robot detecta una posición que comprueba y compara con la que se le programa. Por último, se posiciona el robot sobre el pallet del *place*, es decir, el origen (figura 39(a)), la primera ranura del pallet (figura 39(b)), el “+Y” (figura 39(c)) y el lado “+X” (figura 39(d)).

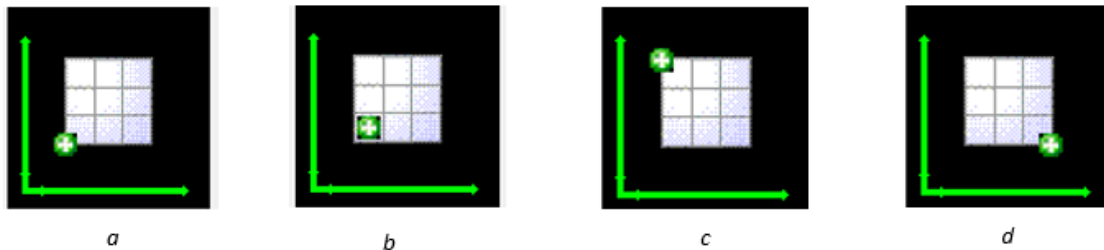


Figura 39. Posiciones (a) Pallet origen (b) Primera ranura (c) Pallet +Y (d) Pallet +X. Fuente: elaboración propia

Hasta este punto se tiene una configuración como la que se muestra en la figura 40.

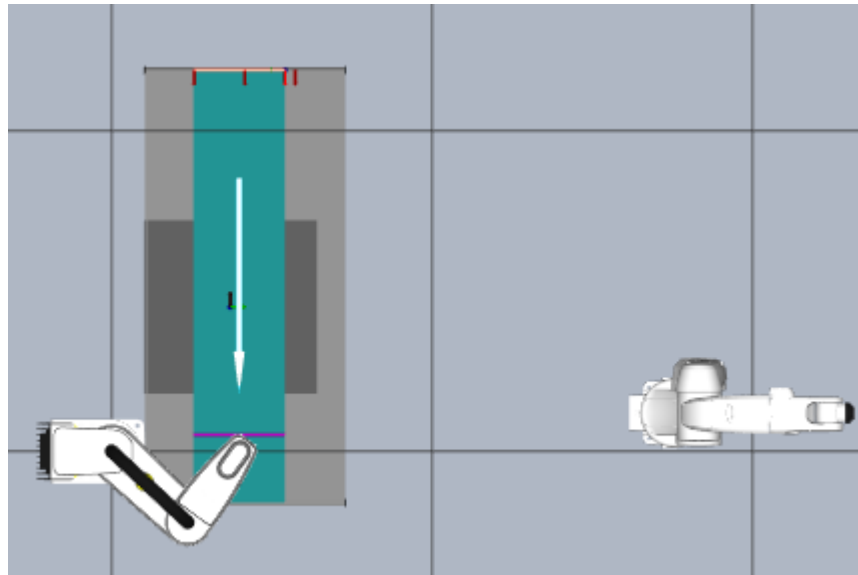


Figura 40. Visualización robots. Fuente: elaboración propia

Ahora se debe agregar la banda donde el robot eCobra debe hacer el *place*, las separaciones de la banda del *place* y la caja. Para agregar estos componentes a la simulación, se debe dar en nuevo, escoger proceso y por último la opción de la cinta. Aquí nuevamente sale un wizard para hacer la configuración de esta, escogiendo el largo, ancho, la posición en el espacio y el controlador al cual está asociada. El resultado se ve en la figura 41 a continuación.

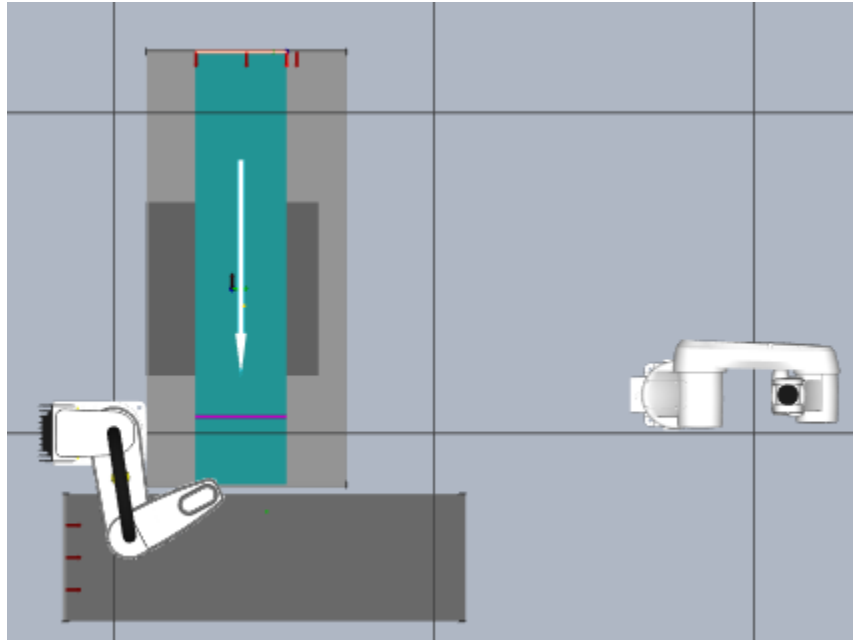


Figura 41. Banda del place. Fuente: elaboración propia

Para las separaciones de la banda de *place*, se creó un CAD de la estructura en un software online llamado Onshape, este elemento se mete dentro de la aplicación, el CAD quedó como se muestra en la figura 42.

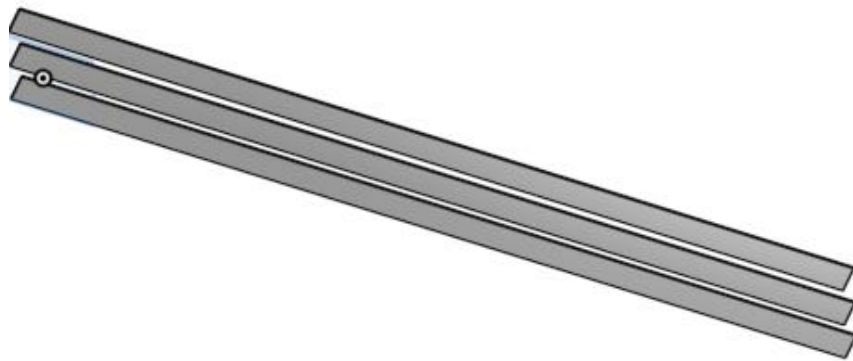


Figura 42. Estructura banda. Fuente: elaboración propia

De esta misma forma se crea la caja. Para adicionar los CAD al programa, se debe dar en nuevo, visualización 3D y datos CAD, donde se seleccionan los elementos que se crearon desde la librería en el computador. Una vez seleccionados se debe asociar a un parent o punto de referencia y ubicarlos en el espacio. De esta forma, el escenario para la simulación quedaría como se muestra en la figura 43.

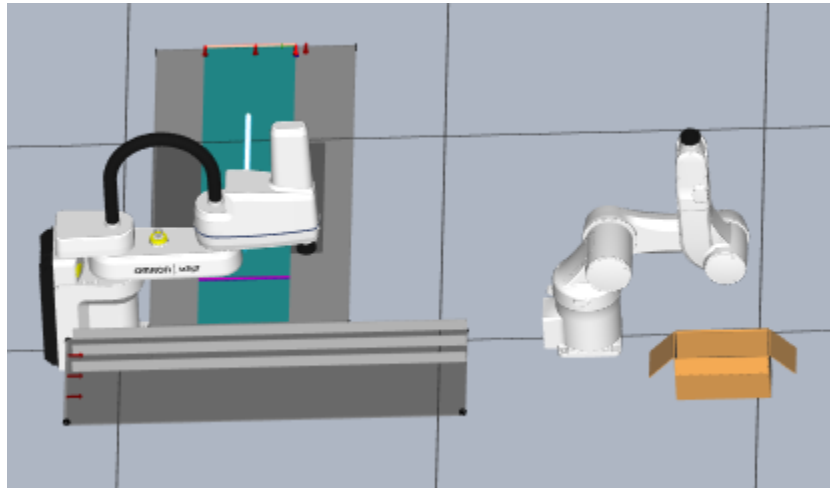


Figura 43. Entorno para simulación con robots y elementos. Fuente: elaboración propia

De la misma manera como se hizo la banda para el *place* del eCobra, se crea y se ubica la banda sobre la que se pone la caja que debe ir al paletizado.

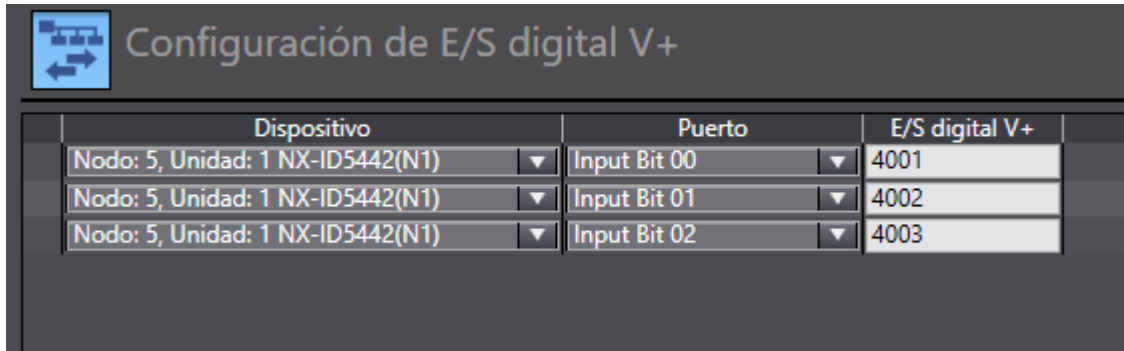
Con el fin de integrar los robots y las bandas, se hace uso de una de las funciones del Sysmac Studio, que consiste en realizar programas de PLC para manejar las bandas y poder apreciarlos en la simulación. Para esto se debió insertar el acoplador de EtherCAT, el controlador de los servomotores y configurar los ejes de cada una de las bandas. El acople se puede ver en la figura 44.

| Dirección de nodo | | Configuración de Red | |
|-------------------|--|----------------------|--------------------------|
| | | Maestro | Maestro |
| 6 | | E006 | R88D-1SAN02H-ECT Rev:1.0 |
| 2 | | E002 | Viper 850 Rev:1.0 |
| 3 | | E003 | R88D-1SAN02H-ECT Rev:1.0 |
| 1 | | E001 | eCobra 600 Pro Rev:1.0 |
| 4 | | E004 | R88D-1SAN02H-ECT Rev:1.0 |
| 5 | | E005 | NX-ECC201 Rev:1.2 |

Figura 44. Integración componentes. Fuente: elaboración propia

Adicionalmente, se debió ajustar la configuración de entradas y salidas digitales de cada uno de los servomotores, es decir el puerto y la señal del encoder para relacionarlas con las bandas como se aprecia en la figura 45. La banda 1 se programó para que todo el tiempo estuviera encendida, la banda 2 se programó para que cada que estuvieran las cuatro piezas donde el robot Viper las pudiera coger frenara, esto con el fin de simular el uso de los sensores autoreflex para que el robot Viper cogiera las piezas y las metiera en la caja. La banda número 3 se programó para que llevara la caja al lugar destinado y frenara cuando estuviera en la

posición establecida, esto con la intención de simular los sensores de detección de caja. Así mismo, que volviera a avanzar cuando se completaran los seis pasos, es decir, cuando los 24 pucks estuvieran en la caja, simulando así la señal del robot utilizada como contador para indicar que ya había realizado la tarea y que la banda podía avanzar.



| Dispositivo | Puerto | E/S digital V+ |
|----------------------------------|--------------|----------------|
| Nodo: 5, Unidad: 1 NX-ID5442(N1) | Input Bit 00 | 4001 |
| Nodo: 5, Unidad: 1 NX-ID5442(N1) | Input Bit 01 | 4002 |
| Nodo: 5, Unidad: 1 NX-ID5442(N1) | Input Bit 02 | 4003 |

Figura 45. Configuración E/S. Fuente: elaboración propia

Para la programación de estas bandas, se hizo uso de la opción de script y del PLC, de esta forma, para la banda 2 se creó una variable que cambiaba de estado cuando estuvieran las cuatro piezas y le enviaba la señal al PLC para detener la banda mientras el Viper cogía los pucks, donde posteriormente la volvía a activar. En la figura 46 se puede apreciar el programa “pick_viper” el cual es el encargado de realizar los movimientos del pick del robot Viper, es decir, la aproximación a la pieza, la revisión de errores, la toma de la pieza y el inicio de la partida. el estado de la variable con el fin de que detenga la banda.

```

1  ▢ .PROGRAM pick_viper(tsk.idx, $type, blt.idx, reference, pal.idx, grip.idx, grip.state, pos, vals[], sts)
2
3  ; ABSTRACT: Perform a move defined by a motion sequence.
4  ;
5  ; INPUTS:      tsk.idx      Index of the task
6  ;              $type       Type of item being operated on
7  ;              blt.idx     Belt number to move to
8  ;                      0 = Non-belt relative move
9  ;                      > 0 = Belt relative move
10 ;              reference   Encoder/reference position associated
11 ;                          with the belt.
12 ;              pal.idx     Instance pallet index
13 ;              grip.idx    Gripper index to use
14 ;              grip.state  Expected gripper state
15 ;              pos        Location of the object/type
16 ;              vals        The motion configuration array
17 ;

```

Figura 46. Programa pick_viper. Fuente: elaboración propia

Se crea la variable externa “pallet”, que es la encargada de cambiar el estado de la banda de prendido a apagado y viceversa como se ve en la figura 47.

```

34
35     AUTO REAL at.wait, belt.win.idx, code, code2, distance, offset, tmp
36     AUTO REAL resp, rob.num, tmp[6]
37     AUTO $cust.program, $f.name
38     AUTO LOC appro.pos, depart.pos, grip.trans, position
39     EXTERNAL pallet
40
41     sts = pm.tsk.success
42

```

Figura 47. Variable pallet. Fuente: elaboración propia

Se cambia el estado de la variable justo antes de que el robot se vaya a acercar a recoger las piezas como se aprecia en la figura 48.

```

180 ; Check the gripper selection and part presence
181
182     CALL pm.gr.select.ck(tsk.idx, grip.idx, resp)
183     IF (resp <> pm.tsk.success) THEN
184         sts = resp
185         GOTO 100
186     END
187
188     WAIT.EVENT , 0.1
189     CALL pm.gr.pres(tsk.idx, grip.idx, grip.state, resp)
190     IF (resp <> pm.tsk.success) THEN
191         sts = resp
192         GOTO 100
193     END
194     pallet = pal.idx
195

```

Figura 48. Cambio de estado pallet. Fuente: elaboración propia

Esta variable se lleva al PLC para controlar la banda y de esta forma poder activarla y desactivarla, mientras la variable sea 0, es decir que no están las piezas presentes, la banda debe moverse con normalidad. Mientras que cuando cambie al índice del pallet, la banda debe detenerse hasta que vuelva a cambiar de estado a 0.

En la figura 49 se puede ver la integración con el PLC. Lo que se hace es activar la banda, comparar la variable “pallet” con 0 ya que si $pallet = 0$, la banda debe moverse, pero si $pallet \neq 0$, la banda debe parar y posteriormente enviarle el pulso a la banda por medio de la variable *Tiempo_Arranque.Q* que está indicada en la línea 5. De esta forma, cuando se cumpla con la condición, el circuito estará cerrado, pero cuando *pallet* deje de ser 0, el circuito se abrirá, dando como resultado que la banda se detenga.

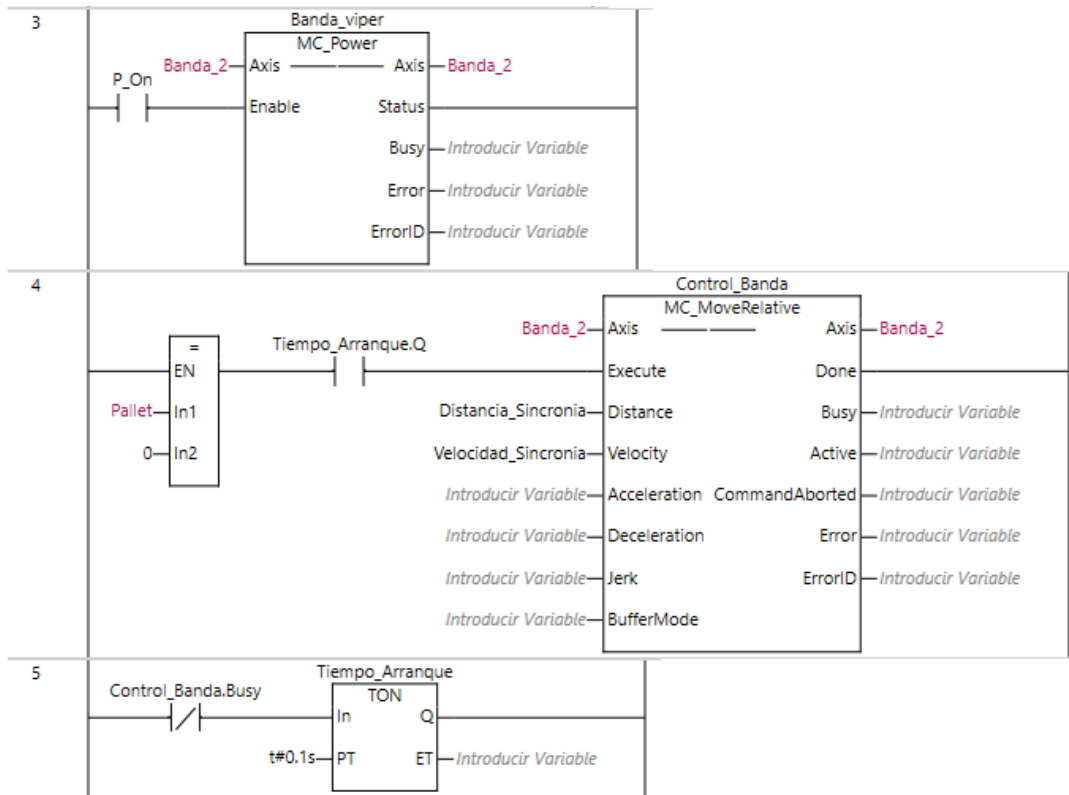


Figura 49. Pallet en el PLC. Fuente: elaboración propia

Los valores de *Distancia_Sincronia* y *Velocidad_Sincronia* están definidos una línea más arriba junto con el valor de la velocidad de la banda 1 como se ve en la figura 50. Estos valores se escogieron según la velocidad y distancia que permiten tener una sincronía entre las bandas y ambos robots.

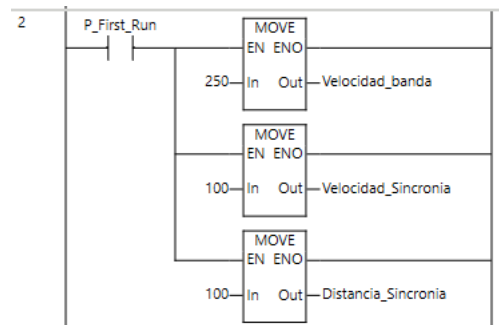


Figura 50. Velocidades y distancia banda eCobra. Fuente: elaboración propia

En el programa “*place_viper*” se realiza el cambio de estado nuevamente de la variable *pallet* a 0 y se crea el contador del robot Viper para indicar cuando el robot ha introducido todas las piezas en la caja. En la figura 51 se puede ver la declaración de este programa.

```

1 .PROGRAM place_viper(tsk.idx, $type, blt.idx, reference, pal.idx, grip.idx, grip.state, pos, vals[], sts)
2
3 ; ABSTRACT: Perform a move defined by a motion sequence.
4 ;
5 ; INPUTS:      tsk.idx      Index of the task
6 ;              $type       Type of item being operated on
7 ;              blt.idx      Belt number to move to
8 ;                      0 = Non-belt relative move
9 ;                      > 0 = Belt relative move
10 ;              reference    Encoder/reference position associated
11 ;                          with the belt.
12 ;              pal.idx     Instance pallet index
13 ;              grip.idx    Gripper index to use
14 ;              grip.state   Expected gripper state
15 ;              pos         Location of the object/type
16 ;              vals        The motion configuration array
17 ;
18 ; OUTPUTS:     sts         Status of the operation
19 ;                      pm.tsk.success = Successful operation
20 ;                      pm.tsk.retry  = Retry the operation
21 ;                      pm.tsk.skip   = Skip the operation
22 ;                      pm.tsk.abort  = Abort the operation
23 ;                      pm.tsk.next   = Move to the next operation
24 ;                      pm.tsk.cancel = Cancel the operation

```

Figura 51. Programa place_viper. Fuente: elaboración propia

Se crea la variable externa “viperpuck”, que es la encargada de cambiar el estado de la banda de encendido a apagado y viceversa como se ve en la figura 52.

```

35 AUTO REAL at.wait, belt.win.idx, code, code2, distance, offset, tmp
36 AUTO REAL resp, rob.num, tmp[6]
37 AUTO $cust.program, $f.name
38 AUTO LOC appro.pos, depart.pos, grip.trans, position
39 EXTERNAL viperpuck
40
41 sts = pm.tsk.success

```

Figura 52. Variable viperpuck. Fuente: elaboración propia

Más adelante se cambia el estado de *pallet* a 0 nuevamente, que quiere decir que la banda puede avanzar nuevamente. Así mismo, se realiza la verificación de la cantidad de piezas que ha puesto el robot en la caja, debe ir y volver seis veces en total, indexado del 0 al 5. De esta forma, se compara *viperpuck* con el índice, por lo que cuando *viperpuck* es 5, debe entregar otra caja y devolver el valor a 0 para empezar a llenar una nueva caja. La comparación se hace cuando ya se ha dejado la pieza en la caja y la parte del código donde se devuelve el valor a 0 se ubica al inicio de este cuando el robot se está acercando a la caja. En las figuras 53 y 54 se puede apreciar la porción de código donde se realizan estas acciones.

```

167 ; Approach the point
168 IF (viperpuck == 5) THEN
169     viperpuck = 0
170 END
171 pallet = 0
172 CALL pm.def.oper(tsk.idx, pm.oper.appro)
173 CALL pm.mv(blt.idx, appro.pos, pm.ms.aoffset, vals[])
174 CALL pm.mv.chkbrk(pm.ms.aoffset, vals[])

```

Figura 53. Reset valores pallet. Fuente: elaboración propia

```

240 ; Perform the depart
241
242     80 ; Start the motion
243
244     CALL pm.def.oper(tsk.idx, pm.oper.depart)
245     CALL pm.mv(blt.idx, depart.pos, pm.ms.doffset, vals[])
246     viperpuck = pal.idx

```

Figura 54. Index pucks. Fuente: elaboración propia

La integración en el PLC se puede apreciar en la figura 55 a continuación. Aquí se tiene la activación de la caja y el impulso que se da cada vez que *viperpuck* es igual a 5 y que se traduce en movimiento de la banda.

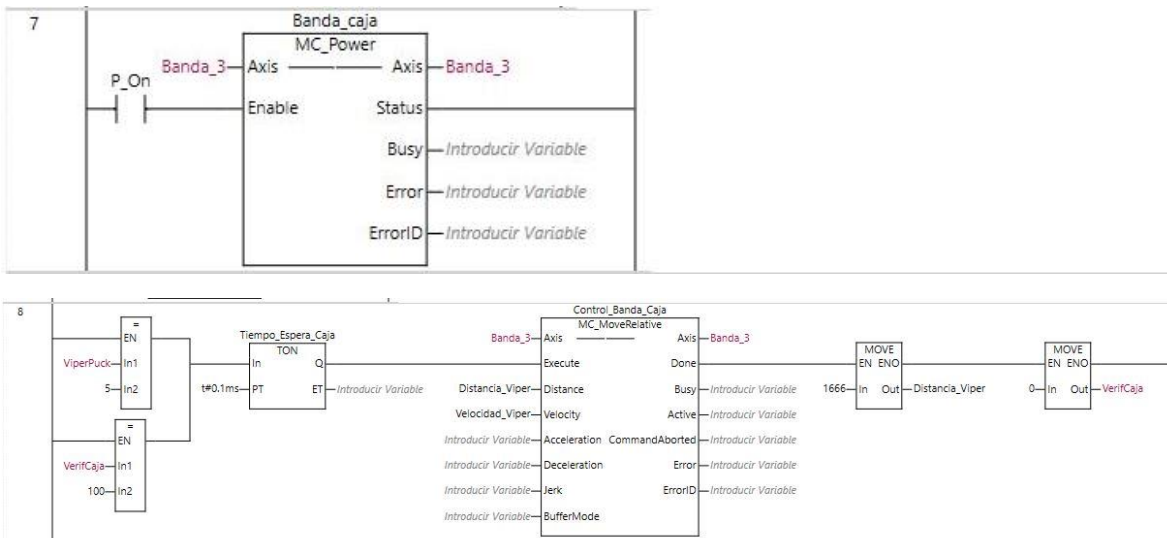


Figura 55. Integración PLC y viperpuck. Fuente: elaboración propia

Los valores de *Distancia_Viper* y *Velocidad_Viper* están definidos en la línea 6 como se aprecia en la figura 56. El valor de la velocidad se obtuvo según la optimización de la aplicación, es decir, que el robot no tuviera que quedarse quieto esperando sino por el contrario, que siempre tuviera donde poner las piezas. El valor de la distancia para la aplicación se obtuvo de dividir 500 entre 0,3 ya que la distancia entre una caja y la otra es de 500 mm y el encoder se mueve la banda 0,3 mm por paso, por lo tanto, con la *Distancia_Viper* de 1666 se logra que cada vez que se prenda la banda, avance exactamente hasta donde debe hacerlo simulando el sensor de caja. Sin embargo, el valor de la distancia inicial se obtuvo de multiplicar el valor de la distancia por dos para mover lo suficiente la banda como para que saliera la primera caja y ajustándolo para que la esta quedara en la posición correcta.

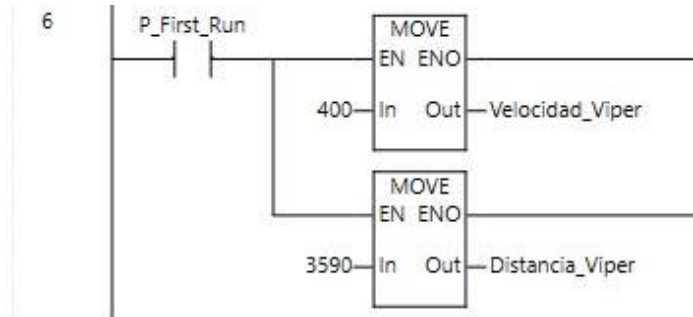


Figura 56. Velocidades y distancias banda Viper. Fuente: elaboración propia

En el anexo 2 del capítulo de anexos se puede observar un video de la simulación.

Evaluación

Tras haber realizado la simulación, se analizan los resultados obtenidos con la aplicación. En la figura 57 que se ve a continuación, se pueden observar cada uno de los parámetros tenidos en cuenta para la evaluación. El *tiempo de inactividad* corresponde al porcentaje de tiempo que los robots estaban quietos durante la simulación. El *tiempo de procesamiento* es el porcentaje de tiempo en que los robots estaban trabajando, por lo que al sumar el *tiempo de inactividad* y el *tiempo de procesamiento*, se obtiene 100% ya que indicaría la totalidad del tiempo. Los *destinos por minuto* quieren decir las piezas que el robot cogió, es decir a las que les hizo el pick, y que las puso en el destino o el place. Las *piezas no procesadas* son aquellas que el robot no alcanzó a coger por las diferentes razones, como que estaba ocupado o que por velocidad no alcanzó a coger. Finalmente, el *tiempo total* corresponde al tiempo que llevaba la simulación andando.

Por otro lado, el primer apartado *gestor de procesos – Estadísticas generales* corresponde a la aplicación completa, es decir a las estadísticas de los dos robots juntos. El segundo y tercer apartado *gestor de procesos – R1 Cobra600* y *gestor de procesos – R2 Viper850* corresponde a las estadísticas de cada robot por separado respectivamente. Cabe recordar que los destinos del robot Viper deben ser multiplicados por cuatro, ya que este robot coge cuatro piezas en cada agarre, es decir que hacer un destino por minuto sería lo mismo que decir cuatro piezas por minuto para este robot.

| Datos seleccionados | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|--------------------------|
| Nombre de datos | Valor | Límites | Gráfico |
| ▼ Gestor de procesos [ApplicationManager0] - Estadísticas generales | | | |
| Tiempo de inactividad (%) | | | <input type="checkbox"/> |
| Tiempo de procesamiento (%) | | | <input type="checkbox"/> |
| Destinos por minuto | | | <input type="checkbox"/> |
| Piezas no procesadas | | | <input type="checkbox"/> |
| ▼ Gestor de procesos [ApplicationManager0] - R1 Cobra600 [RobotControlSettings] Estadísticas | | | |
| Tiempo de inactividad (%) | | | <input type="checkbox"/> |
| Tiempo de procesamiento (%) | | | <input type="checkbox"/> |
| Tiempo total (ms) | | | <input type="checkbox"/> |
| Destinos por minuto | | | <input type="checkbox"/> |
| Piezas no procesadas | | | <input type="checkbox"/> |
| ▼ Gestor de procesos [ApplicationManager0] - R2 Viper850 [RobotControlSettings] Estadísticas | | | |
| Tiempo de inactividad (%) | | | <input type="checkbox"/> |
| Tiempo de procesamiento (%) | | | <input type="checkbox"/> |
| Destinos por minuto | | | <input type="checkbox"/> |
| Piezas no procesadas | | | <input type="checkbox"/> |

Figura 57. Tabla de estadísticas. Fuente: elaboración propia

En la figura 58 se puede observar el comportamiento de los robots cuando ambos estaban a un 80% de su velocidad. Se puede ver que después de cuatro minutos, el robot eCobra hacía un pick and place aproximado de 31 piezas por minuto, pero para este momento había nueve piezas que no había alcanzado a coger, lo que quiere decir que tendrían que ser recogidas y puestas nuevamente en la banda. También estaba funcionando con un tiempo de procesamiento de 97,20%, lo cual es un valor aceptable ya que está funcionando la gran mayoría del tiempo, sin embargo, aún podría mejorarse. En cuanto al robot Viper, se ve que estaba cogiendo 8,5 paquetes de cuatro por minuto, si se sabe que en cada caja van seis paquetes de cuatro, entonces se puede apreciar que está haciendo 1,44 cajas por minuto. De la misma forma, se ve que el tiempo de procesamiento de este robot es menor que el del robot eCobra, ya que está trabajando 94,85% del tiempo.

| Datos seleccionados | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------|--------------------------|
| Nombre de datos | Valor | Límites | Gráfico |
| ▼ Gestor de procesos [ApplicationManager0] - Estadísticas generales | | | |
| Tiempo de inactividad (%) | 3,97 | | <input type="checkbox"/> |
| Tiempo de procesamiento (%) | 96,03 | | <input type="checkbox"/> |
| Destinos por minuto | 40,12 | | <input type="checkbox"/> |
| Piezas no procesadas | 9,00 | | <input type="checkbox"/> |
| ▼ Gestor de procesos [ApplicationManager0] - R1 Cobra600 [RobotControlSettings] Estadísticas | | | |
| Tiempo de inactividad (%) | 2,80 | | <input type="checkbox"/> |
| Tiempo de procesamiento (%) | 97,20 | | <input type="checkbox"/> |
| Tiempo total (ms) | 260.236,13 | | <input type="checkbox"/> |
| Destinos por minuto | 31,36 | | <input type="checkbox"/> |
| Piezas no procesadas | 9,00 | | <input type="checkbox"/> |
| ▼ Gestor de procesos [ApplicationManager0] - R2 Viper850 [RobotControlSettings] Estadísticas | | | |
| Tiempo de inactividad (%) | 5,15 | | <input type="checkbox"/> |
| Tiempo de procesamiento (%) | 94,85 | | <input type="checkbox"/> |
| Destinos por minuto | 8,55 | | <input type="checkbox"/> |
| Piezas no procesadas | 0,00 | | <input type="checkbox"/> |

Figura 58. Cuatro minutos de simulación con robots al 80%. Fuente: elaboración propia

En la figura 59 se puede apreciar que a los casi ocho minutos de simulación, los robots ya se han estabilizado un poco más y han llegado a su equilibrio. Aquí se puede ver que para el caso de ambos robots, el tiempo de procesamiento ha aumentado, siendo de 98,41% para el robot eCobra y de 97,07% para el robot Viper. Así mismo, los destinos por minuto del robot eCobra disminuyeron y ahora son de 29,97 piezas puestas por minuto con una cantidad mayor de piezas no procesadas, que corresponde a 20. Estos valores son mayores a los que trabaja actualmente la empresa, por lo que supera por nueve piezas el valor de piezas que se procesan por minuto, sin embargo, se tiene un aproximado de que al robot se le pasan 2,6 piezas por minuto, lo cual a gran escala, es decir cuando el robot haya estado corriendo por mucho tiempo, es un inconveniente, ya que en 24 horas, por ejemplo, se le habrían pasado aproximadamente 3744 piezas que deberían ser puestas nuevamente en la banda perdiendo tiempo y aumentando los costos. En cuanto al robot Viper, los destinos por minuto se

incrementaron a 9,07, lo que quiere decir que en el equilibrio entrega 1,5 cajas por minuto, valor que es bastante bueno comparado con el requerimiento de velocidad que pedía una caja en 1,2 minutos o menos, ya que hace una caja en 40 segundos.

| Datos seleccionados | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------|--------------------------|
| Nombre de datos | Valor | Límites | Gráfico |
| ▼ Gestor de procesos [ApplicationManager0] - Estadísticas generales | | | |
| Tiempo de inactividad (%) | 2,26 | | <input type="checkbox"/> |
| Tiempo de procesamiento (%) | 97,74 | | <input type="checkbox"/> |
| Destinos por minuto | 39,03 | | <input type="checkbox"/> |
| Piezas no procesadas | 20,00 | | <input type="checkbox"/> |
| ▼ Gestor de procesos [ApplicationManager0] - R1 Cobra600 [RobotControlSettings] Estadísticas | | | |
| Tiempo de inactividad (%) | 1,59 | | <input type="checkbox"/> |
| Tiempo de procesamiento (%) | 98,41 | | <input type="checkbox"/> |
| Tiempo total (ms) | 456.529,08 | | <input type="checkbox"/> |
| Destinos por minuto | 29,97 | | <input type="checkbox"/> |
| Piezas no procesadas | 20,00 | | <input type="checkbox"/> |
| ▼ Gestor de procesos [ApplicationManager0] - R2 Viper850 [RobotControlSettings] Estadísticas | | | |
| Tiempo de inactividad (%) | 2,93 | | <input type="checkbox"/> |
| Tiempo de procesamiento (%) | 97,07 | | <input type="checkbox"/> |
| Destinos por minuto | 9,07 | | <input type="checkbox"/> |
| Piezas no procesadas | 0,00 | | <input type="checkbox"/> |

Figura 59. Ocho minutos de simulación con robots al 80%. Fuente: elaboración propia

Debido a los resultados anteriores, se intentó aumentar el porcentaje de velocidad de los robots con el fin de incrementar la cantidad de piezas que coge y deja en la banda por minuto y disminuir las piezas no cogidas. Se tuvo en cuenta no dejarlo con el 100% de la velocidad, ya que podría presentar vibraciones o paradas bruscas que con el tiempo podrían afectar el robot. Por lo tanto, se decidió subir su porcentaje a 90%.

En la figura 60, se presentan las estadísticas de los robots a los 5,8 minutos de simulación. Aquí se puede apreciar que el robot eCobra tiene un tiempo de procesamiento de 97,89% y que el valor de destinos por minuto es de 35,37, lo cual es superior a los valores obtenidos cuando la velocidad era de 80%. Así mismo, se observa que ha procesado el 100% de las piezas, lo que quiere decir que no se le ha pasado ninguna. En cuanto al robot Viper, se tiene un tiempo de procesamiento de 96,23% y destinos por minuto de 8,97 que es muy parecido al que se tenía con el 80% de velocidad.

| Datos seleccionados | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------|---------|---------|
| Nombre de datos | Valor | Límites | Gráfico |
| ▼ Gestor de procesos [ApplicationManager0] - Estadísticas generales | | | |
| Tiempo de inactividad (%) | 2,94 | | |
| Tiempo de procesamiento (%) | 97,06 | | |
| Destinos por minuto | 44,34 | | |
| Piezas no procesadas | 0,00 | | |
| ▼ Gestor de procesos [ApplicationManager0] - R1 Cobra600 [RobotControlSettings] | | | |
| Tiempo de inactividad (%) | 2,11 | | |
| Tiempo de procesamiento (%) | 97,89 | | |
| Tiempo total (ms) | 347.756,26 | | |
| Destinos por minuto | 35,37 | | |
| Piezas no procesadas | 0,00 | | |
| ▼ Gestor de procesos [ApplicationManager0] - R2 Viper850 [RobotControlSettings] | | | |
| Tiempo de inactividad (%) | 3,77 | | |
| Tiempo de procesamiento (%) | 96,23 | | |
| Destinos por minuto | 8,97 | | |
| Piezas no procesadas | 0,00 | | |

Figura 60. Cinco minutos de simulación con robots al 90%. Fuente: elaboración propia

A los 10,47 minutos de simulación, como se ve en la figura 61, ambos robots ya superaron el tiempo de procesamiento que se había alcanzado con la velocidad de los robots al 80%. Por un lado, el robot eCobra tiene 98,83% de tiempo de procesamiento y 34,10 destinos por minuto, con tan solo una pieza no procesada. Por otro lado el robot Viper tiene 97,91% de tiempo de procesamiento y hace 9,26 destinos por minuto. Esto quiere decir que presenta un procesamiento bastante alto, ya que tan solo el 1,63% del tiempo está inactiva la aplicación total, es decir ambos robots juntos.

| Datos seleccionados | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------|---------|---------|
| Nombre de datos | Valor | Límites | Gráfico |
| ▼ Gestor de procesos [ApplicationManager0] - Estadísticas generales | | | |
| Tiempo de inactividad (%) | 1,63 | | |
| Tiempo de procesamiento (%) | 98,37 | | |
| Destinos por minuto | 43,36 | | |
| Piezas no procesadas | 1,00 | | |
| ▼ Gestor de procesos [ApplicationManager0] - R1 Cobra600 [RobotControlSettings] | | | |
| Tiempo de inactividad (%) | 1,17 | | |
| Tiempo de procesamiento (%) | 98,83 | | |
| Tiempo total (ms) | 628.238,45 | | |
| Destinos por minuto | 34,10 | | |
| Piezas no procesadas | 1,00 | | |
| ▼ Gestor de procesos [ApplicationManager0] - R2 Viper850 [RobotControlSettings] | | | |
| Tiempo de inactividad (%) | 2,09 | | |
| Tiempo de procesamiento (%) | 97,91 | | |
| Destinos por minuto | 9,26 | | |
| Piezas no procesadas | 0,00 | | |

Figura 61. Diez minutos de simulación con robots al 90%. Fuente: elaboración propia

Finalmente, en la figura 62 se tenía un tiempo de 14,84 minutos de simulación. Se puede observar que ambos tiempos de procesamiento aumentaron nuevamente, siendo 99,17% para el robot eCobra y 98,53% para el robot Viper. Los destinos por minuto también aumentaron un poco, obteniendo 35,02 piezas para el robot eCobra y 9,29 piezas para el robot Viper que se traducen en 1,55 cajas por minuto. Por último, las piezas no procesadas siguen siendo una, lo que quiere decir que es eficiente la solución y la velocidad de los componentes y que no se retrasa el proceso al tener que poner estas piezas nuevamente en la línea.

| Datos seleccionados | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------|---------|--------------------------|
| Nombre de datos | Valor | Límites | Gráfico |
| ▼ Gestor de procesos [ApplicationManager0] - Estadísticas generales | | | |
| Tiempo de inactividad (%) | 1,15 | | <input type="checkbox"/> |
| Tiempo de procesamiento (%) | 98,85 | | <input type="checkbox"/> |
| Destinos por minuto | 44,31 | | <input type="checkbox"/> |
| Piezas no procesadas | 1,00 | | <input type="checkbox"/> |
| ▼ Gestor de procesos [ApplicationManager0] - R1 Cobra600 [RobotControlSettings] | | | |
| Tiempo de inactividad (%) | 0,83 | | <input type="checkbox"/> |
| Tiempo de procesamiento (%) | 99,17 | | <input type="checkbox"/> |
| Tiempo total (ms) | 890.956,18 | | <input type="checkbox"/> |
| Destinos por minuto | 35,02 | | <input type="checkbox"/> |
| Piezas no procesadas | 1,00 | | <input type="checkbox"/> |
| ▼ Gestor de procesos [ApplicationManager0] - R2 Viper850 [RobotControlSettings] | | | |
| Tiempo de inactividad (%) | 1,47 | | <input type="checkbox"/> |
| Tiempo de procesamiento (%) | 98,53 | | <input type="checkbox"/> |
| Destinos por minuto | 9,29 | | <input type="checkbox"/> |
| Piezas no procesadas | 0,00 | | <input type="checkbox"/> |

Figura 62. 14 minutos de simulación con robots al 90%. Fuente: elaboración propia

Haciendo un promedio de los valores de destinos por minuto, se tendría que el robot eCobra toma y pone en la banda 34,83 piezas por minuto. Este valor indica que se hacen 14 piezas por minuto más de las que se hacen en la actualidad, lo que podría indicar que tiene un aumento de la productividad del 74,15%. En el caso del robot Viper, la productividad aumenta 86,75% ya que pasa de hacer una caja en 1,2 minutos a hacer una caja en 38,7 segundos.

De esta forma se observa que cuando los robots están al 80% de su velocidad superan los valores actuales de la aplicación, sin embargo hay piezas que se pierden o que el robot eCobra no alcanza a coger afectando el proceso y haciendo que su eficiencia disminuya. Es por esto que se demuestra que la velocidad óptima para los robots es al 90%, ya que en 14 minutos tan solo se perdió una pieza y su productividad aumentó considerablemente, además de mantener un trabajo seguro para los robots y evitarles frenos bruscos o vibraciones.

Adicionalmente, al ser una solución autónoma, elimina la necesidad de tener operarios haciendo esfuerzos innecesarios o movimientos repetitivos que les afectan la salud a mediano y largo plazo, permitiéndoles estar en puestos donde se deba usar más capacidad intelectual,

evitándoles los daños musculoesqueléticos por las tareas repetitivas o donde no deban estar realizando las labores dañinas para su salud y su vida.

6.1. Análisis socioeconómico

Con el fin de tener un análisis completo del proyecto se hace necesario evaluar socioeconómicamente la solución. A continuación se presenta esta evaluación.

En la tabla 3 se puede ver el costo de la implementación, es decir los materiales y la mano de obra. Se puede apreciar que se calcula un total aproximado de 638.190.700 pesos.

| Proyecto Total | |
|-----------------------|----------------|
| Materiales | \$ 444.690.700 |
| Mano de obra | \$ 193.500.000 |
| Total | \$ 638.190.700 |

Tabla 3. Costos materiales y mano de obra

De esta forma se calcula que el proyecto total tendría un costo como se ve en la tabla 4.

| Proyecto Robots | |
|--------------------------------------------------|-----------------------|
| Proyecto robots | \$ 638.190.700 |
| Acondicionamiento espacio de trabajo. | \$ 50.000.000 |
| Accesorios necesarios para el proceso. | \$ 50.000.000 |
| Capacitacion en manejo del equipo en el proceso. | \$ 3.000.000 |
| Periodo de pruebas. | \$ 5.000.000 |
| Imprevistos. | \$ 22.385.721 |
| Costo total | \$ 768.576.421 |

Tabla 4. Costo total del proyecto

En la tabla 5 se puede apreciar los datos de producción manual, calculados según los valores de la tabla 6, específicamente la producción de operarios por turno.

| Datos de Producción Manual | |
|-----------------------------------------|-----------------------|
| Producción de 1 op. por turno | 4000 |
| Producción total por día | 16000 |
| 2 % de error por día | 320 |
| Costos Mano de obra reproceso por turno | \$ 14.386 |
| Producción mensual | 384000 |
| 2 % de error mensual | 7680 |
| Costos Mano de obra reproceso por mes | \$ 345.274 |
| Ventas mensual | \$ 881.280.000 |
| Rentabilidad mensual | \$ 489.626.830 |

Tabla 5. Datos de producción manual

| DATOS | |
|------------------------------|-----------|
| Precio de venta | \$ 2.295 |
| Producción de Op por turno. | 4000 |
| # de Op (2 por turno) | 4 |
| % de error Op | 2% |
| Horas del turno | 8 |
| Días laborados en el mes | 24 |
| Rentabilidad del producto | 56,43% |
| Costo hora del Op | \$ 35.966 |
| Numero de turnos Robot | 2 |
| % de Productividad del Robot | 180% |
| % de error Robot | 0,01% |
| Cantidad de Robots | 2 |

Tabla 6. Datos del proyecto

En la tabla 7 se aprecia el costo de un operario y el costo total de los operarios por mes.

| Costo de un operario | |
|-----------------------------------------|----------------------|
| Salario | \$ 2.000.000 |
| Cesantías | \$ 166.600 |
| Interés de Cesantías | \$ 1.666 |
| Primas | \$ 166.600 |
| Vacaciones | \$ 83.200 |
| Pensión | \$ 240.000 |
| ARL | \$ 139.200 |
| Caja | \$ 80.000 |
| Total | \$ 2.877.266 |
| Costo total de operarios por mes | \$ 11.509.064 |

Tabla 7. Costo total operarios

En el presente cálculo no se presenta el costo de accidente laboral debido a que es algo ocasional y no un costo fijo. Sin embargo, en la eventualidad que ocurriera, para calcular el costo se incluirían los procedimientos médicos y clínicos, el costo de salario mensual y el costo de horas extras por faltante de producción mensual, dando un valor aproximado de 19 millones por mes. Cabe recalcar que un beneficio de este proyecto de automatización es que se pueden disminuir estos accidentes laborales, beneficiando a los trabajadores en cuando a su salud e integralidad y a la empresa en sus ganancias.

Finalmente, al comparar los valores de la producción manual con los de la producción automatizada bajo las mismas condiciones, es decir trabajando la misma cantidad de horas o los dos turnos, se puede apreciar que se obtiene una rentabilidad mensual de más del doble de la obtenida a través de la producción manual, como se ve en la tabla 8.

| Datos de Producción Robots 16 horas/día | |
|------------------------------------------------|-------------------------|
| Producción 1 robot por día | 14400 |
| Producción total 2 robots por día | 28800 |
| 0.01% de error por día | 2,9 |
| Producción mensual | 691200 |
| 0,001 % de error mensual | 69,12 |
| Ventas mensual | \$ 1.586.304.000 |
| Rentabilidad mensual | \$ 895.151.347 |
| Ahorro de mano de obra por mes | \$ 11.509.064 |
| Costo operario programador | \$ 4.000.000 |
| Mantenimiento mensual | \$ 800.000 |
| Rentabilidad total mensual | \$ 901.860.411 |
| PRI | 0,85 |

Tabla 8. Datos producción de robots en dos turnos por día

Es así como se concluye que el proyecto genera un retorno de la inversión en diez meses y siete días, obtenidos al multiplicar el PRI por 12 meses. Por otro lado, si los robots trabajan continuamente sin descanso, es decir al 100%, se obtiene un retorno de la inversión aproximadamente en seis meses y 22 días, partiendo del hecho que se vende la producción completa. En el anexo 4 se puede ver la hoja de cálculo completa. De esta forma se puede observar que el beneficio económico que se obtiene genera también un impacto social, debido a que la empresa aumenta sus ganancias, lo que se traduce en mayores ingresos y por ende puede ofrecer mejores condiciones laborales a sus trabajadores y mejores puestos para aquellos que se desempeñaban como operarios de las máquinas. En conclusión, el hecho de que la empresa utilice la automatización para estos procesos afecta positivamente a sus trabajadores por el hecho de que pueden reubicarlos en cargos con mayor valor añadido, donde pueden tener una mejor remuneración y cuidar su salud de las tareas repetitivas.

6.2. Implementación parcial de la solución

Aunque la implementación real estaba por fuera de los objetivos, se realizó una implementación parcial con los robots físicos. Los videos del funcionamiento de ambos robots por separado se pueden encontrar en el anexo 3 del capítulo de anexos, donde el video 1 corresponde a una prueba de posición del robot Viper, el video 2 corresponde a la misma prueba de posición pero con el video volteado para facilidad de visión y el video 3 corresponde a una prueba de vacío del robot Viper. El video 4 corresponde a una prueba a baja velocidad del robot eCobra, el video 5 corresponde a una prueba con una velocidad mayor del robot eCobra y el video 6 corresponde a una prueba del robot eCobra con poca distancia entre los pucks.

Conclusiones

Este proyecto permitió cumplir con los objetivos propuestos al desarrollar la simulación de automatización donde los robots eCobra y Viper ejecutan las rutinas de alistamiento y empaque de pucks de fibra sintética en una línea de producción. Más específicamente al caracterizar el proceso de alistamiento y empaque según las características del caso de estudio, al diseñar la propuesta de automatización del proceso de alistamiento y empaque integrando los robots eCOBRA 600 y VIPER 850, al implementar la propuesta en un software de simulación para robots industriales, en este caso Sysmac Studio y al evaluar socioeconómicamente la solución propuesta.

Después de realizar las simulaciones y analizar los resultados se pueden concluir sobre varios aspectos técnicos. La aplicación planteada entregó resultados positivos, ya que aumentó la productividad al aumentar el número de pucks que se recogen por minuto y el número de cajas que salen por minuto también, lo cual demuestra que es benéfico para la empresa contar con esta aplicación y que puede aumentar su rentabilidad. Por otro lado, las personas que antes se encargaban de hacer estos trabajos, pueden ser reubicadas en puestos donde aporten de una forma más intelectual a la empresa. Además aporta al crecimiento tecnológico, lo que puede permitirle a la empresa competir en un mundo cada vez más avanzado y destacar entre las demás empresas.

Teniendo en cuenta que en este proyecto se desarrolló en un contexto real, se presentaron situaciones propias de la industria, por ejemplo fue necesario cambiar de software ya que el que se tenía inicialmente no era tan completo y no permitía tener una integración con el PLC, mientras que el que se utilizó finalmente, tenía el primer software integrado y muchas otras funciones. En estas simulaciones también se tuvo un limitante de licencia, ya que se tenía una parte de la licencia, pero no se contaba con el acceso total, por lo que algunas funciones como los sensores, tuvieron que ser simuladas de una forma matemática o con cálculos de tiempo y de distancia en vez de utilizando los sensores físicos simulados. Otro problema fue que cuando se intentó implementar la solución en los robots físicos, estos tenían partes faltantes o estaban descalibrados, por los que fue necesario contactar a soporte para calibrarlos y pedir las piezas faltantes que llegaron en diferentes tiempos.

Adicionalmente, se puede concluir que uno de los componentes más importantes dentro del desarrollo de un proyecto de robótica es la dificultad de aprender el uso de las herramientas, tanto software y hardware de cada fabricante. En este caso, a pesar de tener conocimiento previo en herramientas de simulación y programación de robots fue necesario invertir un tiempo considerable aprendiendo las herramientas con las que venían los robots por medio de manuales, tutoriales y haciendo uso del soporte especializado de la marca. Por lo anterior se recomienda para proyectos futuros, avanzar en el uso de herramientas estandarizadas que no dependan del fabricante tales como ROS industrial o RoboDK.

Por otro lado, es importante resaltar que es benéfico realizar primero la simulación y no ir directamente a la solución, ya que de esta forma se puede optimizar un bajo costo al permitir probar con diferentes componentes, de distintos precios sin tener que gastar en ellos hasta escoger los que realmente se van a utilizar. También se logra evaluar de forma empírica si los tiempos de la aplicación son adecuados para cumplir con los objetivos propuestos y evitar de esta forma, que se invierta tiempo y dinero en una implementación que no cumple con la meta. Asimismo se puede probar con diferentes distribuciones de los componentes, es decir rediseñar el layout y la ubicación de los componentes según como sea óptimo y cumpla con los requisitos planteados. Finalmente, se puede analizar el espacio de trabajo de los robots, por lo que se evitan colisiones y se disminuye el riesgo a las personas. De esta manera, cuando se pasa a la implementación física, ya se tiene una idea totalmente clara de cómo debe ser implementado, dónde deben ir los componentes y la seguridad que se debe tener en cuenta para evitar las colisiones.

Recomendaciones

Como recomendación para el futuro, se podría probar la realización de un doble pick, con el objetivo de aumentar aún más el número de pucks que se hacen por minuto y de esta forma aumentar la productividad de la empresa. También se plantea la opción de crear el área de paletizado integrada con el resto de la aplicación, para que las cajas que ya estén listas puedan ser selladas y apiladas, generando los pallets que estén listos para salir a distribución.

Finalmente, se sugiere realizar la implementación física completa de esta propuesta, con el fin de evaluar cómo se comporta totalmente la aplicación, realizar las pruebas pertinentes y evaluar si los valores obtenidos en las simulaciones se ajustan a los que se obtienen al hacer las pruebas.

Anexos

En el siguiente enlace se pueden encontrar los planos eléctricos (anexo 1), el video de la simulación (anexo 2), los videos de los robots físicos (anexo 3) y el cálculo del retorno de la inversión (anexo 4).

Anexo 1: https://drive.google.com/file/d/1M3ETYAJ0iN9aHem-CcdHTN0ZgmYyAYc/view?usp=share_link

Anexo 2: https://drive.google.com/file/d/1nraauqnJIx1ZdBdco6Tq1fyJ0R7lOg2/view?usp=share_link

Anexo 3:
https://drive.google.com/drive/folders/18k4nHW1c1egFpuwsfcbPFhUvkznivBPx?usp=share_link

Anexo 4:
https://docs.google.com/spreadsheets/d/1o4xdgoUC2_HixM9cdhHj2Cgo6BgRNsOg/edit?usp=sharing&oid=108174373010322810694&rtpof=true&sd=true

Bibliografía

- [1] Intec, «Tipos de tesis de investigación: metodologías y estructura,» [En línea]. Available: <https://www.intec.edu.do/oferta-academica/postgrado/articulos-de-postgrado/intec-postgrado-por-que-es-necesario-y-como-elegir-el-mas-indicado-2>. [Último acceso: 15 06 2022].
- [2] Ripipsa, «Automatización,» 2019. [En línea]. Available: <https://ripipsacobots.com/automatizacion/>. [Último acceso: 23 06 2022].
- [3] S. Aerts, «Línea de producción: qué es y cómo automatizarla,» Toyota, 13 01 2022. [En línea]. Available: <https://blog.toyota-forklifts.es/linea-produccion-que-es-como-automatizar>. [Último acceso: 15 06 2022].
- [4] SDI, «¿Qué es una línea de producción?,» 24 09 2021. [En línea]. Available: <https://sdindustrial.com.mx/blog/linea-de-produccion/#:~:text=Podemos%20definir%20a%20la%20l%C3%ADnea,de%20trabajo%20de%20la%20f%C3%A1brica..> [Último acceso: 15 06 2022].
- [5] Medical Assistant, «¿Cómo las tareas repetitivas afectan la salud de los trabajadores?,» 22 11 2018. [En línea]. Available: <https://ma.com.pe/como-las-tareas-repetitivas-afectan-la-salud-de-los-trabajadores#:~:text=Los%20efectos%20nocivos%20m%C3%A1s%20conocidos,la%20salud%20de%20los%20trabajadores..> [Último acceso: 15 06 2022].
- [6] Revista de Robots, «Robots industriales. Qué es un robot industrial, tipos y ejemplos de robots,» 07 12 2021. [En línea]. Available: <https://revistaderobots.com/robots-y-robotica/robots-industriales-y-robotica-industrial/>. [Último acceso: 13 07 2022].
- [7] Sinerges tecmon S.A, «¿Qué es un Robot Scara?,» [En línea]. Available: <https://www.sinerges.com/archivos/9695#:~:text=Los%20robots%20Scara%20son%20robots,la%20alimentaria%20y%20la%20farmac%C3%A9utica..> [Último acceso: 16 06 2022].
- [8] E. Chakraborty, «¿Qué es un robot articulado? | 5+ aplicaciones,» LambdaGeeks, [En línea]. Available: <https://es.lambdageeks.com/articulated-robots/>. [Último acceso: 16 06 2022].
- [9] S. C. Gubía y V. I. García, «Posturas Forzadas,» Ministerio De Sanidad Y Consumo, Madrid, 2000.
- [10] A. C. A. Montes, «Propuesta de Intervención en Posturas Inadecuadas y Movimientos Repetitivos que Afectan la Salud de los Trabajadores en el Área de

Bandas en COMASA Planta Posoltega.,» Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Nicaragua, 2006.

- [11] J. Becerra Bayona, J. E. Garcia Sanchez Y S. E. Hincapie Silva, «Patologías Por Riesgo Biomecánico En Tareas Repetitivas En El Centro De Control Transmilenio S.A.» Universidad Ecci, Bogotá D.C, 2016.
- [12] El País Retina, «Tecnología,» 26 02 2019. [En línea]. Available: https://elpais.com/retina/2019/02/22/innovacion/1550841495_045791.html. [Último acceso: 13 07 2022].
- [13] L. A. N. Ramos, D. R. F. R. Mantilla y J. P. T. Rodríguez, «La automatización como ventaja competitiva,» Universidad Tecnológica de Tula-TEPEJI, Hidalgo, México, 2017.
- [14] S. Aerts, «Automatización industrial: beneficios y cómo conseguirla,» 14 10 2021. [En línea]. Available: <https://blog.toyota-forklifts.es/automatizacion-industrial-beneficios-como-conseguirla>. [Último acceso: 17 06 2022].
- [15] Nexus Integra, «10 beneficios de contar con un sistema de automatización industrial,» [En línea]. Available: <https://nexusintegra.io/es/10-beneficios-de-contar-con-un-sistema-de-automatizacion-industrial/>. [Último acceso: 17 06 2022].
- [16] Z. Wang, Z.-Y. Zhang, J.-P. Mei, L. Wang, D.-X. Yu Y L.-A. Zhang, «Control System Design of a Case Packing Robot Based on Simotion,» School of Mechanical Engineering, Tianjin University, Tianjin, China, 2011.
- [17] L. Y. XU Shu, «Study on Integrated Supply Chain System for Logistics Enterprises,» de *2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, 2010.
- [18] S. Singh, A. Gupta y A. P. Shukla, «Optimizing Supply Chain through Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI),» de *International Conference on Technological Advancements and Innovations (ICTAI)*, Tashkent, Uzbekistan, 2021.
- [19] H. Ehm, T. Ponsignon y T. Kaufmann, «The Global Supply Chain Is Our New Fab: Integration and Automation Challenges,» Infineon Technologies AG, Neubiberg, Germany, 2011.
- [20] Y. o. Tao, Y. o. Chen, H. Liu, J. Gao, H. Xiong y G. Xie, «Modeling of TCM Packing Robot and Its Kinematics Simulation and Optimization,» de *2nd IEEE International Conference on Computer and Communications*, Chengdu, China, 2016.
- [21] P. K. Kim, H. Park, J.-H. Bae, J.-H. Park, M.-H. Baeg y J. Park, «Practical Control Strategy for Packing Multiple Boxes Simultaneously with Dual-Arm Robot,» de *The*

11th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI 2014), Kuala Lumpur, Malaysia, 2014.

- [22] D. Chiaravalli, G. Palli, R. Monica, J. Aleotti y D. L. Rizzini, «Integration of a Multi-Camera Vision System and Admittance Control for Robotic Industrial Depalletizing,» Italy, 2020.
- [23] A. Shahzad, X. Gao, A. Yasin, K. Javed Y S. M. Anwar, «A Vision-Based Path Planning and Object Tracking Framework for 6-DOF Robotic Manipulator,» IEEE Access, 2020.
- [24] P. A. Quinteros, M. C. Zurita, N. C. Zambrano y E. L. Manchay, «Automatización de los procesos industriales,» *Journal of Business and entrepreneurial studies*, vol. 4, pp. 123-131, 2020.
- [25] Autoexopen, «La automatización industrial: ¿Qué es? Sus características más relevantes,» 19 08 2022. [En línea].
- [26] N. M. Cano, «Estudio de las etapas de automatización de un proceso industrial: comunicaciones y operación,» Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña, 2020.
- [27] Retos en Supply Chain, «Proceso de producción: en qué consiste y cómo se desarrolla,» 09 06 2022. [En línea]. Available: <https://retos-operaciones-logistica.eae.es/proceso-de-produccion-como-desarrolla/>. [Último acceso: 22 06 2022].
- [28] Seampedia, «Que es una línea de producción?,» 03 05 2018. [En línea]. Available: <https://seampedia.com/que-es-una-linea-de-produccion/>. [Último acceso: 22 06 2022].
- [29] J. P. Garcia-Sabater, «Líneas De Producción. Nota Técnica,» Riunet Repositorio UPV, Valencia, 2020.
- [30] EDS Robotics, «Automatización del final de línea de producción,» 08 07 2020. [En línea]. Available: <https://www.edsrobotics.com/blog/automatizacion-final-linea-produccion/>. [Último acceso: 22 07 2022].
- [31] Robotnik, «¿Qué es un robot industrial? Definición y características,» 14 03 2022. [En línea]. Available: <https://robotnik.eu/es/que-es-un-robot-industrial-definicion-y-caracteristicas/>. [Último acceso: 13 07 2022].
- [32] Tatomatech, «Beneficios de la robótica industrial,» 17 09 2019. [En línea]. Available: <https://www.tatomatech.com/beneficios-de-la-robotica-industrial/>. [Último acceso: 13 07 2022].

- [33] Omron Adept Technologies, Inc, «eCobra 600, 800 and 800 Inverted Robots User's guide,» Omron Adept Technologies, Inc, United States of America, 2016.
- [34] OMRON Corporation, «Viper 650/850 Robot with EtherCAT User's manual,» OMRON Corporation, United States of America, 2020.
- [35] Z. Y. & S. S. Iyengar, «Robot reachability problem: A nonlinear optimization approach,» *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 1995.
- [36] F. C. C.-R. R. A. C.-E. Diego Edissón Flórez-Vergara, «Planeación y ejecución de trayectorias en el espacio de trabajo para un robot Delta,» *Facultad de Ingeniería*, vol. 25, nº 42, pp. 75-88, 2016.
- [37] Gobierno de Aragón, «Guía técnica de seguridad en robótica,» Cepyyme aragón, España, 2012.
- [38] Omron, «Automation Control Environment User's Guide,» Omron Adept Technologies, Inc, United States of America, 2016.
- [39] WestRock, «WestRock Packaging Machinery & Automation labour saving semi-automatic re-packing solutions for Contract Packing and 3PL companies,» [En línea]. Available: <https://www.linkxpackaging.com/wp-content/uploads/2018/01/contract-packing-automatic-loading-line.252.jpg>.
- [40] Sick, «Robot picking of parcels at conveyor belts,» [En línea]. Available: <https://www.sick.com/ch/en/end-of-line-packaging/pallet-handling-machine/robot-picking-of-parcels-at-conveyor-belts/c/p571744>.