



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**Estudio del impacto de la integración de un robot colaborativo en un puesto de trabajo
mediante simulación y herramientas de análisis en una industria avícola**

PROPUESTA TECNOLÓGICA PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR(ES):

Robert Alejandro Bustamante Alava

María Jheneyra Chilibingua Campos

TUTOR:

Ing. MSc. Ángel Guillermo Hidalgo Oñate

LATACUNGA, JULIO 2025

Latacunga, agosto del 2025

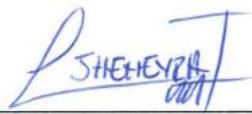
DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Bustamante Alava Robert Alejandro, con cedula de ciudadanía No. 0501847164 Chiliquinga Campos Maria Jheneyra, con cedula de ciudadanía No. 1725439523 declaramos ser autores del presente Proyecto De Investigación: **“ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA INTEGRACIÓN DE UN ROBOT COLABORATIVO EN UN PUESTO DE TRABAJO MEDIANTE SIMULACIÓN Y HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS EN UNA INDUSTRIA AVÍCOLA”**, siendo el Ing. Ángel Guillermo Hidalgo Oñate MSc., tutor del presente trabajo de titulación; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de titulación, son de mi exclusiva responsabilidad.



Robert Alejandro Bustamante Alava
CC.0501847164



Maria Jheneyra Chiliquinga Campos
CC.1725439523

Latacunga, agosto del 2025

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA INTEGRACIÓN DE UN ROBOT COLABORATIVO EN UN PUESTO DE TRABAJO MEDIANTE SIMULACIÓN Y HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS EN UNA INDUSTRIA AVÍCOLA”, de Bustamante Alava Robert Alejandro y Chiliquinga Campos María Jheneyra de la Carrera de Ingeniería Industrial, considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos al tribunal de lectores.



Ing. Ángel Guillermo Hidalgo Oñate, MSc.
C.C: 0503257404

TUTOR

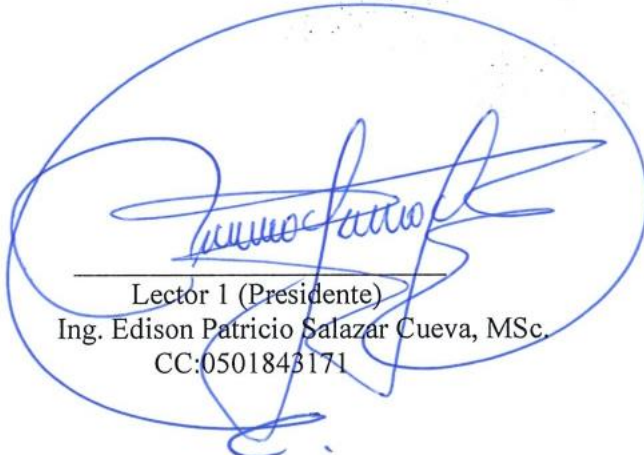
Latacunga, agosto del 2025

AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES

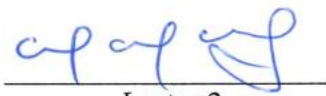
Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Proyecto de Investigación con el título “**ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA INTEGRACIÓN DE UN ROBOT COLABORATIVO EN UN PUESTO DE TRABAJO MEDIANTE SIMULACIÓN Y HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS EN UNA INDUSTRIA AVÍCOLA**”, propuesto por los estudiantes Bustamante Alava Robert Alejandro, Chiliquinga Campos María Jheneyra de la Carrera de **Ingeniería Industrial**, me permito indicar que los estudiantes ha concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, por lo cual presentamos el Aval de aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad **Proyecto de Investigación** en virtud de lo cual los postulantes pueden presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.


Atentamente,



Lector 1 (Presidente)
Ing. Edison Patricio Salazar Cueva, MSc.
CC:0501843171



Lector 2
Ing. Jaime Hernán Acurio Masabanda, MSc.
CC:0502574247



Lector 3
Ing. Wilson Santiago Olovacha Toapanta, MSc.
CC:1804302238



Latacunga, Julio 2025

Yo, Marcelo Javier Villarroel Corrales con **C.I. 0502272776**, en calidad de representante de la empresa **INCUBANDINA S.A.**, otorgo el presente aval de haber realizado exitosamente el proyecto de investigación, titulado **“Estudio del impacto de la integración de un robot colaborativo en un puesto de trabajo mediante simulación y herramientas de análisis en una industria avícola”**, llevado a cabo por los estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi de la carrera de Ingeniería Industrial; Bustamante Alava Robert Alejandro con **C.I. 0501847164**, y Chilingua Campos María Jheneyra con **C.I. 1725439523**, en el período académico abril 2025 – agosto 2025.

Aceptamos conocer y estar conformes con los términos y condiciones de las actividades que se realizaron en la empresa **INCUBANDINA S.A.**, en la ejecución del proyecto de los estudiantes.

Es cuanto puedo certificar en honor de la verdad, se expide el presente para que los interesados puedan hacer uso para los fines que crean convenientes.

Atentamente,



Marcelo Javier
Villarroel Corrales



Firma y sello

NOMBRE:	Lic. Marcelo Javier Villarroel Corrales
CARGO:	Gerente de Producción INCUBANDINA
C.I:	0502272776
Teléfono:	0997767919

AGRADECIMIENTO

Primero quiero agradecer a Dios por permitir levantarme todos los días con salud y fuerzas para avanzar en esta etapa de aprendizaje, pese a las circunstancias externas del proceso siempre me guio y cuidó.

A mis padres por ser pacientes y entender que mi proceso fue diferente, por siempre apoyarme antes y durante estos años de estudio, gracias totales por nunca dejarme caer padres queridos.

A mi esposa por ser un pilar fundamental en mi día a día, un desayuno que le quitaba el sueño por mandármelo y las palabras incondicionales que no faltaban; un tu si puedes y el cómo te fue al llegar a casa después de largas jornadas, gracias amor.

A mi compañera de tesis, que a pesar de las circunstancias en las que avanzamos nunca dejo el barco y avanzamos en este proceso llegando a puerto seguro.

A nuestro tutor por formarnos durante todo el proceso y llevarnos a conseguir esta meta con éxito, apoyándonos con sus consejos a buscar la mejor solución cuando nos quedábamos sin ideas.

Robert Bustamante

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios que ha sido mi guía y fortaleza, mi calma en medio de la tormenta.

A mi Madre mi ejemplo de lucha, perseverancia y del amor más puro que puedo tener, gracias totales por confiar en mí.

A mi hija, por ser mi motor para querer seguir siendo mejor.

A mis hermanas que me acompañaron en esta etapa de mi vida dándome ánimos cuando las cosas no iban del todo bien.

A mi compañero de tesis que con su apoyo y su frase “Que no te de parálisis por análisis” me ayudo a continuar y disipar las ideas erróneas de mi cabeza.

A nuestro tutor por su tiempo, dedicación, paciencia y sus consejos que nos ayudó a culminar esta meta.

A mis amigos que han sido un pilar importante para no rendirme gracias por su apoyo y motivación.

Maria Chilinga

DEDICATORIA

Este proyecto es para ustedes mis ángeles que desde el cielo estuvieron en cada paso y camino que iba abriendo durante estos años, por darme ese empujón a iniciarlo en condiciones adversas, pero por ustedes logre cerrar esta etapa de mi vida.

Robert Bustamante

DEDICATORIA

A mi querida madre pues si ella no lo habría logrado. Tu bendición y oraciones han hecho posible para que este esfuerzo se haga realidad.

A mi hija que ha sido mi mayor motivación para no rendirme y poder llegar hacer un ejemplo para ella.

A mis amigos y amigas que no pudieron culminar este proyecto y depositaron su confianza en mí.

A mis hermanas sus palabras de aliento y el gran ejemplo que me han brindado hoy se plasma en este trabajo.

Maria Chilinga

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA INTEGRACIÓN DE UN ROBOT COLABORATIVO EN UN PUESTO DE TRABAJO MEDIANTE SIMULACIÓN Y HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS EN UNA INDUSTRIA AVÍCOLA”

Autores:

Bustamante Alava Robert Bustamante

Chiliquinga Campos Maria Jheneyra

RESUMEN

Este trabajo de titulación tiene como objetivo estudiar el impacto de la integración de un robot colaborativo en una línea de producción de la industria avícola, específicamente en el área de empaquetado, utilizando simulación y herramientas de análisis. La empresa donde se aplicó el estudio presenta una demanda creciente en sus productos de primera línea que son los pollos para consumo, por lo que se evaluó la posible automatización en la fase final del proceso. El estudio se basó en automatizar la tarea de recoger y colocar el pollo para después ser enfundado, con un proceso de pick and place que sería ejecutado por un cobot.

La metodología utilizó estudios de tiempos y movimientos con el fin de obtener datos reales de los operarios que realizan esta actividad en la planta, posteriormente para comparar los dos escenarios: uno solo con operarios y otro con la integración del robot. El modelado se hizo en FlexSim para la simulación del proceso de empaque completo y CoppeliaSim para poder observar el tiempo de ejecución del robot al realizar el pick and place. Los resultados obtenidos presentan una mejora del 10% de en el tiempo de ciclo total, una reducción en el tiempo de la línea de empaquetado de 24,28%, esta línea incluye actividades desde que se recoge el pollo de la bandeja hasta que pasa por el sellado de funda, un incremento del 0,79% en la producción final diaria. El análisis económico entrega un ROI del 12,98%, con un tiempo de retorno de 3 años 7 meses. A pesar que el aumento en la producción no fue significativo, se observan mejoras en los tiempos de las líneas de trabajo. Se determina que la automatización técnicamente es viable, aunque la implementación puede requerir adecuaciones del espacio de trabajo acordes a las normativas vigentes y una inversión en estructura de la empresa.

Palabras claves: Robótica colaborativa, cobot, estudio de tiempos, pick and place, automatización.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

Theme: “Study of the Impact of Integrating a Collaborative Robot into a Workplace Using Simulation and Analysis Tools in the Poultry Industry.”

Author:

Bustamante Alava Robert Alejandro
Chiliquinga Campos Maria Jheneyra

ABSTRACT

The objective of this thesis is to study the impact of integrating a collaborative robot into a production line in the poultry industry, specifically in the packaging area, using simulation and analysis tools. The company where the study was conducted is experiencing growing demand for its flagship products, which are chickens for consumption, so the possibility of automating the final phase of the process was evaluated. The study was based on automating the task of picking up and placing the chicken for subsequent packaging, using a pick-and-place process performed by a robot. The methodology used time and motion studies to obtain real data from the operators who perform this activity in the plant, and then compared two scenarios: one with operators only and another with the integration of the robot. The modelling was done in FlexSim to simulate the entire packaging process and CoppeliaSim to observe the robot's execution time when performing the pick and place. The results show a 10% improvement in total cycle time, a 24.28% reduction in packaging time (this line includes activities from picking up the chicken from the tray to sealing the bag), and a 0.79% increase in final production. The economic analysis shows an ROI of 12.98%, with a payback period of 3 years and 7 months. Although the increase in production was not significant, improvements in line times were observed. It was determined that automation is technically feasible, although implementation may require adjustments to the workspace due to current regulations and an investment in the company's structure.

Keywords: Collaborative Robotics, Cobot, Time Study, Pick and Place, Automation.

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA INTEGRACIÓN DE UN ROBOT COLABORATIVO EN UN PUESTO DE TRABAJO MEDIANTE SIMULACIÓN Y HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS EN UNA INDUSTRIA AVÍCOLA”** presentado por: **Bustamante Alava Robert Alejandro y Chilibingua Campos Maria Jheneyra**, egresados de la Carrera de: **Ingeniería Industrial**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas** lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, agosto del 2025

Atentamente,



Mg. Bolívar Cevallos Galarza.
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI: 0910821669



**CENTRO
DE IDIOMAS**

ÍNDICE

1.	INFORMACIÓN GENERAL	1
2.	INTRODUCCIÓN	2
2.1.	SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	3
2.2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
2.3.	OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN	4
2.3.1.	Objeto de investigación: Robot colaborativo integrado en un puesto de trabajo en una industria avícola	4
2.3.2.	Campo de acción: 3310.03 Procesos Industriales	4
2.4.	BENEFICIARIOS	4
2.4.1.	Directos	4
2.4.2.	Indirectos	5
2.5.	JUSTIFICACIÓN	5
2.6.	OBJETIVOS	5
2.6.1.	General	5
2.6.2.	Específicos	5
2.7.	HIPÓTESIS	6
2.8.	ALCANCE	6
2.9.	SISTEMAS DE TAREAS	6
3.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8
3.1.	ANTECEDENTES	8
4.	MARCO TEÓRICO	11
4.1.	ROBÓTICA COLABORATIVA	11
4.2.	ROBOTS COLABORATIVOS	13
4.2.1.	Modelos	14
4.2.2.	Ventajas	17

4.2.3.	Desafíos	18
4.2.4.	Aplicaciones Industriales.....	19
4.3.	INGENIERÍA DE MÉTODOS.....	20
4.3.1.	Objetivos principales	21
4.3.2.	Herramientas de la ingeniería de métodos.....	21
4.3.3.	Medición del trabajo	22
	T_e = sumatoria de tiempos estándar.....	24
4.3.4.	Entornos de simulación	24
4.3.5.	Tipos de entornos de simulación	25
4.3.6.	Ventajas de simular antes de implementar	26
4.4.	Inteligencia artificial aplicada en la Robótica.....	26
4.4.1.	Algoritmos clásicos	27
4.4.2.	Algoritmos basados en inteligencia artificial	28
4.4.3.	Algoritmos de trayectorias.....	30
4.5.	Softwares de simulación	32
4.5.1.	Tipos de entornos de simulación	33
4.6.	Lenguajes de programación	35
4.6.1.	Tipos	36
4.7.	Modelado del Robot en CoppeliaSim.....	37
4.7.1.	Control de la Simulación con Python.....	38
4.7.2.	Métricas y Datos de CoppeliaSim	39
4.7.3.	Integración y validación con FlexSim.....	40
4.7.4.	Modelado en FlexSim.....	40
5.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	41
5.1.	Modalidad o enfoque de la propuesta	41
5.2.	Tipos de investigación	41
5.3.	Diseño de la Investigación	42

5.4.	Instrumentos y técnicas de recolección de datos	42
5.5.	Diseño del sistema	43
5.6.	Descripción del Puesto de Trabajo	44
5.7.	Implementación	45
5.8.	Verificación	45
5.9.	Pruebas y análisis.....	46
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	46
6.1.	PRIMER OBJETIVO ESPECÍFICO	46
6.1.1.	Caracterización de la robótica colaborativa.....	46
6.2.	SEGUNDO OBJETIVO ESPECÍFICO	48
6.2.1.	Visita de campo y descripción de la empresa.....	48
6.3.	TERCER OBJETIVO ESPECÍFICO.....	76
6.3.1.	Modelado CoppeliaSim	76
6.3.2.	Generación de algoritmos de trayectoria.....	81
6.3.3.	Modelado FlexSim	88
6.3.4.	Retorno sobre la inversión.....	98
7.	CONCLUSIONES.....	101
8.	RECOMENDACIONES	102
9.	REFERENCIAS	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Modalidad de titulación.....	1
---	---

Tabla 1.2. Áreas Conocimientos UNESCO	2
Tabla 2.1 Beneficiarios directos	4
Tabla 2.2. Sistemas de tareas.....	7
Tabla 4.1. Aspectos importantes del modelo UR3[29].	15
Tabla 4.2. Aspectos importantes del modelo UR5[32].	16
Tabla 4.3. Aspectos importantes del modelo UR10[35].	17
Tabla 4.4. Herramientas de la ingeniería de métodos [44].....	21
Tabla 4.5 Tipos de entorno de simulación.....	25
Tabla 4.6 Comparación de algoritmos.....	32
Tabla 4.7 Componentes principales	35
Tabla 4.8 Tipos de lenguajes de alto nivel	37
Tabla 4.9 Modelado del Robot en CoppeliaSim.....	38
Tabla 6.1 Proceso estratégicos.....	51
Tabla 6.2. Procesos operativos	52
Tabla 6.3. Procesos de apoyo	53
Tabla 6.4Tabla de áreas con problemas que presentan	62
Tabla 6.5. Actividades área de empaque	64
Tabla 6.6 Muestras principales para análisis	65
Tabla 6.7. Parámetros de control	66
Tabla 6.8 Muestras representativas	68
Tabla 6.9 Valoración del Ritmo operario 1	69
Tabla 6.10 Valoración del ritmo operario 2	69
Tabla 6.11 Valoración del ritmo operario 3.	70
Tabla 6.12 Suplementos operario 1	71
Tabla 6.13 Suplementos operario 2	71
Tabla 6.14 Suplemento operario 3.....	72
Tabla 6.15 Estudio de tiempos empaquetado	73
Tabla 6.16 Resultados de madurez digital.....	74
Tabla 6.17 Tabla de Dummys	77
Tabla 6.18 Tabla de comparación ponderada.....	79
Tabla 6.19 Parámetros evaluados en CoppeliaSim	88
Tabla 6.20 Desglose de inversión.....	98
Tabla 6.21 Costos generados por Operario.	99

Tabla 6.22 ROI.....	100
---------------------	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1Evolución robótica colaborativa	13
Figura 4.2. Cobot UR3[29].....	15
Figura 4.3. Cobot UR5[32].....	16
Figura 4.4. Cobot UR10[35].....	17
Figura 4.5 Tabla para cálculo del ritmo de trabajo de operarios	22
Figura 4.6 Tabla de suplementos presentada por OIT	23
Figura 6.1 Robótica colaborativa	47
Figura 6.2. Isologo INCUBANDINA S.A.	48
Figura 6.3 Organigrama INCUBANDINA S.A.	49
Figura 6.4. Layout INCUBANDINA S.A.	50
Figura 6.5.Mapa de procesos.....	54
Figura 6.6 FODA.....	55
Figura 6.7. Recepción de aves	56
Figura 6.8. Sacrificio y desangrado	56
Figura 6.9. Escaldado	57
Figura 6.10.Desplumado	57
Figura 6.11. Extracción de viseras.....	58
Figura 6.12. Lavado y enfriamiento	58
Figura 6.13. Empaque.....	59
Figura 6.14 Refrigeración y almacenamiento.....	59
Figura 6.15. Despacho de producto	60
Figura 6.16. Diagrama Ishikawa	61
Figura 6.17 Diagrama de Pareto Problemas por áreas INCUBANDINA S.A.	62
Figura 6.18. Área de empaque.....	63
Figura 6.19. Flujograma empaque	63
Figura 6.20. Gráfica de control para valores de muestras Operario 1.....	66
Figura 6.21 Gráfica de control para valores de muestras operario 2.....	67
Figura 6.22 Gráfica de control para valores de muestras operario 3.....	67
Figura 6.23 Nivel de madurez	75

Figura 6.24 Cobots con más presencia a nivel mundial	76
Figura 6.25 brazo robótico UR5	76
Figura 6.26 Barras para emular el objeto a recoger.....	77
Figura 6.27 escena Dummy	77
Figura 6.28 Cinemática inversa	78
Figura 6.29 Escena modelada con los elementos	78
Figura 6.30 Prompt de prueba para generar algoritmos de trayectoria	80
Figura 6.31 Estructura del Prompt para generar los códigos de prueba.....	81
Figura 6.32 Código para prueba de algoritmo Interpolación Lineal	82
Figura 6.33 Función y descripción del código del algoritmo de trayectoria Interpolación Lineal	83
Figura 6.34 Código para pruebas de trayectoria de algoritmo A.....	84
Figura 6.35 Función y descripción del código del algoritmo de trayectoria A	85
Figura 6.36 Código para pruebas de trayectoria del algoritmo RRT	86
Figura 6.37 Función y descripción del código del algoritmo de trayectoria RRT	87
Figura 6.38. Escena principal del área de empaquetado.....	88
Figura 6.39 Escena propuesta incorporación de bot.....	89
Figura 6.40 Source (Generador de “Pollos”).....	89
Figura 6.41 Zona de espera 1 (Clasificación de pollos)	90
Figura 6.42 Zona de espera 2 (Recoger el pollo)	90
Figura 6.43 Zona de espera 3 (Sellado).....	90
Figura 6.44 Coveyor (Carril escurridor).....	91
Figura 6.45 Conveyor (Clasificación para almacenar).....	91
Figura 6.46 Operadores	91
Figura 6.47 Robot simulando puesta del operario.....	92
Figura 6.48 Processor (simulador de actividades).....	92
Figura 6.49 Modelos estadísticos usando Experfit.....	93
Figura 6.50 Comparación de modelos estadísticos con Experfit.....	93
Figura 6.51 Estadísticas para escena principal.	94
Figura 6.52 Estadísticas para escena propuesta.....	94
Figura 6.53 Comparación de tiempos entre escenas.....	95
Figura 6.54 Valores de la producción final escenas modeladas	95
Figura 6.55 Comparación de la producción final para 30 pruebas	96

Figura 6.56. Comparación de tiempos para 30 pruebas	97
Figura 6.57. Comparación de parámetros.....	97
Figura 6.58 Evolución del ROI acumulado por año.....	100

1. INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto: Estudio del impacto de la integración de un robot colaborativo en un puesto de trabajo mediante simulación y herramientas de análisis en una industria avícola.

Modalidad de Titulación:

Tabla 1.1. Modalidad de titulación

MODALIDAD DE TITULACIÓN	HOMOLOGACIONES PARA INFORME FINAL DE TITULACIÓN	SELECCIÓN
Propuesta tecnológica	Informe de propuesta tecnológica	
	Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	
	Artículo científico	
Proyecto de investigación	Informe de Proyecto de investigación	X
	Artículo científico	
	Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	
Exámen de indicadores de RDA		

Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto: Transformación Digital: El Impacto de las Tecnologías 4.0 en la Industria y la Academia

Equipo de Trabajo de Titulación:

Bustamante Alava Robert Alejandro

Chiliquinga Campos Maria Jheneyra

TUTOR: Ángel Guillermo Hidalgo Oñate

Área de Conocimiento: Seleccionar el código de correspondiente UNESCO:

Tabla 1.2. Áreas Conocimientos UNESCO

07 ingeniería, Industria, Construcción	071 ingeniería y Profesiones Afines	0714 electrónica y automatización
--	---	-----------------------------------

Línea de investigación: Tecnología industrial.

Sublíneas de investigación de la Carrera: Sistemas integrados de producción y operaciones industriales para el desarrollo sostenible. Innovación tecnológica de los sistemas productivos.

2. INTRODUCCIÓN

El sector avícola se ha convertido en una parte importante de la cadena alimentaria, ya que necesita satisfacer una demanda creciente y tiene que seguir estrictas normas de seguridad y limpieza. En este caso, la automatización industrial es una forma de hacer las cosas más eficientes, reducir costos y disminuir los peligros que conlleva realizar mucho trabajo manual [1]. Los robots colaborativos pueden operar junto a las personas sin poner en riesgo su seguridad. También pueden realizar tareas repetidas con notable precisión, lo que facilita el trabajo a los empleados y reduce el riesgo de daños [2]. Esta mejora técnica garantiza que las operaciones continúen y sean estables, que los recursos se utilicen al máximo potencial y que los productos sean de excelente calidad, esto les da a las empresas de la industria una ventaja competitiva más sólida.

En décadas, la creación de trayectorias en sistemas robóticos se fundamentó en algoritmos deterministas que, aunque proporcionaban confiabilidad en entornos estáticos, tenían restricciones frente a cambios imprevistos en los procesos de producción. Debido a que era riguroso y no particularmente flexible, era difícil de usar en entornos industriales donde la necesidad de flexibilidad y personalización está creciendo [3]. El auge de las poderosas tecnologías digitales y la IA ha hecho posible que surjan técnicas sólidas y adaptables. Estos enfoques pueden modificar rutas en tiempo real y ajustarse a los cambios en la configuración del espacio o los procesos industriales. Esta mejor tecnología permite que los robots operen más solos y manejen problemas operativos, lo que garantiza la seguridad y la eficiencia en sus niveles más altos.

El objetivo principal de este estudio es analizar cómo afecta la adición de un robot colaborativo a un lugar determinado en el negocio avícola. Para hacer esto, los investigadores utilizarán herramientas de simulación que faciliten ver cómo agregar el robot podría ayudar o dañar las cosas. La simulación es una herramienta valiosa porque le permite probar diferentes situaciones sin poner en peligro al personal ni tener que pagar mucho dinero para hacerlo en la vida real. Herramientas como CoppeliaSim le permiten modelar rutas, copiar cómo interactúan las máquinas entre sí y obtener datos numéricos sobre movimientos, períodos de ciclo y patrones de flujo [4]. Cuando se agrega esta información a los sistemas de modelado de procesos como FlexSim, es más fácil observar más de cerca cómo la automatización afecta las métricas clave de rendimiento, ergonomía y productividad.

El estudio se encuentra completamente enmarcado en la filosofía de la Industria 4.0, que promueve la convergencia de tecnologías digitales, robótica sofisticada y análisis de datos con el fin de proporcionar a los procesos industriales una mayor inteligencia y adaptabilidad [5]. Las compañías que buscan mantenerse en la competencia evidencian un interés en aumento por analizar su impacto estratégico en la sostenibilidad y la seguridad en el trabajo. La utilización de simuladores permite anticipar las acciones del sistema bajo diferentes condiciones antes de hacer inversiones considerables, disminuyendo de esta manera el nivel de incertidumbre vinculado a las decisiones tecnológicas. Bajo este enfoque, este trabajo busca proporcionar conocimiento aplicado que facilite la toma de decisiones dirigidas a mejorar procesos, mejorar las condiciones de trabajo y aumentar la rentabilidad en industrias tan rigurosas como la avícola.

2.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La industria avícola enfrenta grandes desafíos en eficiencia y sostenibilidad, a su vez debe cubrir la demanda creciente de los consumidores, cada año millones de aves de corral son sacrificadas para proporcionar proteínas a la población en rápida expansión. El sacrificio de las aves de corral requiere de protocolos de higiene estrictos, así también medidas de bioseguridad mejoradas y estrategias efectivas de gestión de riesgos a lo largo de la cadena de producción garantizando la inocuidad alimentaria y la confianza del consumidor[6]. En el momento actual en el que la industria 4.0 nos ofrece tecnologías habilitadoras para que los procesos operativos sean más automatizados, eficientes y flexibles, han tomado fuerza los cobots ya que son muy útiles para la clasificación y empaque, además su diseño permite trabajar junto a humanos, así también reduce el riesgo de accidentes y enfermedades laborales, proporciona seguridad en el trabajo al asumir tareas repetitivas que a largo plazo causa daño a los operarios. Takayuki Ito

presidente de la federación Internacional de Robótica afirma que la adopción de robots en fábricas de todo el mundo continúa expandiéndose China ocupa el segundo lugar le sigue Corea y Singapur, estas van a la par entre Alemania y Japón. Sin embargo, existe incertidumbre sobre el impacto real en la productividad, los requerimientos de integración y el retorno de inversión, variables críticas que necesitan un análisis previo mediante simulación antes de la implementación a escala industrial. En respuesta, plataformas de simulación como CoppeliaSim educativo, Python y FlexSim, han cobrado relevancia como medios para investigar y comparar el estado de una industria.

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo impacta la integración de un robot colaborativo en un puesto de trabajo?

2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1. Objeto de investigación: Robot colaborativo integrado en un puesto de trabajo en una industria avícola.

2.3.2. Campo de acción: 3310.03 Procesos Industriales

2.4. BENEFICIARIOS

2.4.1. Directos

Los beneficiarios directos son los trabajadores de INCUBANDINA S.A. dentro del sector avícola. La Tabla 2.1 se detalla los cargos y la cantidad de empleados en cada puesto de trabajo incluyendo personal administrativo

Tabla 2.1 Beneficiarios directos

Cargo	N° de personas
Gerente propietario	1
Asistente contable	1
Supervisor responsable de seguridad	1
Supervisor responsable de calidad	1
Operarios en área limpia	32
Operarios en área sucia	26
Total	62

2.4.2. Indirectos

Los beneficiarios indirectos son clientes y proveedores que se benefician de la mejora en la calidad y eficiencia de los procesos, ya que permite optimizar la cadena de suministros y fortalecer la competitividad.

2.5. JUSTIFICACIÓN

El propósito de nuestro trabajo responde a la necesidad de cambiar uno de los procesos productivos tradicionales en la industria avícola, un sector clave en la generación de empleo directo como indirecto en el país y de la seguridad alimentaria, contribuyendo a la transformación digital, además de entornos laborales más seguros y eficientes. El proyecto permite aplicar conocimientos sobre automatización, robótica colaborativa y simulación, simultáneamente se aporta evidencia práctica sobre el impacto real de estas tecnologías en un entorno industrial específico, al igual que integrar un robot colaborativo puede reducir la carga física de los trabajadores mejorar la ergonomía y disminuir los riesgos asociados a tareas repetitivas reduciendo la incidencia de enfermedades laborales, al adoptar tecnologías habilitadoras 4.0 la industria puede aumentar su competitividad, sostenibilidad y rentabilidad, asimismo mejorar la calidad del producto. Por estas razones el estudio de la integración de un robot colaborativo antes de su implementación es importante para tomar decisiones informadas.

2.6. OBJETIVOS

2.6.1. General

Realizar el estudio del impacto de la integración de un robot colaborativo en un puesto de trabajo mediante simulación y herramientas de análisis en una industria avícola

2.6.2. Específicos

- Caracterizar la robótica colaborativa mediante una revisión bibliográfica para determinar su aplicabilidad en el sector industrial.
- Diagnosticar la situación actual del proceso productivo de una industria avícola mediante el levantamiento de información para la identificación de problemas.
- Analizar los procesos productivos empleando herramientas computacionales para la estimación del impacto de un robot colaborativo en un puesto de trabajo.

2.7. HIPÓTESIS

Hipótesis Nula (H_0):

La integración de un robot colaborativo en un puesto de trabajo de una industria avícola produce un impacto significativo, mejorando la productividad y reduciendo los tiempos de ciclo, utilizando herramientas de simulación y análisis.

Hipótesis Alterna (H_1):

La integración de un robot colaborativo en un puesto de trabajo de una industria avícola no produce un impacto significativo en la productividad, los tiempos de ciclo, utilizando herramientas de simulación y análisis.

2.8. ALCANCE

El alcance de esta investigación se centra en el impacto que genera la integración de un robot colaborativo(cobot) en un puesto de trabajo dentro de una industria avícola, mediante el uso de software de simulación y herramientas de análisis. Este estudio se enfocará principalmente en un puesto específico de trabajo, que será seleccionado en función a los resultados de las herramientas de análisis. El estudio abordará aspectos relacionados con la mejora en los tiempos de operación y los posibles beneficios en cuanto a productividad, ya que se podrán modelar escenarios antes y después de la integración del cobot, de igual manera se desarrollará un entorno cercano a la realidad de la planta, con el fin de tomar decisiones informadas respecto a la viabilidad de la implementación.

2.9. SISTEMAS DE TAREAS

En la Tabla 2.2 se detalla las actividades a realizarse para dar cumplimiento a cada uno de los objetivos específicos.

Tabla 2.2. Sistemas de tareas

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Caracterizar la robótica colaborativa mediante una revisión bibliográfica para determinar su aplicabilidad en el sector industrial.	Revisión de literatura especializada sobre robótica colaborativa y su aplicación en procesos industriales.	Documento que describa las características técnicas, ventajas y aplicaciones de la robótica colaborativa.	Búsqueda en bases de datos académicas.
	Sistematización de información relevante sobre tecnologías, modelos y beneficios de la robótica colaborativa.	Informe estructurado sobre la aplicabilidad de los robots colaborativos en la industria.	Cuadros comparativos, matrices de síntesis,
Diagnosticar la situación actual del proceso productivo de una industria avícola mediante el levantamiento de información para la identificación de problemas.	Levantamiento de información sobre procesos, tiempos de ciclo y condiciones ergonómicas en el puesto de trabajo.	Datos reales sobre el estado actual del proceso productivo en la industria avícola.	Observación directa, entrevistas, cuestionarios.
	Análisis de la información recopilada para identificar problemas y limitaciones en el proceso actual.	Informe diagnóstico con problemas detectados y áreas susceptibles de mejora.	Técnicas de análisis descriptivo, matrices causa-efecto, diagramas de flujo.
Analizar los procesos productivos empleando herramientas computacionales para la estimación del impacto de un robot colaborativo en un puesto de trabajo.	Estudio de tiempos	Tiempo estándar del proceso y subproceso	Tablas de análisis de estudios de tiempos
	Modelado del puesto de trabajo actual y con robot colaborativo en entornos de simulación.	Escenarios simulados del proceso productivo con y sin robot colaborativo.	Software CoppeliaSim, FlexSim, scripts en Python, bases de datos técnicas.
	Comparación de indicadores clave como tiempos de ciclo, productividad entre ambos escenarios.	Informe técnico que evidencie el impacto de la integración del robot colaborativo.	Tablas comparativas, gráficos de análisis, interpretación de resultados, reportes de simulación.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1. ANTECEDENTES

Inicialmente el 25 de septiembre de 2015 la Asamblea General de Naciones Unidas aprobó, por unanimidad, la agenda 2030 para el desarrollo sostenible, así pues, el presente trabajo investigativo contribuye al objetivo de desarrollo sostenible 8 (trabajo decente y crecimiento económico) donde se menciona la importancia de conseguir un crecimiento económico inclusivo y sostenible que beneficie a todas las personas por igual y no perjudique al medio ambiente. Esto solo podrá conseguirse creando empleo decente para todas las personas, a través de políticas de empleo sostenible y la innovación tecnológica. La integración de robots colaborativos mejora la seguridad laboral, permitiendo que los trabajadores se enfoquen en tareas de mayor valor reduciendo la carga física y repetitiva, lo que permite un trabajo decente y productivo. Al mismo tiempo se genera un aporte al objetivo 9 (Industria, Innovación e infraestructura) introduciendo la innovación como parte de la cultura empresarial, transformando los productos, las instalaciones, los servicios, los procesos productivos y la gestión interna con criterios de sostenibilidad. Se alinea con el Plan Nacional de Desarrollo para un nuevo Ecuador en el eje de Desarrollo Económico que promueve la mejora de la productividad de manera sustentable.

De acuerdo con la investigación realizada por Ozenturk et al. [14], el objetivo del trabajo fue identificar los avances, limitaciones y perspectivas futuras en el uso de la robótica aplicada a la industria avícola, abordando tanto los retos técnicos como el impacto en el bienestar animal. La técnica fue una evaluación exhaustiva de investigaciones recientes sobre cómo se podrían usar los robots para fomentar el comportamiento social en las aves, entre otras cosas. Muestra que robots como Scout, Poultry Patrol y Octopus XO pueden hacer cosas como encontrar áreas húmedas, recoger huevos del suelo con hasta un 95% de precisión e incluso eliminar aves muertas con hasta un 97,5% de precisión. También pueden reducir el estrés de los animales interactuando con ellos de ciertas maneras. Aunque los robots ofrecen mejoras en productividad y bioseguridad, aún existen desafíos técnicos en navegación autónoma, manejo de interacciones con animales y costes de implementación. Este documento aporta a la presente investigación al ofrecer una visión técnica y práctica sobre el uso de robots colaborativos en la industria avícola, proporcionando referencias concretas sobre el potencial y limitaciones de la simulación.

Asad et al. [15], refiere que analizaron cómo la integración de robots y sensores inteligentes en la industria avícola podría hacer que los animales sean más saludables y productivos. Revisaron

la literatura para aprender sobre tecnologías que pueden ayudarlos a vigilar el medio ambiente, mantener saludables a las aves y automatizar tareas como alimentar y recolectar huevos. El monitoreo en tiempo real ha reducido el costo de recolectar óvulos hasta en un 95% y ha reducido la necesidad de antibióticos. También ha habido avances en la conversión de piensos y una disminución en los costos de hacer negocios. La automatización tiene muchos beneficios para la eficiencia y la sostenibilidad, pero aún es difícil de usar en granjas a gran escala debido a problemas técnicos y altos costos iniciales. Este estudio se suma al esfuerzo actual al brindar datos del mundo real y apoyo técnico sobre cómo la robótica puede afectar los procesos avícolas. Se puede utilizar como referencia para simular la integración de robots colaborativos.

Como plantea Elango et al. [16], realizaron un estudio que produjo un sistema digital utilizando inteligencia artificial para descubrir enfermedades en el sector avícola. La idea era simplificar la detección de enfermedades mediante el uso de muchos sensores y la colaboración con tecnologías de transporte. Usó TensorFlow para identificar cosas y realizar un seguimiento de los cambios de temperatura, observando los datos a medida que ingresaban. Las pruebas son mejores para detectar enfermedades como la viruela aviar, el paramixovirus y la coccidiosis que los métodos más antiguos, pero no arrojan cifras exactas. Concluyen que integrar IA y sensores fortalece el control preventivo, contribuye a objetivos de desarrollo sostenible y envía alertas inmediatas a los granjeros mediante GSM e IoT. Este estudio aporta al presente trabajo al demostrar cómo tecnologías inteligentes y simulación pueden optimizar procesos avícolas. Sirve de referencia para evaluar el impacto de robots colaborativos en puestos de trabajo mediante entornos virtuales.

El estudio de Zhang et al. [17], consistió en crear algoritmos para diseñar rutas para robots de alimentación autónomos de granjas avícolas inteligentes. El objetivo principal era utilizar menos energía al alimentarse. Emplearon un método que usaba algoritmos exactos como branch y bound para problemas menores y algoritmos genéticos de doble cruce para problemas mayores. Pudieron localizar las rutas óptimas utilizando bifurcación y unión en 300 segundos y en 30 puntos en 60 segundos utilizando el algoritmo genético. Estas rutas consumían menos energía que las habituales. Concluyen que su enfoque permite reducir costos operativos y mejorar la eficiencia en granjas inteligentes. Este trabajo aporta a la presente investigación al demostrar cómo el análisis computacional y la simulación permiten planificar trayectorias eficientes de robots en entornos avícolas, sirviendo de base técnica para evaluar la integración de robots colaborativos mediante simulaciones virtuales.

Ahlin [18], analizó la propuesta del “Robotic Workbench” como nueva estrategia para flexibilizar los procesos industriales en la industria avícola, con el objetivo de sustituir parcialmente el modelo rígido de la línea de ensamblaje mediante estaciones robóticas capaces de adaptarse a variaciones en tamaño y forma. El plan requería una revisión técnica y un desarrollo experimental de cosas como colocación automatizada, deshuesado robótico y carga de conos. Algunos de los resultados más importantes son poder manipular aves en menos de 30 segundos para las tareas de colocar y producir cortes dinámicos de deshuesado a velocidades de hasta 15 aves por minuto, que es lo mismo que puede hacer una persona. Argumenta que agregar estaciones robóticas puede modificar la forma en que se procesa el pollo, pero aún existen problemas de velocidad y precisión en la fábrica. Este trabajo aporta a la presente investigación al evidenciar cómo sistemas robóticos flexibles pueden implementarse en puestos específicos de trabajo, lo cual es clave para analizar mediante simulación el impacto de integrar robots colaborativos en la industria avícola.

Tal como Quan et al. [19], su trabajo tuvo como objetivo desarrollar un robot inteligente para granjas avícolas, capaz de monitorizar en tiempo real el estado de los pollos y apoyar decisiones de manejo. El enfoque incluyó tecnología que incluía sensores LiDAR, infrarrojos y ultrasónicos integrados en ROS y desarrollados en Python para realizar experimentos en una granja real. Uno de los descubrimientos más impresionantes es que el robot pudo detectar impedimentos de manera precisa y constante, posicionarse usando mapas y enviar datos en vivo. Los usuarios dijeron que estaban muy contentos con lo fácil que era de usar y lo confiable que era. Los resultados muestran que el enfoque hace que el monitoreo sea más eficiente y ayuda a administrar mejor las granjas. Este estudio aporta a la presente investigación, pues muestra cómo integrar sensores y simulación para optimizar procesos avícolas, útil para analizar cobots en entornos virtuales como CoppeliaSim, y ofrece un referente técnico sobre automatización en espacios dinámicos.

Como señala Keshvarparast et al. [20], desarrollaron un modelo matemático para diseñar estaciones de trabajo colaborativas hombre-robot, integrando tanto riesgos posturales como niveles de fatiga, en línea con los principios de la Industria 5.0. El método empleó modelos de computadora, sensores inerciales para analizar el movimiento y electromiografía de superficie para verificar la fatiga muscular y probar el modelo colocando un estante de 91 cm de ancho, 29,5 cm de profundidad y 91 cm de alto. El tiempo más corto que tardó en operar cada artículo fue de 22,3 minutos, y el nivel más bajo de cansancio fue del 24,92%. Esto ilustra que el modelo puede encontrar un buen equilibrio entre comodidad y productividad. Las conclusiones

evidencian que es posible optimizar el diseño de estaciones colaborativas reduciendo riesgos ergonómicos sin sacrificar significativamente el rendimiento operativo. Este estudio aporta a la presente investigación, pues ofrece fundamentos metodológicos y técnicos para evaluar alternativas de diseño ergonómico en entornos colaborativos, aspecto esencial para simular e integrar robots colaborativos en la industria avícola.

El estudio de Zúñiga [12], plantea como objetivo diseñar e implementar un sistema de rehabilitación para el tren superior empleando un robot colaborativo UR3, orientado a asistir pacientes con capsulitis adhesiva. Programó ROS, hizo piezas en 3D y controló dispositivos Arduino. También utilizó RViz para imitar cosas antes de probarlas en la vida real. Una de las cosas más intrigantes que descubrieron fue que el UR3 podía levantar y girar su brazo en cuatro pasos, haciendo giros de 180 grados con una precisión de $\pm 0,1$ mm. También pudo emplear códigos ArUco para detectar componentes mediante visión artificial en otra prueba. Los resultados sugieren que los robots colaborativos pueden usarse para automatizar el tratamiento físico. Esto reduce los costos y permite a las personas realizar las modificaciones que sean mejores para ellos. Este trabajo aporta a la presente investigación, pues demuestra que los robots colaborativos pueden programarse, simularse y validar trayectorias antes de implementarse, aspecto para analizar en entornos virtuales como CoppeliaSim la integración de cobots en procesos industriales, garantizando seguridad y eficiencia.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. ROBÓTICA COLABORATIVA

Inicialmente la robótica colaborativa es el campo que estudia y desarrolla robots colaborativos (cobots) se refiere a los sistemas robóticos diseñados para relacionarse de forma directa con las personas en un espacio de trabajo compartido, así mismo es uno de los pilares de la cuarta revolución industrial. La robótica colaborativa se ha convertido en un elemento de cambio en el mundo industrial actual, reemplazando gradualmente la idea de que los robots estén atrapados detrás de los límites físicos con sistemas que pueden trabajar de forma segura con las personas. La industria 5.0 está impulsando este modelo, que se enfoca en construir lugares de trabajo que protejan la salud mental y física de los trabajadores. Es importante señalar que los cobots con sensores avanzados pueden detectar cuándo hay personas alrededor y responder rápidamente para minimizar los accidentes, ya que esto significa que pueden usarse en entornos comunes [21]. Este cambio se está produciendo porque existe una creciente necesidad de que las líneas

de producción sean flexibles y adaptables, especialmente en industrias como la alimentaria y la automotriz, donde los bienes y procesos cambian todo el tiempo.

Los cobots se diferencian de los robots normales en que incluyen características de seguridad integradas que incluyen sistemas de parada automática que se activan cuando entran en contacto con algo y límites en las fuerzas que pueden usar. Este tipo de sistemas exigen una cuidadosa planificación de rutas, la formación de zonas de trabajo y el desarrollo de procesos de interacción para mantener el equilibrio correcto entre seguridad y rendimiento. Por esta razón, los organismos internacionales han creado pautas como ISO / TS 15066:2016 que detallan los niveles específicos de fuerza, presión y velocidad que son apropiados en situaciones de colaboración. Estas regulaciones están destinadas a proteger a los operadores de lesiones y ofrecerles fortaleza mental. Deberían pensar en el robot como un amigo en lugar de una amenaza [22].

Existen problemas con el uso de robots colaborativos, como el hecho de que las personas tienen muchas formas y tamaños y tienen diferentes talentos mentales y físicos. Esto significa que los cobots deben poder cambiar en tiempo real para adaptarse a las necesidades de cada persona que trabaja en el mismo lugar. Se necesitan modelos humanos digitales (DHM) y simulaciones sofisticadas que puedan predecir problemas ergonómicos y ayudar a diseñar estaciones de trabajo accesibles para todos. Así, la robótica colaborativa transita de ser una mera herramienta técnica a constituir un componente clave en estrategias de diseño centradas en el ser humano [23].

La robótica colaborativa también ha demostrado ser una forma de aumentar la productividad, ya que permite a las personas concentrarse en trabajos que aportan más valor al alejarlos de los repetitivos y físicamente exigentes. Cuando se hace bien, la colaboración entre humanos y robots puede reducir mucho el tiempo del ciclo y los gastos operativos, así como la cantidad de lesiones musculoesqueléticas [24]. Los cobots son naturalmente adaptables, lo que permite modificar rápidamente el diseño de las estaciones de trabajo cuando cambia la combinación de productos o las demandas del mercado, ya que esta es una gran ventaja en sectores que cambian mucho, en la Figura 4.1 se muestra la evolución de la robótica colaborativa.

Característica	Robots Industriales de los 90	Robots Colaborativos a principios de los 2000	Robots Colaborativos de los 2010	Robots Colaborativos Actuales
Característica Principal	Tareas repetitivas con precisión	Colaboración segura entre humanos y robots	Toma de decisiones impulsada por IA	Facilitador de la transformación digital
Seguridad	Entornos aislados requeridos	No se necesitan barreras físicas	Mejora en la capacidad de toma de decisiones	Mejora en la seguridad laboral
Tecnologías Clave	Automatización básica	Sensores avanzados, sistemas de visión	IA, aprendizaje automático, IoT	Mayor autonomía, conectividad
Principales Aplicaciones	Tareas industriales	Fabricación	Sectores diversos (logística, etc.)	Automatización de tareas complejas

Figura 4.1 Evolución robótica colaborativa

4.2. ROBOTS COLABORATIVOS

Los cobots, o robots colaborativos, son una especie de robot industrial que puede operar con personas en la misma zona sin poner a nadie en peligro. Los cobots son diferentes de los robots industriales estándar, ya que están integrados directamente en las estaciones de trabajo y pueden realizar trabajos repetitivos, requieren precisión o son físicamente exigentes. Este diseño colaborativo responde a imperativos ergonómicos, dado que permite mitigar cargas biomecánicas que suelen derivar en trastornos musculoesqueléticos. En tal sentido, la presencia de sensores de fuerza, cámaras de visión artificial y sistemas de respuesta dinámica dota a estos dispositivos de capacidades avanzadas para percibir su entorno y reaccionar ante cualquier interacción inesperada [25].

Desde un punto de vista tecnológico, los cobots tienen características que los hacen útiles en entornos productivos. Tienen mecanismos que restringen la fuerza y la velocidad, algoritmos de aprendizaje que funcionan mediante demostración y protocolos de programación sencillos que les facilitan la adaptación a diversas tareas sin tener que reprogramarlas de una manera complicada. Estas cualidades los hacen perfectos para tareas que necesitan precisión y flexibilidad, como armar componentes pequeños, empacar o mover cosas en líneas de producción que cambian [26]. Para que funcionen juntos, los espacios de trabajo deben analizarse a fondo y los flujos operativos deben planificarse cuidadosamente. Esto se debe a

que su eficacia y seguridad dependen de la definición correcta de las zonas de colaboración y la coordinación de las actividades humanas y las rutas robóticas.

Es importante destacar que el crecimiento de los robots colaborativos se ha visto muy favorecido por el establecimiento de regulaciones. ISO 10218-1 e ISO/TS 15066: 2016 son ejemplos de normas internacionales que proporcionan limitaciones definidas sobre la fuerza, la presión y la velocidad para proteger la seguridad de los trabajadores. Estas reglas han ayudado a aclarar cómo evaluar el riesgo y verificar que ciertas aplicaciones sean seguras. Por lo tanto, los fabricantes y diseñadores de sistemas colaborativos deben incluir formas de regular y probar que aseguren que los operadores estén sanos y salvos [27].

Los robots colaborativos son una respuesta técnica a la necesidad de procedimientos de trabajo más eficientes y amigables con las personas. Mezclan actividades automatizadas y humanas en el mismo espacio. Esta parte del texto es muy útil para el estudio actual porque nos brinda los antecedentes teóricos y tecnológicos que se necesita para descubrir cómo implementar cobots en las operaciones industriales avícolas [28]. Para imitar el funcionamiento de los robots colaborativos en plataformas como CoppeliaSim y FlexSim, debe incluir las funcionalidades enumeradas anteriormente, así como los requisitos reglamentarios y los estándares de diseño ergonómico. Esto nos ayudará a entender cómo afectarán la seguridad, la salud y la productividad de los trabajadores en un campo que es particularmente sensible a los problemas de salud y seguridad.

4.2.1. Modelos

4.2.1.1. UR3

El modelo UR3 de Universal Robots es una buena opción para la robótica colaborativa, ya que es el más pequeño y se puede utilizar de múltiples maneras como se muestra en la Figura 4.2. Está diseñado para realizar trabajos y tareas de precisión en espacios pequeños. Este robot es un miembro de la familia de brazos robóticos livianos y fue diseñado para funcionar de manera segura junto a las personas. Se destaca porque es fácil de entrenar, se mueve correctamente una y otra vez y se puede utilizar en una variedad de operaciones industriales. Su diseño mecánico y electrónico le permite realizar trabajos de ensamblaje, manipular piezas y realizar pruebas de laboratorio, lo que lo convierte en un gran elemento en la automatización de actividades [29].



Figura 4.2. Cobot UR3[29]

El UR3 se considera un recurso clave en proyectos industriales que tienen como objetivo mejorar los tiempos de ciclo y aumentar los requisitos de seguridad y productividad en la producción [30, 31] en la Tabla 4.1 Se muestra aspectos importantes del modelo.

Tabla 4.1. Aspectos importantes del modelo UR3[29].

Aspecto	Detalle
Marca / Fabricante	Universal Robots
Alcance máximo	500 mm
Carga útil máxima	3 kg
Peso del robot	11,2 kg
Repetibilidad	$\pm 0,1$ mm
Número de ejes	6
Velocidad máxima conjunta	1 m/s
Programación	Interfaz intuitiva y enseñanza manual (free-drive)
Integración de seguridad	Limitación de fuerza, detección de colisiones, paradas seguras
Aplicaciones comunes	Ensamblaje, manipulación de piezas pequeñas, pruebas de laboratorio, atornillado, soldadura ligera

4.2.1.2. UR5

El modelo UR5 de Universal Robots es una opción intermedia en el mundo de los robots colaborativos. Logra un buen equilibrio entre el alcance operativo y la capacidad de carga. Este brazo robótico es liviano y adaptable a circunstancias cambiantes de la producción como se evidencia en la Figura 4.3., y fue diseñado para interactuar estrechamente con trabajadores humanos. Puede programarse de una manera que facilite su uso en una variedad de procesos de fabricación. Es una herramienta útil para líneas de montaje, materiales en movimiento y tareas precisas, ya que puede moverse de formas intrincadas y tiene excelentes sistemas de seguridad y detección de colisiones [32].

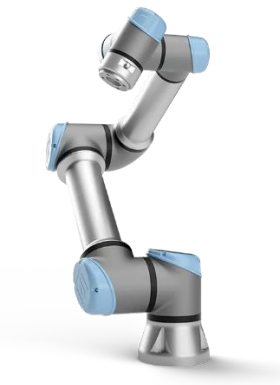


Figura 4.3. Cobot UR5[32]

El UR5 marca una gran diferencia al hacer que las estaciones de trabajo sean más eficientes, reduciendo el esfuerzo físico necesario para tareas repetitivas y mejorando los lugares de trabajo en campos acelerados [33, 34]. En la Tabla 4.2. se muestra aspectos importantes del modelo.

Tabla 4.2. Aspectos importantes del modelo UR5[32].

Aspecto	Detalle
Marca / Fabricante	Universal Robots
Alcance máximo	850 mm
Carga útil máxima	5 kg
Peso del robot	20,6 kg
Repetibilidad	$\pm 0,1$ mm
Número de ejes	6
Velocidad máxima conjunta	1 m/s
Programación	Interfaz gráfica intuitiva y guiado manual (free-drive)
Integración de seguridad	Sensores de fuerza, detección de colisiones, paradas seguras
Aplicaciones comunes	Ensamblaje, pick and place, embalaje, manipulación de piezas, pruebas de calidad

4.2.1.3. UR10

El modelo UR10 de Universal Robots es el cobot más fuerte en la línea de la compañía. Está diseñado para tareas que requieren levantar mucho peso y un radio de operación largo según se muestra en la Figura 4.4 . Este brazo robótico fue diseñado para realizar tareas difíciles que necesitan precisión y alcance. También contiene medidas de seguridad que le permiten trabajar de manera segura con personas. Su construcción mecánica y potencia lo hacen perfecto para tareas como paletizar, mover cosas pesadas y operaciones de ensamblaje a gran escala, donde tiene que poder levantar cosas más grandes sin perder la flexibilidad y adaptabilidad que caracterizan a los cobots [35].



Figura 4.4. Cobot UR10[35]

El UR10 es una solución crítica para entornos industriales que necesitan ser seguros, eficientes y capaces de realizar operaciones repetidas a mayor escala como se aprecia en la Tabla 4.3. Se ha convertido en un socio importante en la creciente automatización de los procesos de fabricación [36].

Tabla 4.3. Aspectos importantes del modelo UR10[35].

Aspecto	Detalle
Marca / Fabricante	Universal Robots
Alcance máximo	1300 mm
Carga útil máxima	10 kg
Peso del robot	28,9 kg
Repetibilidad	±0,1 mm
Número de ejes	6
Velocidad máxima conjunta	1 m/s
Programación	Interfaz intuitiva y enseñanza manual (free-drive)
Integración de seguridad	Limitación de fuerza, sensores de colisión, paradas seguras
Aplicaciones comunes	Paletizado, manipulación de materiales pesados, ensamblaje, embalaje, carga y descarga de máquinas

4.2.2. Ventajas

En el mundo industrial actual, los robots colaborativos se han convertido en una herramienta estratégica que va más allá de la automatización básica y ahora es una parte importante para hacer que los procesos de trabajo sean más eficientes y proteger la salud y la seguridad de los trabajadores. Los cobots han transformado la forma en que funciona la producción convencional al poder hacer muchas cosas diferentes y tener mejores habilidades técnicas. Brindan diversos beneficios, como un mejor rendimiento operativo y una reducción de las preocupaciones ergonómicas y de salud [37]. Estos beneficios afectan muchas áreas, como la seguridad de los trabajadores, la eficiencia del tiempo y la competitividad corporativa, creando

una situación en la que la tecnología y las personas se unen para cambiar las reglas del juego en el mundo industrial.

- **Automatización de la producción:** Los cobots facilitan a las organizaciones de todos los tamaños el uso de procesos automáticos en sus líneas de producción sin tener que realizar grandes cambios en su infraestructura. Al mismo tiempo, su versatilidad le permite realizar una amplia gama de trabajos, desde los simples que deben realizarse una y otra vez hasta los más complicados que requieren más reflexión. Esto libera a los trabajadores humanos para hacer cosas más importantes.

- **Rendimiento constante:** los robots colaborativos pueden trabajar día y noche, lo que aprovecha al máximo los recursos y reduce el tiempo de inactividad de la producción. Además, mantienen una precisión uniforme en cada tarea ejecutada, asegurando estándares de calidad estables sin verse afectados por fatiga o distracciones humanas [38].

- **Reducción de riesgos laborales:** usarlo puede ayudar a evitar lesiones causadas por hacer lo mismo una y otra vez o realizar un gran esfuerzo físico, que son causas típicas de problemas musculoesqueléticos. Los cobots también realizan trabajos difíciles, como manipular objetos afilados o estar cerca de sustancias venenosas, lo que ayuda a reducir el número de accidentes y enfermedades ocupacionales.

- **Disminución del tiempo de comercialización:** Los cobots pueden aprender rápidamente nuevas actividades, lo que reduce los tiempos de ciclo y acelera la producción de bienes, lo que les facilita llegar al mercado antes. Paralelamente, esta agilidad otorga a las empresas una ventaja estratégica, pues posibilita responder de forma eficaz a cambios en la demanda y a exigencias del entorno competitivo [39].

4.2.3. Desafíos

En entornos industriales, especialmente frente al avance hacia la Industria 4.0 se debe abordar los desafíos regulatorios y de seguridad, si bien existe un reconocimiento del potencial de la robótica para mejorar ergonomía y flexibilidad, persiste una fuerte resistencia industrial debido a costos elevados y dificultades de integración tecnológica, carencia de mecanismos que evalúen el equilibrio entre seguridad, eficiencia y flexibilidad. La transición hacia una colaboración humano-robot verdaderamente inteligente exige una revisión regulatoria, cambios

culturales en la industria y el desarrollo de nuevas metodologías de evaluación de riesgos y medidas de seguridad adaptativas[5] .

4.2.4. Aplicaciones Industriales

4.2.4.1. Automotriz

Se utiliza para el ensamblaje de autopartes, la manipulación de componentes pesados y montaje con alta precisión, coloca pequeños componentes como tornillos, o sensores en módulos específicos del vehículo. Esto mejora la seguridad de los operarios y la calidad del producto final, reduciendo errores humanos y acelerando la producción.

4.2.4.2. Alimentaria

Usada en el envasado y empaquetado de productos alimenticios, así mismo ayuda en la separación de productos defectuosos o clasificación por tamaño o color antes del empaquetado, permitiendo un manejo rápido y cuidadoso, asegurando la higiene.

4.2.4.3. Farmacéutica

Utilizada para la selección, manipulación y empaquetado de productos farmacéuticos, garantizando seguridad en la manipulación de productos delicados.

4.2.4.4. Electrónica y Ensamblaje

Los robots pick and place maneja componentes electrónicos, como chips y placas de circuitos impresos, facilitando el montaje automatizado y la inspección de calidad.

4.2.4.5. Logística y almacenamiento

Mejora la carga, descarga y clasificación de paquetes en centros de distribución, mejorando la gestión de pedidos y la seguridad en la manipulación de mercancías.

4.2.4.6. Normativa

Existen cuatro métodos que garantizan la colaboración segura entre humanos y robots los cuales están dispuestos en las normas ISO 10218 y en la ISO 15066; estos métodos son:

Parada monitoreada con clasificación de seguridad: se aplica cuando el robot colaborativo y el humano tienen que trabajar uno al lado del otro. Algunos robots tienen sensores que provocan estas paradas de seguridad, mientras el operador se encuentra junto a él se activan para

detenerse. Monitoreo de velocidad y separación: se utiliza cuando el operador y el cobot están trabajando juntos; la idea de este protocolo es anticipar la colisión.

Guía manual: esta se utiliza cuando el operador tiene que planificar nuevamente la ruta del robot. esto se logra con un dispositivo manejado de forma manual que permite mandar ordenes hacia el robot, limitación de potencia y fuerza: se utiliza cuando el robot y el operador pueden tener contacto físico. Según la Federación Internacional de Robótica, el 72,7% de los robots industriales se utilizan para tareas de pintura, soldadura, recogida y colocación y montaje [6].

4.3. INGENIERÍA DE MÉTODOS

La Ingeniería de Métodos es una disciplina fundamental en el ámbito de la organización industrial, orientada a analizar y optimizar los procesos productivos mediante el estudio sistemático de las operaciones, movimientos y tiempos involucrados en la fabricación de bienes o prestación de servicios. Uno de los objetivos es encontrar ineficiencias, deshacerse de los desperdicios y cambiar la forma en que las personas trabajan para hacerlas más productivas, garantizar la calidad y hacer que el ambiente de trabajo sea más cómodo para los trabajadores. Lo hace mediante el uso de ciertos métodos, como el diagrama de operaciones, el estudio de tiempos, el análisis de movimientos y la estandarización de procesos. Estas herramientas brindan una imagen clara de cada tarea y cómo afecta el flujo general de producción. Esta disciplina, exige una rigurosa observación de la realidad operativa, así como la interpretación crítica de datos cuantitativos y cualitativos, con el propósito de sustentar decisiones de mejora que resulten técnica y económicamente viables [40].

La ingeniería de métodos ha cambiado mucho desde la introducción de tecnologías digitales como modelos de simulación, visión artificial y sistemas de análisis de datos en tiempo real. Estas tecnologías le permiten probar mejoras en los procesos antes de ponerlas en práctica. Este método preventivo reduce los riesgos que conlleva iniciar nuevos procesos, acelera el tiempo que lleva cambiar y reduce los gastos que conlleva el cierre o reprocesamiento. Esto cobra relevancia su papel en contextos industriales que incorporan robótica colaborativa, donde es indispensable evaluar la interacción hombre-máquina para diseñar estaciones de trabajo seguras, ergonómicas y eficientes [41]. La Ingeniería de Métodos se consolida como una herramienta estratégica para alcanzar la competitividad, la sostenibilidad y el bienestar laboral, adaptándose a los desafíos de la Industria 4.0 y de los entornos productivos de alta variabilidad.

4.3.1. Objetivos principales

Los objetivos principales de la ingeniería de métodos son analizar y reestructurar las etapas que componen un proceso industrial con el fin de aprovechar al máximo los recursos productivos. El propósito de este campo es reducir el tiempo perdido, deshacerse de movimientos adicionales y establecer formas regulares de hacer las cosas que aseguren que la tarea se realice de manera segura y rápida. También quiere hacer que el trabajo de los operadores sea más cómodo al reducir la cantidad de esfuerzo físico que tienen que realizar y el peligro de lesiones derivadas de estar en posiciones forzadas o hacer lo mismo una y otra vez. Otro propósito fundamental radica en incrementar la productividad y disminuir costos, permitiendo a las organizaciones responder con mayor agilidad a las exigencias del mercado [42]. La ingeniería de métodos se rige en un instrumento estratégico para consolidar la competitividad, la calidad y el bienestar en los entornos industriales.

4.3.2. Herramientas de la ingeniería de métodos

La ingeniería de métodos dispone de un conjunto de herramientas técnicas que permiten analizar, registrar y mejorar las actividades que conforman los procesos productivos como se presenta en la Tabla 4.4. Estas herramientas facilitan la identificación de ineficiencias, contribuyen a diseñar métodos de trabajo más seguros y eficaces y sirven de base para la toma de decisiones orientadas a optimizar tiempos, recursos y condiciones laborales [43].

Tabla 4.4. Herramientas de la ingeniería de métodos [44]

Herramienta	Descripción
Diagrama de operaciones	Representa gráficamente las secuencias de procesos y operaciones, facilitando la visualización del flujo de trabajo.
Estudio de tiempos	Permite medir la duración de cada tarea para determinar estándares y detectar posibles mejoras.
Estudio de movimientos	Analiza los movimientos realizados por los operarios, con el fin de reducir esfuerzos innecesarios y mejorar la ergonomía.
Diagramas de recorrido	Muestran los desplazamientos de materiales o personas en planta, ayudando a reducir trayectos y optimizar el layout.
Hoja de análisis de procesos	Registra información detallada sobre cada operación, insumo y recurso utilizado, facilitando el análisis crítico del proceso.

4.3.3. Medición del trabajo

Es una disciplina dentro de la ingeniería industrial que se enfoca en determinar el tiempo necesario para realizar una tarea en condiciones normales de trabajo, así también es posible establecer estándares de tiempo y mejorar las actividades operativas. Medir la duración de cada tarea es determinante para analizar los procesos y mejorar el uso de los recursos.

Para poder referenciar los tiempos trabajamos con varios cálculos; tenemos que entender los siguientes conceptos:

Tiempo Observado: es el tiempo que mide el analista directamente en la ejecución de la actividad en el proceso, utilizando instrumentos como el cronometro, no incluyen ajuste, la observación de este tiempo es directo, es la base inicial para calcular los otros tiempos; se calcula con la siguiente ecuación (4.1).

$$TO = \frac{\sum \text{muestras}}{n} \quad (4.1)$$

Donde:

TO = tiempo observado

$\sum \text{muestras}$ = sumatoria de todas las muestras

n = número de muestras

Valoración del ritmo: es un cálculo que permite ajustar el tiempo observado, valorando el desempeño real del operario, los datos que se toman para este cálculo se reflejan en la Figura 4.5

<u>HABILIDAD</u>			<u>ESFUERZO</u>		
+0.15	A1	Extrema	+0.13	A1	Excesivo
+0.13	A2	Extrema	+0.12	A2	Excesivo
+0.11	B1	Excelente	+0.10	B1	Excelente
+0.08	B2	Excelente	+0.08	B2	Excelente
+0.06	C1	Buena	+0.05	C1	Buena
+0.03	C2	Buena	+0.02	C2	Buena
0.00	D	Regular	0.00	D	Regular
-0.05	E1	Aceptable	-0.04	E1	Aceptable
-0.10	E2	Aceptable	-0.08	E2	Aceptable
-0.16	F1	Deficiente	-0.12	F1	Deficiente
-0.22	F2	Deficiente	-0.17	F2	Deficiente
<u>CONDICIONES</u>			<u>CONSISTENCIA</u>		
+0.06	A	Ideales	+0.04	A	Perfecta
+0.04	B	Excelentes	+0.03	B	Excelente
+0.02	C	Buenas	+0.01	C	Buena
0.00	D	Regulares	0.00	D	Regular
-0.03	E	Aceptables	-0.02	E	Aceptable
-0.07	F	Deficientes	-0.04	F	Deficiente

Figura 4.5 Tabla para cálculo del ritmo de trabajo de operarios

Tiempo normal: es el resultado que se obtiene al ajustar el tiempo observado por el ritmo real de trabajador; esto representa el tiempo que tomaría completar una tarea si el operario trabajara con un desempeño promedio, la ecuación (4.2) para calcular es la siguiente:

$$TN = TO \times VR \quad (4.2)$$

Donde:

TN = tiempo normal

TO = tiempo observado

VR = Valoración del ritmo

Suplementos: son tiempos que se le agregan al tiempo normal, se tiene en cuenta factores que se observan en la planta que pueden afectar al operario durante su jornada laboral, a pesar que no formen para directa de la parte productiva, estos se calculan por medio de la Figura 4.6 de se muestra los suplementos presentada por la organización internacional del trabajo (OIT).

SUPLEMENTOS CONSTANTES		HOMBRE	MUJER	SUPLEMENTOS VARIABLES		HOMBRE	MUJER
Necesidades personales		5	7	e) Condiciones atmosféricas			
Básico por fatiga		4	4	Índice de enfriamiento, termómetro de KATA (milicalorías/cm2/segundo)			
SUPLEMENTOS VARIABLES		HOMBRE	MUJER	16	0		
a) Trabajo de pie				14	0		
Trabajo se realiza sentado(a)		0	0	12	0		
Trabajo se realiza de pie		2	4	10	3		
b) Postura normal				8	10		
Ligeramente incómoda		0	1	6	21		
Incómoda (inclinación del cuerpo)		2	3	5	31		
Muy incómoda (Cuerpo estirado)		7	7	4	45		
c) Uso de la fuerza o energía muscular (levantar, tirar o empujar)				3	64		
Peso levantado por kilogramo				2	100		
2,5		0	1	f) Tensión visual			
5		1	2	Trabajos de cierta precisión		0	0
7,5		2	3	Trabajos de precisión o fatigosos		2	2
10		3	4	Trabajos de gran precisión		5	5
12,5		4	6	g) Ruido			
15		5	8	Sonido continuo		0	0
17,5		7	10	Sonidos intermitentes y fuertes		2	2
20		9	13	Sonidos intermitentes y muy fuertes		5	5
22,5		11	16	Sonidos estridentes		7	7
25		13	20 (máx)	h) Tensión mental			
30		17		Proceso algo complejo		1	1
33,5		22		Proceso complejo o de atención dividida		4	4
d) Iluminación				Proceso muy complejo		8	8
Ligeramente por debajo de la potencia calculada		0	0	i) Monotonía mental			
Bastante por debajo		2	2	Trabajo monótono		0	0
Absolutamente insuficiente		5	5	Trabajo bastante monótono		1	1
				Trabajo muy monótono		4	4
				j) Monotonía física			
				Trabajo algo aburrido		0	0
				Trabajo aburrido		2	2
				Trabajo muy aburrido		5	5

Figura 4.6 Tabla de suplementos presentada por OIT

Tiempo estándar: es el tiempo total calculado con los ajustes de ritmo de trabajo promedio y el margen adicional que otorga los suplementos calculados, este se calcula con la siguiente ecuación (4.3)

$$T_e = T_N \times (1 + S) \quad (4.3)$$

Donde:

T_e = tiempo estándar

T_N = tiempo normal

S = suplementos

Tiempo de ciclo

Es el tiempo total que pasa desde que inicia una unidad su producción hasta que está terminada dentro de una actividad o tarea, su cálculo se hace con la siguiente ecuación (4.4).

$$T_c = \sum T_e \quad (4.4)$$

T_c = tiempo de ciclo

$\sum T_e$ = sumatoria de tiempos estándar

4.3.4. Entornos de simulación

Los entornos de simulación constituyen plataformas tecnológicas diseñadas para recrear de manera virtual procesos industriales, líneas de producción o interacciones complejas entre máquinas y operarios, sin necesidad de intervenir directamente en la planta física. Estos han ayudado al desarrollo e integración de robots colaborativos ya que permiten que personas y cobots trabajen juntos en entornos virtuales [45]. Estas plataformas le permiten crear y ver cómo se mueven los robots, probar su comportamiento en diversas situaciones y hacer todo esto sin poner a los operadores en peligro real. Con el uso de modelos 3D y potentes algoritmos físicos, podemos predecir interacciones, verificar la seguridad de los movimientos y observar qué tan bien funciona cada secuencia de tareas. De este modo, los entornos de simulación se convierten en herramientas estratégicas para diseñar estaciones colaborativas que garanticen tanto la productividad como la seguridad y la ergonomía en los procesos industriales. CoppeliaSim y

FlexSim son ejemplos de herramientas utilizadas en robótica colaborativa que le permiten examinar cosas como la duración de los ciclos, la detección de colisiones y cómo los cobots pueden adaptarse a trabajos o diseños cambiantes [24]. Estas plataformas también facilitan la visualización de diferentes escenarios, como cuando cambia el ritmo del robot o cuando se acerca demasiado a los operadores. Esto es crucial para mantener a todos seguros y aprovechar al máximo el trabajo de los robots. Esto le permite comparar varios tipos de cobots y elegir el mejor en función de los requisitos de carga, la precisión y el espacio disponible [31]. Por lo tanto, son una parte esencial para garantizar que las soluciones colaborativas funcionen bien y de manera segura en empresas que desean combinar la automatización moderna con la flexibilidad y seguridad de los recursos humanos.

4.3.5. Tipos de entornos de simulación

Hay muchos tipos diferentes de entornos de simulación en el campo de la robótica colaborativa. Estos entornos le permiten modelar, diseñar y analizar en detalle cómo se mueven los cobots y cómo interactúan con las personas y las cosas del entorno. Estas plataformas, que tienen diferentes características y propósitos, brindan herramientas que facilitan la verificación de procedimientos y hacen que las estaciones de trabajo colaborativas sean más eficientes, en la Tabla 4.5., se presenta varios tipos de entornos. Esto ayuda a reducir los riesgos y aumentar la productividad en el lugar de trabajo [46].

Tabla 4.5 Tipos de entorno de simulación

Tipo de entorno	Descripción
Simulación cinemática	Modela movimientos y trayectorias de robots sin considerar fuerzas físicas complejas, útil para validar rutas y posiciones.
Simulación dinámica	Incluye análisis de fuerzas, inercias y contactos, permitiendo evaluar comportamientos reales bajo distintas condiciones físicas.
Simulación de procesos	Representa flujos completos de producción, incluyendo tiempos de ciclo, logística y disposición de recursos, ideal para optimizar layout.
Simulación de realidad virtual (VR)	Genera entornos inmersivos en 3D que permiten interactuar virtualmente con robots y estaciones de trabajo, útil para formación y validación ergonómica.
Simulación de eventos discretos	Analiza procesos industriales basados en secuencias de eventos, midiendo tiempos de espera, colas y cuellos de botella para mejorar la eficiencia global.

4.3.6. Ventajas de simular antes de implementar

Simular antes de hacer algo es una parte importante de los robots colaborativos. Le permite verificar que las rutas sean las correctas, detectar posibles conflictos operativos y asegurarse de que se sigan los estándares de seguridad, todo sin poner en riesgo a los operadores ni los recursos físicos. La configuración de simulación le permite ver de cerca los cobots a medida que lidian con dificultades, zonas peligrosas o tiempos de ciclo lentos. Es más sencillo crear estaciones de colaboración efectivas cuando planifica cuidadosamente el área, la ergonomía y cómo interactúan las personas y los robots [48]. Esta expectativa le brinda conocimientos técnicos que lo ayudan a tomar decisiones estratégicas y aseguran que la integración de la tecnología funcione.

La simulación ahorra mucho tiempo y dinero al evitar los altos gastos de realizar ajustes físicos en la instalación o suspender las operaciones. Las empresas pueden comparar varios modelos de robots colaborativos, probar qué tan bien funcionan en diferentes situaciones y elegir el que sea mejor para la productividad y la seguridad verificando casi todas las partes del proceso. Los entornos virtuales permiten a los empleados aprender a operar cobots sin detener el trabajo real, lo que aumenta la confianza y las habilidades técnicas de los operadores [24]. La simulación antes de la implementación se está convirtiendo en una estrategia estándar que reduce los riesgos, aprovecha al máximo las inversiones y acelera el uso exitoso de robots colaborativos en las fábricas.

4.4. INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA EN LA ROBÓTICA

El uso de inteligencia artificial (IA) en robótica ha facilitado mucho la construcción de sistemas industriales complicados. Esto se debe a que brinda a los robots habilidades comparables a la forma en que las personas piensan, ven y toman decisiones. Esta integración ha hecho que las cosas funcionen de manera diferente. Los robots solían ser capaces solo de obedecer instrucciones. Ahora pueden analizar los datos, encontrar patrones y responder a las cosas que suceden sin previo aviso. La IA ha hecho factible que los robots realicen algunas ocupaciones y aprendan de sus errores, lo que les ayuda a mejorar en lo que hacen. Este avance ha marcado una gran diferencia en la forma en que se fabrican e implementan los sistemas automatizados en el sector Moderno [49].

La robótica y la IA son dos ciencias separadas, pero se están acercando entre sí porque ambas son aspectos cruciales de los sistemas de conducción autónoma actuales. La robótica Moderna es el estudio de cómo hacer máquinas que puedan interactuar con su entorno y cómo

controlarlas. Por otro lado, la inteligencia artificial es el estudio de cómo comprender los hechos y tomar decisiones difíciles. Esta compatibilidad permite que los robots evolucionen de ser máquinas simples que siguen órdenes a sistemas que pueden aprender y cambiar para adaptarse a nuevas condiciones [50]. En el ámbito industrial, esta sinergia significa que las operaciones pueden automatizarse con mayor precisión, rapidez y seguridad, y también pueden adaptarse a los cambios en la demanda o las circunstancias laborales.

La robótica inteligente es un gran paso adelante con respecto a las máquinas programadas normales porque utiliza técnicas de aprendizaje automático y profundo que permiten a los robots analizar una gran cantidad de datos y emitir juicios útiles para mejorar su forma de actuar. Los robots pueden usar algoritmos avanzados para pronosticar escenarios, encontrar problemas y sugerir soluciones sin la ayuda de las personas. Esto hace que los procesos industriales sean más independientes y eficientes [51]. Aunque los sistemas inteligentes pueden hacer muchas cosas, aún necesitan ser vigilados por personas para asegurarse de que estén seguros, sigan las reglas y comprendan los datos que están procesando correctamente. Este equilibrio entre permitir que los robots hagan su trabajo y que las personas los controlen es vital para que la tecnología sea segura y ética.

4.4.1. Algoritmos clásicos

Los algoritmos clásicos son los componentes básicos de los sistemas automatizados que han existido durante décadas en robótica. Les dicen a los robots exactamente qué hacer y cuándo hacerlo. Estos métodos no permiten que las máquinas aprendan por sí mismas, pero se aseguran de que las cosas sean increíblemente confiables y se puedan hacer de nuevo. Esto es importante en operaciones industriales donde la consistencia es clave. Su estructura lógica y predecible facilita su uso en múltiples plataformas y garantiza que responda rápidamente a las entradas esperadas. Debido a que es tan inflexible, no puede adaptarse a nuevas situaciones, por lo que los investigadores buscan algoritmos más flexibles. Los más prevalentes son:

4.4.1.1. Algoritmos de fuerza bruta

Son un método muy conocido en robótica e informática que implica analizar a fondo todas las soluciones posibles a un problema para encontrar la mejor. Este enfoque se fundamenta en recorrer sistemáticamente el espacio de soluciones, evaluando cada alternativa sin aplicar criterios de reducción o heurísticas que limiten las combinaciones analizadas. Si bien esta metodología asegura hallar la respuesta más adecuada, su aplicación se torna impráctica en

problemas de gran envergadura, debido a la elevada complejidad computacional y el tiempo de procesamiento que exige [52]. En las fábricas, los algoritmos de fuerza bruta generalmente solo se usan cuando la cantidad de datos es poca y obtener la respuesta correcta es más importante que la rapidez del cálculo.

4.4.1.2. Algoritmos de seguimiento retroactivo

También llamados algoritmos de retroceso, los algoritmos de seguimiento retroactivo se emplean comúnmente en robótica e informática para resolver problemas de búsqueda y optimización al analizar sistemáticamente todas las opciones factibles. Funciona al generar respuestas paso a paso y luego retroceder o descartar enfoques cuando se hace evidente que una solución parcial no funcionará. Esto ayuda a reducir las búsquedas que no es necesario realizar en grandes regiones. Esta estrategia es bastante útil cuando tiene que seguir reglas particulares, como cuando está planificando una ruta o reuniendo elementos que ya tienen regulaciones [53]. Mucho de lo bien que funcionen estos algoritmos depende de cómo exploren y poden. Calcular y utilizar puede llevar mucho tiempo y muchos recursos si el diseño no es excelente.

4.4.2. Algoritmos basados en inteligencia artificial

Los algoritmos basados en inteligencia artificial han transformado drásticamente la forma en que los robots interactúan con el mundo que los rodea. Ahora pueden analizar datos complejos, detectar patrones y tomar decisiones que van más allá de lo que fueron diseñados para hacer. Estas estrategias permiten a los robots aprender a actuar de manera inteligente, adaptarse a cambios inesperados y tomar las mejores decisiones en función de los hechos que recopilan en tiempo real. Estas mejoras han hecho que las operaciones industriales sean más independientes, precisas y eficientes, facilitando el uso de soluciones flexibles y personalizadas en una variedad de áreas productivas. Algunos de los tipos más importantes son:

4.4.2.1. Algoritmos de aprendizaje supervisado

Son uno de los enfoques más frecuentes para emplear IA en robots. Capacitan a los modelos para realizar tareas de clasificación o predicción con un alto nivel de precisión mediante el uso de datos que han sido etiquetados previamente. Este método permite a los robots ver imágenes, encontrar cosas o adivinar números que son importantes para sus tareas. Esto es muy importante en los procesos industriales donde encontrar patrones con precisión es necesario para la calidad y la eficiencia. Mientras se está entrenando, el algoritmo analiza los ejemplos existentes y aprende a conectar las características de entrada a los resultados predichos. Esto le permite

utilizar lo que ha aprendido sobre datos nuevos que nunca antes había visto [54]. Este método funciona mejor en entornos que cambian mucho, donde los sistemas robóticos deben poder adaptarse rápidamente a los cambios en su entorno o en las cosas que están manejando.

4.4.2.2. Algoritmos de aprendizaje no supervisado

Son una especie de IA utilizada en robótica para analizar una gran cantidad de datos sin utilizar etiquetas o clasificaciones previas. Esto le permite ver patrones y estructuras en los datos que no son obvios. Estas estrategias pueden agrupar datos comparables utilizando técnicas de agrupación en clústeres o hacer que los conjuntos de datos complicados sean más fáciles de entender y trabajar en sistemas automatizados al reducir su dimensionalidad. Esta habilidad es muy útil en robótica para separar nuevos entornos para que los robots puedan encontrar ciertas ubicaciones o comportamientos sin necesidad de ayuda de las personas [55]. El aprendizaje no supervisado puede ayudar a que las industrias dinámicas sean más seguras, eficientes y autónomas al encontrar patrones extraños al buscar variaciones de los normales.

4.4.2.3. Redes neuronales artificiales

Un aspecto clave de la robótica porque permiten a los robots evaluar datos visuales de manera rápida y precisa, lo que les permite captar imágenes y descubrir patrones complejos. Basándose en cómo funciona el cerebro humano, estas estructuras permiten que los sistemas robóticos clasifiquen las cosas en tiempo real. Esto es importante para actividades que necesitan que los robots puedan trabajar por su cuenta y adaptarse a nuevas situaciones. En entornos industriales, se ha demostrado su utilidad en manipuladores que pueden encontrar y reconocer piezas de variadas formas y tamaños, asegurándose de que puedan manipularse con precisión y sin ayuda humana [56]. Esta tecnología ayuda a que las líneas de fabricación cada vez más exigentes sean más flexibles y eficientes.

4.4.2.4. Algoritmos de aprendizaje profundo (deep learning)

Estos han cambiado el campo de la robótica al permitir que los robots comprendan grandes cantidades de datos. Esto permite a los robots evaluar información complicada y emitir juicios en situaciones que siempre están cambiando. Estas redes profundas, que están formadas por varias capas de neuronas artificiales, pueden detectar características importantes a partir de información visual, auditiva o sensorial. Esto ayuda a los sistemas robóticos a aprender y percibir mejor su entorno. Su uso simplifica que los robots cambien su forma de actuar en tiempo real, lo que les da más libertad y disminuye la necesidad de que intervengan las personas

[57]. Estos algoritmos facilitan que los robots y las personas trabajen juntos de una manera más natural. Esto hace que los robots sean una parte importante de la Industria 4.0 y de actividades complicadas que necesitan flexibilidad y la capacidad de aprender cosas nuevas todo el tiempo. El uso de estos algoritmos ha llevado a un progreso asombroso, incluido el hecho de que los robots puedan navegar por sí mismos, mover cosas con precisión y trabajar juntos en redes en red.

4.4.3. Algoritmos de trayectorias

4.4.3.1. RRT (árbol de exploración aleatoria rápida)

RRT por sus siglas en inglés (Rapidly-exploring Random Tree) es un algoritmo diseñado para buscar eficientemente espacios de alta dimensionalidad mediante la construcción aleatoria de un árbol, este se expande desde la configuración inicial utilizando muestras aleatorias del espacio de búsqueda, conectándose al nodo más cercano del árbol si el trayecto es factible, de manera que permite cubrir grandes áreas no exploradas con preferencia hacia nuevas regiones, así mismo el algoritmo permite planificar una trayectoria que evita la colisión con obstáculos estáticos[7].

4.4.3.2. A* (A-star)

Es un algoritmo de búsqueda que encuentra la trayectoria más corta entre un estado inicial y uno final, además emplea el coste real desde el inicio hasta el nodo actual como una estimación heurística del coste restante hasta el objetivo asegurando una ruta óptima y eficiente, ampliamente utilizado que se puede adaptar a través de varias extensiones para mejorar el rendimiento, abordando sus desafíos de eficiencia y costos computacionales[8].

4.4.3.3. Dijkstra

Encuentra los caminos más cortos entre nodos en un grafo ponderado y calcula iterativamente la distancia mínima a todos los demás nodos, asegurando que en cada paso se expanda el nodo con menor coste acumulado conocido hasta alcanzar todos los nodos objetivo, es ampliamente usado en problemas de rutas y redes, además etiqueta a los vértices actualizándolas según los pesos de los bordes y seleccionando el vértice con la etiqueta más pequeña de forma iterativa hasta llegar al destino [9].

4.4.3.4. RRT*

Es una mejora del RRT tradicional que busca no solo encontrar una ruta más cercana, sino aproximarse progresivamente a la ruta óptima a medida que aumenta el número de iteraciones. Para ello, reestructura y reconecta nodos del árbol buscando caminos de menor coste y asegurando la optimalidad asintótica del trayecto encontrado, mejora la planificación del movimiento al garantizar que las rutas generadas converjan a la solución óptima a lo largo del tiempo, mejorando la eficiencia en espacios de configuración de alta dimensión[10].

4.4.3.5. Probabilistic Roadmap (PRM)

Construye una red (roadmap) de configuraciones aleatorias libres de colisiones en el espacio de estado. Estas configuraciones se conectan entre si para formar un grafo que una vez creado se utiliza una técnica de búsqueda para hallar una trayectoria desde el inicio al objetivo, es eficaz en espacios de alta dimensionalidad y entornos complejos, son conocidos por sus solidas propiedades teóricas y una mayor eficiencia computacional en comparación con los planificadores probabilísticos tradicionales[11].

4.4.3.6. Interpolación Lineal

Es un método que utiliza polinomios lineales para estimar el valor de una función entre dos puntos conocidos. El valor estimado en un punto intermedio se obtiene mediante una fórmula simple que conecta ambos extremos con una recta, siendo útil en trayectorias simples o para suavizar segmentos discretos, permite realizar ajustes de velocidad de avance adaptativos para mejorar la precisión del mecanizado para trayectorias de micro líneas continuas[12].

4.4.3.7. Bézier

Curva paramétrica definida por un conjunto de puntos de control, siendo influenciada pero no necesariamente pasando por los puntos de control intermedios, ofreciendo suavidad y facilitan el modelado de trayectorias suaves, para diseñar movimientos precisos, además optimizar trayectorias sin colisiones en entornos complejos[13]. En la Tabla 4.6 se presenta varias características importantes para su implementación.

Tabla 4.6 Comparación de algoritmos

Algoritmo	Tipo	Óptimo
RRT	Muestreo single-query	Probabilístico completo, no óptimo
RRT*	Muestreo, optimizado	Completo y óptimo (asintótico)
PRM	Muestreo multi-query	Completo, no óptimo
Dijkstra	Gráfico clásico	Completo, óptimo
A*	Gráfico con heurística	Completo, óptimo con heurística admisible
Interpolación	Conexión geométrica	No usa grafos, simple
Bézier Splines	Curvas paramétricas	Continua y suavizada

4.5. SOFTWARES DE SIMULACIÓN

La simulación de robots es una parte importante de la ingeniería y la fabricación avanzada. Le permite crear, desarrollar y mejorar sistemas robóticos en entornos virtuales antes de trasladarlos al mundo real. Esta tecnología permite a los ingenieros simular cómo se mueven y actúan los robots, adivinar qué puede suceder si chocan con algo o chocan con algo, y probar el rendimiento de trayectorias y algoritmos sin poner en peligro equipos costosos ni poner en riesgo la seguridad de los operadores. Poder recrear situaciones de la vida real en un entorno digital permite a diseñadores y programadores realizar pequeños cambios en los parámetros de diseño y programación, lo que conduce a soluciones más eficientes y personalizadas para cada proceso de fabricación [58].

El software de simulación hace que las industrias sean más seguras al permitirles probar cosas sin poner a las personas en peligro ni dañar la infraestructura. También acelera el desarrollo y reduce los gastos. Algunas de las herramientas más importantes de la empresa incluyen CoppeliaSim, RobotStudio y MATLAB. Facilitan la visualización de trayectorias, la programación de movimientos y la integración de robots en sistemas más complejos. Estos mundos virtuales son particularmente excelentes para educar y capacitar a profesionales, ya que les permiten probar diferentes circunstancias de manera segura [59]. La simulación de robots es ahora un aspecto importante de la moderna automatización, ya que ayuda a promover la innovación y la competencia en sectores cada vez más exigentes.

4.5.1. Tipos de entornos de simulación

4.5.1.1. RoboDK

Es una herramienta muy popular y adaptable para programar y simular robots. Puede funcionar con brazos robóticos de empresas conocidas como ABB, KUKA, FANUC y Yaskawa, por nombrar algunas. Esta herramienta en línea facilita la combinación de dibujos CAD y CAM y la programación de cosas sin conexión. Esto le permite prepararse y mejorar los procedimientos sin detener la producción real. Su interfaz simple le permite ejecutar simulaciones intrincadas sin tener que saber mucho sobre programación, lo que facilita su uso tanto para expertos como para estudiantes. RoboDK se usa comúnmente en la industria para tareas como soldar, ensamblar, cortar y mover componentes para enseñar a los estudiantes sobre robótica, programación y automatización [60].

4.5.1.2. CoppeliaSim (antes V-REP)

Es un programa de simulación robótica conocido por ser flexible y capaz de usarse en muchos entornos diferentes, tanto en los negocios como en la escuela. Este mundo virtual tiene una gran colección de modelos y piezas de robots que los usuarios pueden usar para hacer simulaciones muy completas y realistas de sistemas y procesos automatizados. Una de las mejores cosas de esto es que puedes escribir scripts en el lenguaje lua para cambiar su funcionamiento. Esto facilita el cambio de algoritmos de control y la creación de nuevos comportamientos. Puede operar con plataformas como ROS, MATLAB y otros sistemas de control, lo que facilita su uso en aplicaciones complicadas. CoppeliaSim es el mejor para crear, probar y verificar algoritmos para planificar trayectorias, controlar el movimiento y hacer prototipos de robots [61].

4.5.1.3. Gazebo

En los campos de la investigación y el desarrollo de robótica, Gazebo es un simulador de código abierto muy conocido. Es bien reconocido por su enlace integrado al sistema operativo robótico ROS, que facilita el desarrollo de aplicaciones complejas y la realización de experimentos avanzados. Este programa es único porque puede realizar simulaciones físicas de alta precisión que explican con gran detalle cómo interactúan los robots con su entorno, por ejemplo, cómo se mueven los cuerpos rígidos, cómo funciona la fricción y cómo ocurren las colisiones. Es una gran herramienta para probar algoritmos de navegación, percepción y control, ya que puede manejar escenarios intrincados con diferentes robots y contiene muchos modelos, sensores y entornos virtuales [62].

4.5.1.4. Tecnomatix (Siemens)

Se trata de una herramienta de última generación para desarrollar, modelar y probar celdas de trabajo y procesos de fabricación automatizados. Una de las cosas más fascinantes de él es que puede construir gemelos digitales que muestran con precisión cómo funcionan las cosas y cómo se comporta la gente en el mundo real. Puede utilizar esta herramienta para hacer que las rutas de los robots sean lo más eficientes posible y verificar que todos los procedimientos estén funcionando antes de ponerlos en uso. Esto ayuda a ahorrar gastos, acelerar el proceso de puesta en marcha y reducir el riesgo de cometer errores durante la producción. Puede adoptar un enfoque multidisciplinario ya que trabaja tanto en el dominio mecánico como en el eléctrico. Esto le permite ver todo, desde cómo se fabrican las piezas mecánicas hasta cómo funcionan juntos los sistemas eléctricos y de control [63].

4.5.1.5. Roboguide (FANUC)

Este es un software que solo funciona con robots FANUC. Le permite programar y simular estos robots con una precisión y realismo asombrosos. Este entorno virtual facilita la detección temprana de accidentes de riesgo y acelera los tiempos de ciclo, lo cual es vital para mantener los procesos de fabricación seguros y efectivos. Puede hacer celdas de trabajo virtuales con su interfaz gráfica simple, donde puede conectar más equipos, sistemas de visión y piezas de automatización. Puede probar a fondo líneas de fabricación complejas antes de que se creen en la vida real usando esto, ahora es imprescindible tanto para los ingenieros de procesos como para los integradores de sistemas, ya que les brinda una buena manera de probar y cambiar la programación de robots FANUC. Esto reduce en gran medida los gastos y peligros de las pruebas en la planta [64]. Los ingenieros y programadores pueden usar estos programas para probar, corregir y mejorar los programas de robots sin detener la producción ni correr riesgos, en la Tabla 4.7 se presenta varios componentes principales, haciendo que el cambio a la automatización avanzada sea más seguro y eficiente.

Tabla 4.7 Componentes principales

Software	Compatibilidad/ Enfoque	Características clave	Aplicaciones Típicas
RoboDK	Compatible con ABB, KUKA, FANUC, Yaskawa y otros	<ul style="list-style-type: none"> • Simulación y programación offline • Integración CAD/CAM • Interfaz intuitiva • No requiere conocimientos avanzados de programación 	Soldadura, ensamblaje, corte, pick and place, docencia en robótica
CoppeliaSim	Flexible y multiplataforma (ROS, MATLAB)	<ul style="list-style-type: none"> • Gran biblioteca de modelos • Scripting en Lua • Simulación realista de sistemas • Alta capacidad de personalización 	Planificación de trayectorias, control de movimientos, prototipado robótico
Gazebo	Código abierto, integrado con ROS	<ul style="list-style-type: none"> • Física de alta precisión • Amplia variedad de sensores y entornos • Simulación de interacción robot-entorno 	Flexible
Tecnomatix	Enfoque industrial (gemelos digitales)	<ul style="list-style-type: none"> • Modelado de celdas de trabajo • Optimización de rutas robóticas • Validación de procesos multidisciplinarios 	Optimización de procesos, verificación previa a producción diseño industrial
Roboguide	Exclusivo para robots FANUC	<ul style="list-style-type: none"> • Programación y simulación de alta precisión • Interfaz gráfica intuitiva • Simulación de celdas completas 	Ingeniería de procesos integración de sistema pruebas de líneas FANUC

4.6. LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN

Un lenguaje de programación es un sistema formal compuesto por un conjunto de símbolos organizados, palabras clave y reglas gramaticales que permiten que las personas y las máquinas se comuniquen entre sí de una manera clara. Este lenguaje permite a los desarrolladores escribir algoritmos, explicar cómo funcionan las cosas y proporcionar las reglas que debe seguir un sistema informático para realizar determinadas tareas. La función principal de esto es tomar las ideas ambiguas de las personas y transformarlas en instrucciones claras y paso a paso que la computadora pueda comprender y seguir [65]. Esta parte es particularmente crucial para la robótica, ya que le permite controlar los movimientos, planificar rutas y regular cómo interactúa el robot con su entorno.

Los lenguajes de programación son vitales para crear aplicaciones que mejoren los procesos industriales, ayuden con la simulación virtual y faciliten la vinculación de sistemas complejos. Dependiendo de sus características, los lenguajes de bajo nivel pueden acercarlo al hardware,

mientras que los lenguajes de alto nivel pueden proporcionarle estructuras más abstractas y amigables para el programador. Debido a esta flexibilidad, existen muchos lenguajes distintos, cada uno desarrollado para una necesidad o industria específica [66]. Los profesionales que quieran construir, desarrollar y programar robots deben poder hablar estos lenguajes con fluidez. Esto se debe a que necesitan asegurarse de que las máquinas comprendan correctamente las instrucciones humanas y realicen los trabajos de forma rápida y segura.

4.6.1. Tipos

4.6.1.1. Lenguajes de bajo nivel

Los lenguajes de bajo nivel están diseñados para trabajar en estrecha colaboración con el hardware de un sistema determinado para que puedan aprovechar al máximo las características físicas y eléctricas del dispositivo. Son conocidos por dar comandos directos que funcionan con registros, memoria y partes del procesador, lo que los hace funcionar de manera muy rápida y eficiente. Este tipo de lenguaje comprende tanto el lenguaje de máquina, que se compone de códigos binarios que solo las computadoras pueden comprender, como el lenguaje ensamblador, que utiliza mnemónicos que son más fáciles de comprender para los programadores. En el ámbito de la robótica industrial, es fundamental programar microcontroladores o controladores particulares que necesiten ser muy precisos y tener tiempos de reacción muy cortos [67].

Uno de los mayores problemas con los lenguajes de bajo nivel es que no funcionan bien en múltiples sistemas o plataformas, ya que están diseñados para una determinada pieza de hardware. Esto significa que cambiar el diseño del hardware significa tener que reprogramarlo esencialmente por completo, lo que cuesta más tiempo y dinero de construir. Aun así, siguen siendo necesarios en situaciones en las que se necesita un control completo sobre el funcionamiento de los dispositivos, incluso cuando se programan robots industriales que necesitan realizar trabajos importantes con un alto nivel de confiabilidad [68]. La gente piensa cada vez más en los lenguajes de bajo nivel como herramientas estratégicas para situaciones que requieren la mayor eficiencia y el uso completo de los recursos de hardware.

4.6.1.2. Lenguajes de alto nivel

Los lenguajes de alto nivel son diferentes de otros tipos de lenguajes, ya que son ubicuos y pueden ocultar ciertas partes del hardware. Esto implica que no tiene que preocuparse por la arquitectura física cuando los utiliza en muchos tipos diferentes de sistemas. Estas herramientas

contienen patrones sintácticos que se parecen más a los del lenguaje humano. Esto hace que sea más fácil leer, crear y mantenerse al día con programas difíciles. Algunos de los lenguajes de programación más comunes para robots incluyen Python, C++ y Java. Se utilizan para crear algoritmos de control, planificar rutas y analizar datos para asegurarse de que los programas funcionen correctamente en entornos variados. Puede usarse para crear aplicaciones que puedan desarrollarse y adaptarse, lo cual es vital para proyectos que necesitan vincular múltiples sistemas y recibir actualizaciones todo el tiempo [69].

Tabla 4.8 Tipos de lenguajes de alto nivel

Lenguaje	Año de creación	Propósito Principal	Características	Usos
C++	1980	Integrar programación estructurada con orientación a objetos	Sintaxis eficiente, Control sobre recursos de hardware	Aplicaciones Industriales, Software de alto rendimiento
Java	1990	Portabilidad y robustez en aplicaciones empresariales	Ejecutable en distintas plataformas por JVM, seguro y estable	Aplicaciones empresariales web, móviles y sistemas multiplataforma
Perl	1987	Procesamiento y obtención de datos	Flexible	Bioinformática, administración de sistemas procesamiento de datos masivos
PHP	1995	Desarrollo de web dinámico	Adaptable en interfaces gráficas (Qt, GTK+)	Sistemas de gestión de contenido
Python	1990	Facilitar la programación, versátil y de propósito general	Sintaxis legible y simple, proyecto de código abierto amplia variedad de librerías	Automatización, inteligencia Artificial, aplicaciones científicas y académicas desarrollo web

4.7. MODELADO DEL ROBOT EN COPPELIASIM

Modelar el robot en CoppeliaSim es un paso para descubrir cómo mejorar el rendimiento del sistema robótico en las tareas de recogida y colocación. Elegimos CoppeliaSim porque puede imitar con precisión trayectorias, velocidades y dinámicas operativas. Esto nos permite ver qué tan bien funcionan los robots colaborativos como el UR5 en situaciones simuladas antes de ponerlos en uso en la fábrica. Esta herramienta es gratuita y tiene muchos componentes en sus bibliotecas. También funciona con lenguajes de programación como Python, que es necesario para automatizar las operaciones de simulación y crear algoritmos basados en IA. Con estos

beneficios, es factible verificar y cambiar los parámetros del movimiento robótico para asegurarse de que los datos recopilados sean precisos y puedan usarse como entrada para simulaciones más grandes en plataformas como FlexSim [73].

Tabla 4.9 Modelado del Robot en CoppeliaSim

Aspecto	Descripción
Software utilizado	CoppeliaSim, plataforma de simulación gratuita para modelar y programar sistemas robóticos y automatizados.
Robot simulado	UR5, robot colaborativo configurado con grados de libertad completos para simular tareas pick and place.
Herramienta de agarre (gripper)	Garra mecánica diseñada para tomar objetos desde la bandeja con facilidad y precisión.
Punto de recolección (pick)	Localización específica definida como dummy en CoppeliaSim, que representa el lugar exacto donde el robot recoge el objeto.
Punto de colocación (place)	Posición determinada en el espacio virtual donde el robot deja el objeto tras el transporte.
Objeto manipulado	Elemento básico creado en CoppeliaSim con propiedades que permiten su interacción con el robot colaborativo.
Programación y control	Desarrollo de scripts en Python conectados a la API remota de CoppeliaSim, para definir trayectorias, puntos de paso e interpolaciones cinemáticas.
Propósito de la simulación	Simular el movimiento del robot de forma fluida y precisa para replicar y optimizar la tarea que realiza el operario en el puesto de trabajo real, evitando trayectorias anómalas.
Integración con otros softwares	Resultados de CoppeliaSim se utilizarán como datos de entrada en FlexSim, para analizar la eficiencia operativa del robot en el contexto de la planta productiva.

4.7.1. Control de la Simulación con Python

Python es una parte clave del enfoque utilizado para controlar y simular el robot UR5 en CoppeliaSim. Es conocido por ser flexible y por poder conectarse a la API remota del simulador. Este enlace permite que los programas externos de Python se comuniquen directamente con los procesos internos de CoppeliaSim. Esto facilita la ejecución de muchas pruebas y la realización de modificaciones a lo largo de la simulación. Puede cambiar muchas cosas sobre el entorno virtual, como la ubicación, orientación y articulaciones del robot. Esto es importante para hacer movimientos lo más suaves y precisos posible. Permite crear secuencias complicadas que incorporan actividades como recoger y dejar cosas, lo que ayuda a mejorar los métodos de recoger y colocar que se estudian [75].

Puede acceder a datos en tiempo real desde la simulación en Python, lo que le permite realizar mediciones precisas que puede enviar a plataformas como FlexSim más adelante. Esto asegura que los modelos que se están analizando sean realistas y consistentes. Este lenguaje no solo se usa ampliamente en robótica y simulación, sino que también tiene una sintaxis simple y muchas bibliotecas que facilitan el análisis de datos y la combinación de algoritmos de IA [76]. Puede usar Python para controlar y mejorar el comportamiento del UR5 en un mundo virtual. Puede crear scripts, automatizar procesos y analizar datos. Esto asegura que los resultados sean correctos y puedan usarse en entornos comerciales del mundo real.

4.7.2. Métricas y Datos de CoppeliaSim

El propósito clave para ejecutar el mismo escenario en CoppeliaSim es recopilar datos precisos de rendimiento. Estos son necesarios para brindar información precisa al modelo FlexSim y asegurarse de que funcione bien. Esta integración hace factible conectar los resultados de la simulación virtual directamente con lo que está sucediendo en el mundo real. Esto asegura que el análisis revele cuán eficiente y flexible es el proceso. Uno de los parámetros más significativos es el tiempo de ciclo. Cuenta cuánto tiempo tarda el robot en recoger un objeto y llevarlo a su destino. Esto ayuda a determinar cuánto trabajo se puede hacer y mejora el proceso. Los contadores integrados en CoppeliaSim nos proporcionan esta información. Los scripts de Python se utilizan para almacenar y manejar los datos, lo que garantiza que sean precisos y puedan rastrearse [77].

La trayectoria y la velocidad del robot durante las diferentes etapas del movimiento también son métricas fundamentales clave. Las coordenadas que se registran durante el procedimiento permiten la identificación de sitios de control clave. Después de eso, puede cambiar estos lugares para que los movimientos sean más suaves y eficientes. Esto ahorra tiempo y evita que se produzcan bloqueos. Por otro lado, se necesita un análisis de velocidad para obtener características realistas que formarán parte del modelo FlexSim. Esto asegura que la simulación virtual coincida con el comportamiento físico predicho [78]. Python es muy flexible y tiene muchas bibliotecas, por lo que es posible automatizar la recopilación y el procesamiento de todos estos datos. Esto facilita el trabajo con grandes cantidades de información y facilita su inclusión en estudios más amplios de simulación y optimización de procesos industriales.

4.7.3. Integración y validación con FlexSim

El vínculo entre CoppeliaSim y FlexSim garantiza que los modelos de simulación representen cómo funciona un entorno de fabricación de la vida real. Esto se debe a que permite que un modelo de eventos discretos obtenga datos exactos de simulaciones complicadas. Esta transferencia garantiza que FlexSim siempre utilice los mismos parámetros, como la duración de los ciclos y las rutas, que se registraron en CoppeliaSim y se procesaron con Python. Esto mantiene lógica la forma en que funcionan los robots. Además, el uso de datos reales hace que el modelo sea más adecuado para el funcionamiento de la estación robótica, ilustrando qué tan bien funciona el robot colaborativo y cómo interactúa con otras secciones [79]. Este enfoque hace que los resultados sean más confiables, lo que significa que las evaluaciones utilizadas para emitir juicios en el sector son más precisas y sólidas. Puede obtener una visión completa de cómo funciona el sistema, incluidas cosas como las necesidades de espacio y la dinámica de flujo, al colocar los datos de CoppeliaSim junto con FlexSim. Comparar medidas como el rendimiento y el uso de recursos en los dos contextos facilita la validación cruzada. Esto asegura que el modelo en FlexSim sea una buena representación de cómo funcionan las cosas en el mundo real. Además, el hecho de que los datos sean tan precisos, gracias a los algoritmos de IA, facilita la detección de cuellos de botella o ineficiencias que podrían ralentizar el proceso. Esto le permite ver algunas estrategias diferentes para mejorar en FlexSim al estimar cómo las modificaciones podrían afectar la producción o logística del sistema [80].

4.7.4. Modelado en FlexSim

El modelado FlexSim es un aspecto importante del análisis de sistemas de producción porque le permite modelar procesos complejos utilizando un enfoque basado en eventos discretos. Esto le permite demostrar con precisión cómo se mueven los suministros, los recursos y las horas operativas. Puede usar este programa para crear modelos virtuales de líneas de producción para que pueda ver qué tan bien funcionan antes de que realmente lo hagan y descubrir cualquier falla que pueda ralentizar toda la operación. FlexSim facilita la creación de modelos realistas ya que tiene una interfaz gráfica y puede conectarse a datos de fuentes externas. Esto le permite adaptar cada parte del sistema para que coincida con las características reales de la planta. Los ingenieros pueden probar muchas situaciones diferentes con él, mejorar los procedimientos antes de ponerlos en práctica y reducir los riesgos de tomar decisiones en la industria [81].

El uso de FlexSim en este estudio es importante porque confirma la información que obtuvimos de CoppeliaSim y garantiza que las simulaciones cinemáticas y el análisis del flujo productivo

sean consistentes. Agregar mediciones como duraciones de ciclo, trayectorias y velocidades facilita ver cómo se mueven los robots colaborativos en la línea de fabricación virtual. Para establecer comparaciones justas entre diferentes circunstancias operativas, el software debe poder crear métricas de rendimiento como el rendimiento y el consumo de recursos [82]. Esta metodología permite identificar áreas de mejora y evaluar el impacto de cambios en la configuración del sistema, garantizando que las decisiones estén fundamentadas en datos sólidos y contribuyan a la eficiencia global del proceso industrial.

5. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

5.1. MODALIDAD O ENFOQUE DE LA PROPUESTA

El estudio actual utiliza un método cuantitativo y experimental para analizar los efectos de agregar un robot colaborativo UR5 al lugar de trabajo de la industria avícola, especialmente en el área de empaque. El estudio analiza criterios objetivos como la duración de los ciclos, los niveles de ocupación del operador y la productividad por hora utilizando técnicas modernas de modelado. La modalidad es experimental simulada, dado que se desarrollan escenarios virtuales en entornos digitales como CoppeliaSim y FlexSim, donde se modelan tanto el proceso manual actual como el proceso automatizado, replicando las condiciones reales de la planta y permitiendo la comparación de indicadores clave para fundamentar decisiones de automatización industrial [83].

5.2. TIPOS DE INVESTIGACIÓN

El tipo de estudio es aplicado, descriptivo, explicativo y de simulación por computadora. Se utiliza porque intenta encontrar soluciones útiles colocando un robot colaborativo UR5 en un lugar de trabajo de la industria avícola para hacer que la producción sea más eficiente. Es descriptivo porque profundiza en los procesos en estudio y automatizados actuales, haciendo un seguimiento de los tiempos de ciclo, los niveles de ocupación del operador y otros indicadores operativos.

Es explicativo porque analiza y contrasta cómo la adición del cobot afecta el rendimiento general del proceso, encontrando las razones y consecuencias sobre la productividad. Se clasifica además como investigación de simulación, ya que todas las pruebas y análisis se ejecutan en entornos virtuales, utilizando herramientas como CoppeliaSim para modelar trayectorias robóticas y FlexSim para evaluar el comportamiento integral del sistema

productivo, lo que permite recrear escenarios de manera segura y controlada antes de su implementación física [84, 85].

5.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La estructura de este estudio es de naturaleza experimental en entornos simulados, orientada a evaluar el impacto operativo de integrar un robot colaborativo UR5 en un puesto de trabajo específico dentro de la industria avícola, dedicado al proceso de empaque [32]. Para tal fin, se utilizarán dos herramientas de simulación complementarias: CoppeliaSim, donde se construirá una escena virtual detallada que replica las tareas de pick and place realizadas actualmente de forma manual, y FlexSim, que permitirá analizar el flujo del proceso productivo, integrando los datos obtenidos de la simulación robótica. Durante las simulaciones, se recogerán datos cuantitativos tales como tiempos de ciclo, velocidades de desplazamiento del robot, trayectorias ejecutadas, número de unidades procesadas por hora y niveles de ocupación del operario.

Compararemos estas indicaciones entre los escenarios manuales y automatizados para ver si la productividad ha aumentado, la carga física ha disminuido y los procedimientos se han vuelto más regulares. El uso de entornos virtuales tiene la ventaja de reducir los gastos y peligros de realizar pruebas reales en la planta. También le permite tener un control estricto sobre las variables en la simulación. Esta estrategia hace que los datos sean más confiables, facilita la repetición de estudios y brinda a los inversionistas una base científica sólida para emitir juicios sobre la inversión en automatización en la empresa.

5.4. INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

En este estudio, se utilizarán herramientas incluidas dentro de los entornos de simulación CoppeliaSim y FlexSim para recopilar datos. La programación en Python también se utilizará para automatizar la recopilación y el procesamiento de datos cuantitativos necesarios para analizar las situaciones examinadas. Las herramientas y métodos son:

- **Simulador CoppeliaSim (versión educativa o Pro):** se utiliza para modelar y replicar con precisión cómo se comporta el robot colaborativo UR5 al recoger y colocar objetos. Este entorno posibilita replicar las condiciones reales del puesto de trabajo, registrando parámetros cinemáticos y temporales del proceso [86].
- **API remoto de CoppeliaSim con Python:** mediante el desarrollo de scripts personalizados, se controlarán los movimientos del UR5, se configurarán trayectorias y se capturarán datos en tiempo real, incluyendo [79]:

- Tiempo de ciclo por unidad procesada
- Velocidades articulares y lineales del robot
- Trayectorias ejecutadas y puntos de control
- Registros de posiciones y orientaciones del efector final

FlexSim: plataforma que permitirá simular el flujo del área del proceso productivo en estudio en la planta avícola, integrando los datos obtenidos de CoppeliaSim para analizar indicadores globales como:

- Tiempo total de proceso en cada escenario
- Utilización de recursos (robot y operarios)
- Tiempos de espera y posibles cuellos de botella
- Producción en cada escenario comparado

La recolección se realizará en un método organizado, con múltiples simulaciones bajo configuraciones controladas para garantizar que los datos sean confiables y permitir comparaciones sólidas entre el escenario manual y el del robot colaborativo. Este método asegurará que los datos sean precisos y nos permitirá ver objetivamente los beneficios operativos y ergonómicos de la automatización planificada.

5.5. DISEÑO DEL SISTEMA

Para este proyecto, se ha configurado una arquitectura de sistema que comprende crear un entorno virtual en FlexSim que represente el área de empaque de una planta de pollos. Hay un robot colaborativo UR5 en este entorno que puede realizar tareas de coger y colocar que los humanos realizan a mano en este momento. El robot tiene una pinza en forma de garra que puede recoger pollos procesados y moverlos de un lugar a otro para empacarlos. Se ha creado una escena en el mundo virtual para ayudar a identificar dónde comienza y termina cada área. Esto facilita el control del modelado de la trayectoria y brinda información precisa sobre las fases y movimientos del ciclo.

La arquitectura presenta una conexión directa entre CoppeliaSim y Python utilizando la API remota. Esto le permite operar el robot, ejecutar pruebas por sí mismo y recopilar datos útiles para su posterior estudio. Los scripts de Python se crearon con un enfoque modular de modo que la lógica, el movimiento, la generación de rutas eficientes utilizando algoritmos de inteligencia artificial y la recopilación de datos útiles como ubicaciones, velocidades y duraciones de ciclo estén separados. Después de eso, todos los datos se envían al entorno

FlexSim, donde se crea un modelo de simulación de eventos discretos para ayudar a descubrir cómo afectaría agregar el robot colaborativo al proceso de producción global. Este diseño garantiza que las pruebas se realicen en un espacio virtual seguro y repetible. Esto garantiza que los datos sean correctos y le permite comparar situaciones humanas y automatizadas sin sesgos.

5.6. DESCRIPCIÓN DEL PUESTO DE TRABAJO

El área de empaque de un matadero de aves de corral es donde se llevó a cabo el trabajo que analizó esta investigación. Esto se debe a que es el último paso en el procesamiento de pollos. El operario se encarga de recoger los pollos de una línea transportadora en esta zona. Esto inicia una secuencia de operaciones que necesitan un manejo directo y frecuente del producto. Esta sección es muy importante para mantener el flujo productivo y garantizar que la calidad del producto que se transferirá a la distribución se mantenga alta. Es una etapa en la que confluyen los requisitos sanitarios y operativos.

Algunas de las tareas que componen este trabajo incluyen sacar el pollo de la bandeja, pasarlo por un cono o embudo que lo ayude a avanzar, colocarlo en una funda de plástico y luego colocarlo en otra bandeja. Después de eso, el operador cierra la manga y mueve el artículo a la cinta transportadora de clasificación. Aunque estas tareas parecen fáciles, deben realizarse con precisión, rapidez y coordinación, ya que se realizan una y otra vez y en situaciones que requieren atención continua para evitar errores en el proceso de empaque.

Este trabajo fue elegido para ser estudiado porque es muy repetitivo y se realiza completamente a mano, lo que lo hace bastante exigente físicamente, especialmente en días largos. Incluso si la carga operativa no parece demasiado alta al principio, las largas horas de trabajo de pie, las posturas forzadas y los movimientos repetidos pueden ser perjudiciales para la salud de los operadores al empeorar los problemas ergonómicos. El ritmo de trabajo también depende mucho de la habilidad y rapidez de cada trabajador, lo que cambia los tiempos de ciclo y la consistencia del proceso productivo.

Los aspectos técnicos más importantes del poste son el manejo y colocación de pollitos. Este es el trabajo principal y requiere la plena participación de las personas en todas las fases de la operación. Se tarda aproximadamente 2,30 segundos en promedio en finalizar un ciclo de trabajo para cada unidad, lo que le permite procesar aproximadamente 20 pollos por minuto. No obstante, se han identificado riesgos significativos, tales como alta repetitividad, estrés articular en miembros superiores y fatiga acumulada a lo largo de la jornada laboral, factores

que justifican plenamente la propuesta de analizar la integración de un robot colaborativo en este contexto.

5.7. IMPLEMENTACIÓN

La parte de implementación del proyecto actual implica el desarrollo completo del sistema sugerido, comenzando con la configuración del escenario virtual en el entorno CoppeliaSim. En este punto, se recrea la estación de trabajo de empaque en la planta avícola. Incluye el robot colaborativo UR5, los objetos tridimensionales que sustituyen a los pollos y los elementos virtuales llamados maniqués que le permiten especificar exactamente dónde recoger y colocar las cosas durante el ciclo de trabajo. Esta construcción virtual se diseña para reflejar de manera fidedigna las condiciones físicas y espaciales del proceso real, permitiendo replicar las trayectorias y los movimientos que se producen durante las tareas de pick and place.

De forma paralela, se desarrolla la programación necesaria en el lenguaje Python, implementando scripts específicos que establecen la conexión entre el software CoppeliaSim y los algoritmos encargados de generar las trayectorias del robot. Estos scripts hacen más que solo cargar y ejecutar las rutas predichas del UR5. También rigen cada parte del movimiento del robot, desde mover la pinza hasta asegurarse de que las ubicaciones y velocidades estén sincronizadas en todas las fases del ciclo. Este diseño de programación modular asegura que el robot pueda ajustar su comportamiento y mejorarlo a medida que cambie el entorno o la tarea.

El sistema combina muchos algoritmos de planificación de trayectorias, como A* (Una estrella), RRT (Árbol aleatorio de exploración rápida), Dijkstra, RRT* y Greedy Best-First Search. Estos fueron elegidos porque pueden encontrar caminos eficientes en paisajes tridimensionales con obstáculos. Para finalizar la fase de implementación, se escribe un módulo de registro automatizado que puede registrar adecuadamente los indicadores clave de rendimiento (KPI) durante cada ejecución de simulación. Este registro constituye la base para el análisis comparativo entre el proceso manual y el automatizado, y para la validación de la eficiencia de cada algoritmo aplicado en la operación de pick and place.

5.8. VERIFICACIÓN

Se busca asegurar que el sistema desarrollado cumple rigurosamente con el diseño y las especificaciones definidas en etapas anteriores. Se lleva a cabo una revisión funcional en la que se valida que el robot UR5 sea capaz de ejecutar correctamente el ciclo completo de recolección y colocación para cada uno de los algoritmos implementados, garantizando que las trayectorias

programadas se realicen sin interrupciones ni movimientos bruscos. Además, se verifica la solidez de la conexión entre Python y el entorno CoppeliaSim para garantizar que la comunicación esté siempre activada y que los scripts creados se ejecuten sin errores ni interrupciones que puedan afectar la precisión de la simulación.

Luego verificamos minuciosamente los datos que se generaron durante las simulaciones para asegurarnos de que parámetros como los tiempos de ciclo, las distancias recorridas y los posibles errores de trayectoria sean correctos y estén bien organizados en las hojas de resultados. Esto asegura que los datos sean confiables para un análisis posterior. Para que esta etapa sea más confiable, cada algoritmo se ejecuta varias veces con configuraciones de simulación idénticas para asegurarse de que los resultados sean consistentes y descartar cualquier diferencia que pueda deberse al azar o problemas de configuración. Este procedimiento asegura que el sistema que se implementó sea sólido, se pueda copiar y sea lo suficientemente confiable como para usarlo como base para comparar el proceso humano con el plan de automatización.

5.9. PRUEBAS Y ANÁLISIS

En esta fase se procede a la ejecución formal de los escenarios diseñados para la obtención de datos, mediante la realización de pruebas experimentales controladas en las que cada algoritmo implementado es sometido a diez corridas bajo las mismas condiciones iniciales y configuración del entorno virtual, garantizando así la comparabilidad de los resultados. Durante estas ejecuciones, se lleva a cabo la recolección sistemática de indicadores clave de desempeño, entre los cuales se incluyen el tiempo total empleado en la trayectoria, la distancia recorrida por el efector final del robot UR5 y el porcentaje de éxito en la finalización de las tareas de pick and place. En estos números se basa el análisis cuantitativo. Nos ayudará a determinar qué tan bien y qué tan rápido funciona la idea de automatización en comparación con el procedimiento manual que ahora se emplea en la planta de pollos.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1. PRIMER OBJETIVO ESPECÍFICO

6.1.1. Caracterización de la robótica colaborativa

En la Figura 6.1 se presenta un esquema de la caracterización de la robótica colaborativa

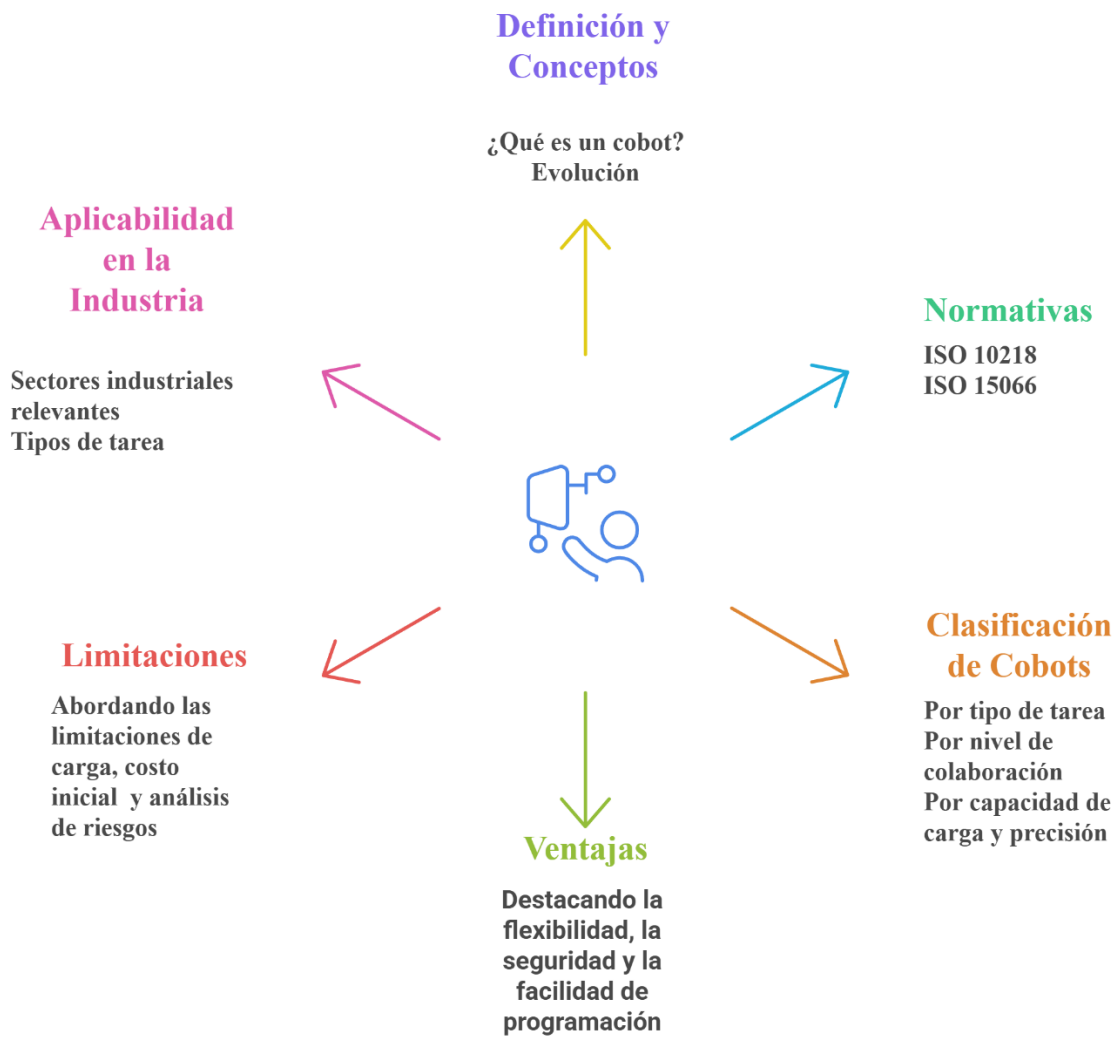


Figura 6.1 Robótica colaborativa¹

¹ Esquema realizado con ayuda de napkin.ia

6.2. SEGUNDO OBJETIVO ESPECÍFICO

6.2.1. Visita de campo y descripción de la empresa

6.2.1.1. Diagnóstico de la situación actual de la empresa

6.2.1.1.1. Descripción de la empresa INCUBANDINA S.A.

Es una empresa ecuatoriana que se hallan insertos en el esfuerzo avícola, siendo en origen su razón de ser la producción de pollitas bebés para posturas y pollitos bebés para línea de carne, fue creada en el cantón Ambato el 6 de julio de 1992 por avicultores de Tungurahua que se unieron con el objetivo de producir pollitas bebés para los mismos socios, para esto consiguieron la distribución de línea genética Lohmann que esta entre las más importantes del mundo, años más tarde se crea la planta faenadora de pollo en la parroquia Lasso de modo que pone en consideración la comercialización de pollos enteros, despresados y menudencia bajo la marca Cripollo.



Figura 6.2. Isologo INCUBANDINA S.A.

Visión

Es una empresa que busca posicionarse como una empresa líder a nivel nacional e internacional

Misión

Satisfacer a los clientes con un producto de calidad a través de la eficiencia y el compromiso.

Actividad económica

La empresa ofrece productos como:

- Pollos enteros
- En presas
- Mollejas, hígados
- Patas y cuellos.

6.2.1.1.2. Organigrama de la empresa

El organigrama muestra gráficamente la estructura de la empresa, por consiguiente, se muestra la relación y jerarquías entre los diferentes departamentos y roles dentro de la misma, puede variar según el tamaño y complejidad de la empresa, pero su objetivo es dar claridad sobre cómo se organiza el trabajo y quien es el responsable como se observa en la Figura 6.3

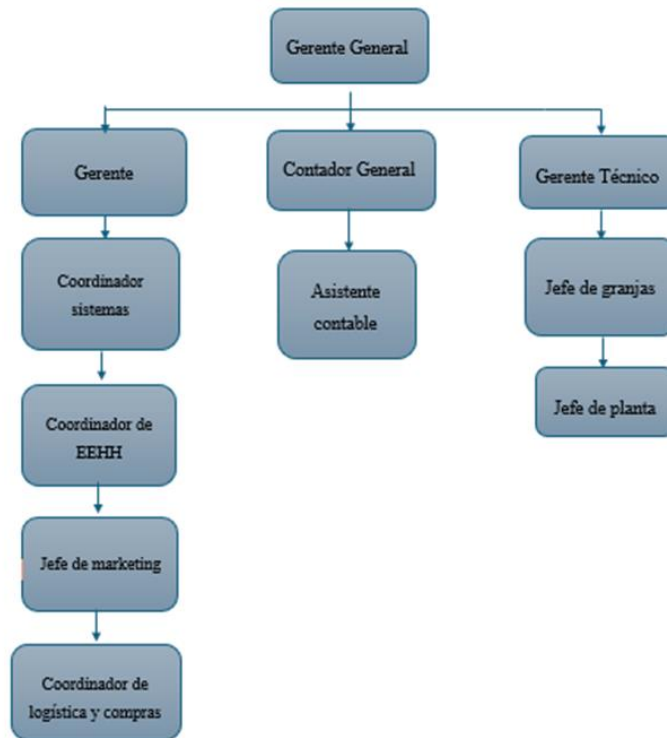


Figura 6.3 Organigrama INCUBANDINA S.A.

6.2.1.2. Layout de la empresa

En la Figura 6.4. se evidencia la distribución de áreas de trabajo de la planta faenadora el diseño muestra cómo se organiza el espacio donde se lleva a cabo las operaciones de producción de manera efectiva, así como los espacios para el almacenamiento del producto terminado

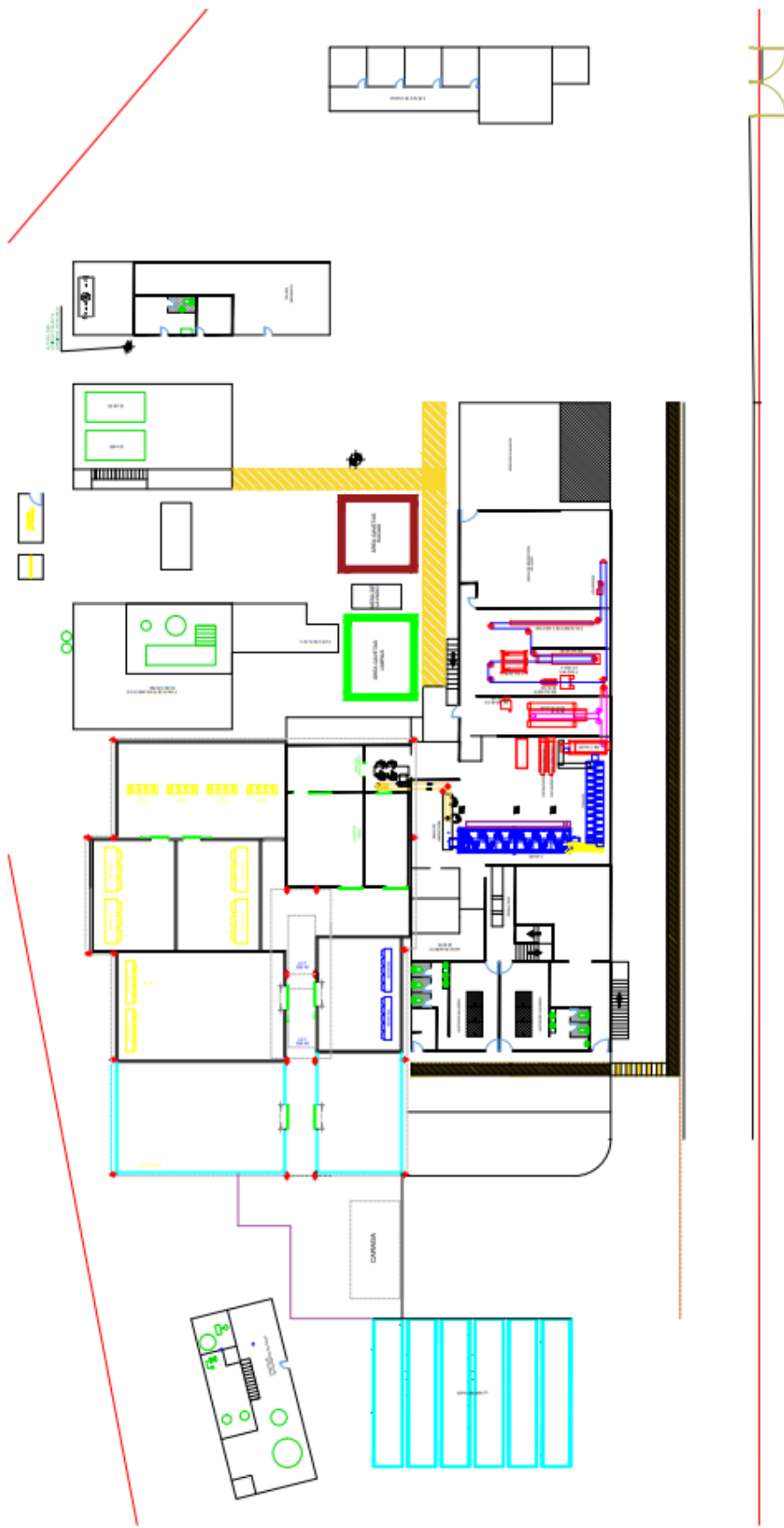


Figura 6.4. Layout INCUBANDINA S.A.

6.2.1.3. Levantamiento de la información de la empresa

Procesos estratégicos

En la Tabla 6.1. se presenta los procesos y subprocesos estratégicos de la empresa, direccionados a establecer metas y objetivos a largo plazo, además desarrollar estrategias para alcanzarlos.

Tabla 6.1 Proceso estratégicos

Procesos estratégicos (PE)		
CODIFICACIÓN	PROCESO	ACTIVIDADES
PE-01	Gerencia	<ul style="list-style-type: none">• Planificación y dirección estratégica• Supervisión y control de gestión
PE-02	Contabilidad y Finanzas	<ul style="list-style-type: none">• Contabilidad general y de costos• Análisis financiero y presupuestario• Gestión de cobranzas y pagos
PE-03	Gestión de Calidad	<ul style="list-style-type: none">• Control de calidad de materia prima• Control de calidad de producto terminado• Mejora continua de procesos• Auditorías internas de calidad
PE-04	Planificación estratégica	<ul style="list-style-type: none">• Gestión de indicadores de desempeño• Planificación de inversiones• Análisis del entorno y mercado

En la Tabla 6.2. se presentan los procesos operativos que son la columna vertebral de la empresa, ya que dan valor a la empresa y son los responsables de generar el valor esencial que esta ofrece a sus clientes y partes interesadas, es donde se lleva a cabo las actividades para obtener el producto con la más alta calidad exigidos por el mercado. Estos procesos incluyen desde la recepción y almacenamiento del producto terminado. Su adecuada gestión permite no solo garantizar la conformidad del producto, sino también optimizar recursos, reducir desperdicios, mejorar la eficiencia operativa y mantener la competitividad de la empresa.

Tabla 6.2. Procesos operativos

Procesos Operativos (PO)		
CODIFICACIÓN	PROCESO	ACTIVIDADES
PO-01	Recepción de aves	<ul style="list-style-type: none"> • Verificación de documentación sanitaria • Espera en plataforma • Verificación de número de sello del camión • Inspección sanitaria y bienestar animal • Pesaje y registro de aves
PO-02	Sacrificio y desangrado	<ul style="list-style-type: none"> • Colgado en línea de faena • Aturdimiento • Degüelle y desangrado • Control de tiempo de desangrado
PO-03	+Escaldado	<ul style="list-style-type: none"> • Ajuste de temperatura del agua (55-57 °C) • Control de tiempo de inmersión • Control del proceso terminado
PO-04	Desplumado	<ul style="list-style-type: none"> • Calibración de máquina • Control de presión y velocidad • Eliminación de plumas residuales • Inspección visual • Corte de cabezas • Revisión de aves post-mortem • Corte de patas y descolgado
PO-05	Extracción de vísceras	<ul style="list-style-type: none"> • Corte de cuello • Extracción de cloacas • Corte de abdomen • Extracción y separación de subproductos • Extracción de tráqueas y buchets • Extracción de pulmones • Inspección de calidad
PO-06	Lavado y enfriamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Lavado exterior e interior • Ingreso al prechiller • Ingreso a chiller 1 • Ingreso a chiller 2
PO-07	Empaque	<ul style="list-style-type: none"> • Inspección de calidad • Colgado en línea de escurrido • Escurrido de aves • Descolgado de aves • Embolsado de producto • Sellado de producto • Clasificación de aves según su peso • Codificación de lotes y fechas • Registro de peso por canasta en el sistema • Traslado a cámara de enfriamiento
PO-08	Refrigeración y almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Control de temperaturas de cámaras • Rotación de inventarios • Control de tiempo de almacenamiento • Registro de condiciones ambientales
PO-09	Despacho	<ul style="list-style-type: none"> • Carga de vehículos refrigerados • Control de documentación comercial • Registro de salida de productos

Los procesos de apoyo son los que les dan soporte a los procesos operativos, de modo que aseguran que las operaciones principales tengan los recursos y la infraestructura necesarias para funcionar eficientemente, desde la gestión del talento humano hasta la tecnología, estén alineados para lograr los objetivos empresariales en la Tabla 6.3. se presenta los procesos operativos de la empresa.

Tabla 6.3. Procesos de apoyo

Procesos de apoyo (PA)		
CODIFICACIÓN	PROCESO	ACTIVIDADES
PA-01	Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento preventivo programado • Registro y control de actividades • Gestión de repuestos e insumos
PA-02	Logística y transporte	<ul style="list-style-type: none"> • Planificación de rutas y distribución • Gestión de reclamos y devoluciones
PA-03	Seguridad y salud	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de peligros y evaluación de riesgos • Investigación de incidentes y accidentes • Inspección de seguridad
PA-04	Área administrativa	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión de recursos humanos • Compras y adquisiciones • Gestión documental y archivo
PA-05	Tecnología de la Información	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo y mantenimiento de software • Seguridad informática y respaldos • Automatización de procesos

6.2.1.4. Desarrollo del mapa de procesos

El mapa de procesos es una representación gráfica que muestra cómo se estructura y se interrelacionan todos los procesos de la empresa, así también se evidencia las entradas y salidas. En la Figura 6.5. se presenta los procesos que intervienen en la empresa.

6.2.1.5. FODA

Herramienta que sirve para evaluar la situación de la empresa, identificando sus fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas para tomar decisiones informadas y planificar estrategias efectivas, asimismo permite identificar áreas de mejora y establecer acciones para fortalecer la posición de la empresa en la Figura 6.6. se presenta el análisis FODA de la empresa INCUBANDINA S.A.

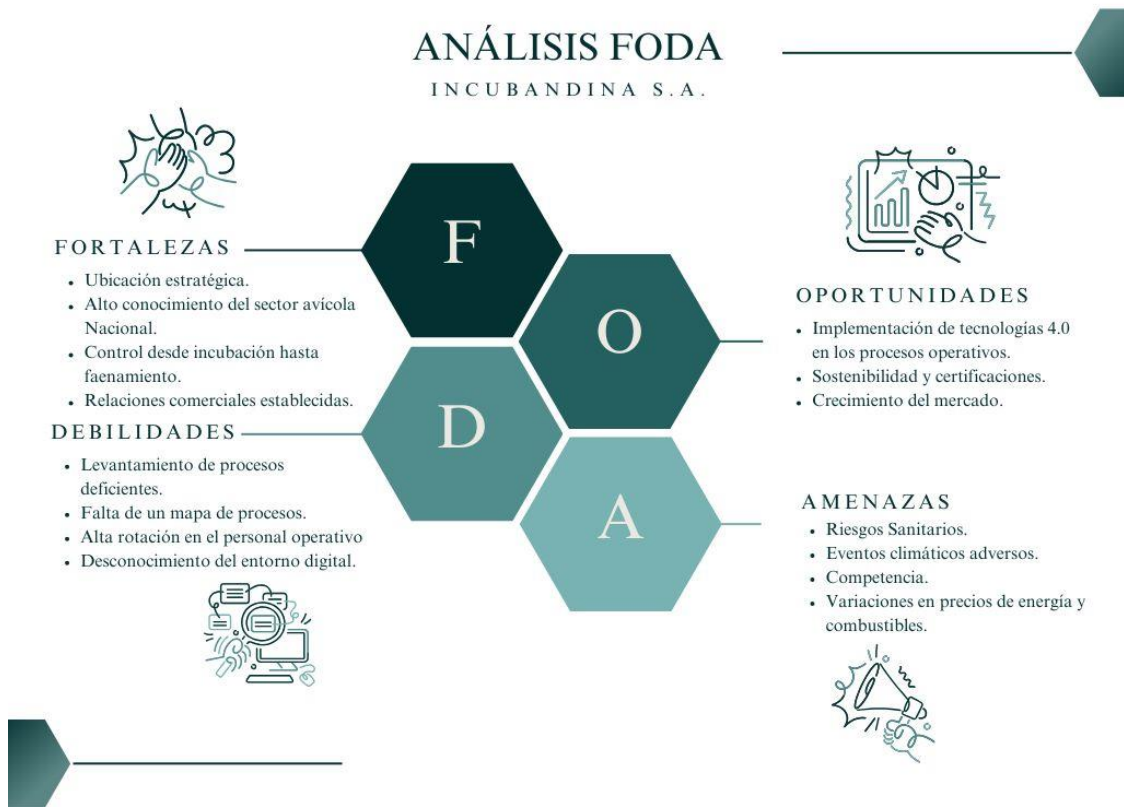


Figura 6.6 FODA

Los resultados arrojados tras la elaboración del análisis FODA en INCUBANDINA S.A. se puede evidenciar que tiene debilidades en el levantamiento de procesos y esto afecta la comprensión a fondo de cómo funcionan sus operaciones, así como también identificar áreas de mejora. Al no tener bien definidos los procesos, la empresa no puede reducir costos, mejorar la calidad del producto y aumentar su productividad. Por otra parte, la alta rotación en el personal es otro problema que afronta la empresa ocasionando grandes pérdidas económicas, impactando la calidad del producto y la fiabilidad de la empresa. Por otro lado, la empresa cuenta con oportunidades para poder mejorar sus procesos operativos, en la actualidad la industria 4.0 toma realce en este aspecto ya que sus tecnologías habilitadoras permiten que las empresas sean más competitiva y sostenible.

6.2.1.6. Descripción de los procesos productivos de la empresa

6.2.1.6.1. Recepción de aves

Para empezar, los camiones procedentes de las granjas avícolas pasan por un proceso de desinfección para hacer el ingreso en el centro de faenamiento. Las aves se transportan en jaulas de plástico como se evidencia en la Figura 6.7. y a su llegada los recibe el jefe de calidad para llevar a cabo una inspección ante-mortem, así como la revisión de documentos para el ingreso, el camión debe esperar en la plataforma de 10 a 30 min, después de haber transcurrido este tiempo se procede a capturar el peso en la báscula.



Figura 6.7. Recepción de aves

6.2.1.6.2. Sacrificio y desangrado

Una vez capturado el peso en la báscula se descargan las jaulas y un operario sujeta las patas del ave le pone la cabeza abajo y le coloca en la línea de faena Figura 6.8., donde se conduce al proceso de aturdimiento, sumergiendo la cabeza del ave en un canal de agua con electricidad para posteriormente proceder con el degüelle sin desprender la cabeza para el proceso de desangrado.



Figura 6.8. Sacrificio y desangrado

6.2.1.6.3. Escaldado

Este proceso inicia con el ajuste de la temperatura del agua a 55-57°C, las aves se sumergen durante 3 minutos, con el fin de dilatar los folículos de la piel y facilitar la extracción de las plumas en el siguiente proceso Figura 6.9.



Figura 6.9. Escaldado

6.2.1.6.4. Desplumado

En cuanto al proceso de desplumado inicia con la calibración de la máquina para tener un correcto control de presión y velocidad con la finalidad de tener una correcta extracción de plumas Figura 6.10. Una vez desplumado, se corta la cabeza, también es necesario lavar el cuerpo del ave faenada para disminuir las bacterias y proceder con la inspección de aves post-morten, además se cortan las patas y posteriormente el descolgado.



Figura 6.10. Desplumado

6.2.1.6.5. *Extracción de viseras*

Este proceso consiste en la extracción de los órganos internos, en primera instancia se corta el cuello del ave posteriormente se hace la extracción de cloacas para dar paso al corte del abdomen como se observa en la Figura 6.11.



Figura 6.11. Extracción de viseras

6.2.1.6.6. *Lavado y enfriamiento*

Las aves después de pasar el proceso de desplumado y eviscerado debe ser lavado para eliminar los residuos de sangre, al mismo tiempo mediante el uso agua helada se consigue un enfriamiento total de las aves para una mejor preservación. Así también a lo largo de toda la línea de faena se lleva a cabo una inspección post-mortem, para garantizar la calidad en el producto final tal como se evidencia en la Figura 6.12.



Figura 6.12. Lavado y enfriamiento

6.2.1.6.7. *Empaque*

En la Figura 6.13. se observa que coloca el producto dentro de fundas plásticas según las especificaciones comerciales, es sellada y pasa por una banda transportadora donde es pesado y clasificado para su posterior almacenamiento.



Figura 6.13. Empaque

6.2.1.6.8. *Refrigeración y almacenamiento*

El producto clasificado por su peso se introduce en gavetas plásticas para su almacenamiento en cámaras de refrigeración hasta su distribución y comercialización como se presenta en la Figura 6.14.



Figura 6.14 Refrigeración y almacenamiento

6.2.1.6.9. Despacho

El proceso finaliza con la distribución del producto a los diferentes centros de comercialización como muestra la Figura 6.15, asimismo se lleva el control de la documentación comercial y el registro de salida del producto para una mejor trazabilidad de la mimas.



Figura 6.15. Despacho de producto

El flujograma final de la empresa se encuentra en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** donde se representa de manera clara y ordenada la secuencia de actividades que conforman su proceso productivo, desde la recepción de aves hasta el despacho del producto terminado. Este diagrama es una herramienta fundamental para visualizar las interacciones entre las diferentes áreas operativas, garantizando la trazabilidad del proceso, contribuyendo a la eficiencia y competitividad de la empresa.

6.2.1.7. Elaboración del diagrama Ishikawa para identificar posibles oportunidades de mejora en los procesos operativos

Inicialmente para la realización de este análisis se utilizó el diagrama causa efecto o espina de pescado, es una herramienta visual utilizada para identificar causas que pueden estar contribuyendo a un problema, en consecuencia, con este análisis se identifica los factores que tienen una alta incidencia y que se pueden mejorar, utilizada en distintas áreas que busque mejorar la calidad y optimizar el desempeño operativo en la Figura 6.16 se puntualiza el diagrama de Ishikawa.

INCUBANDINA S.A.

Diagrama de Ishikawa

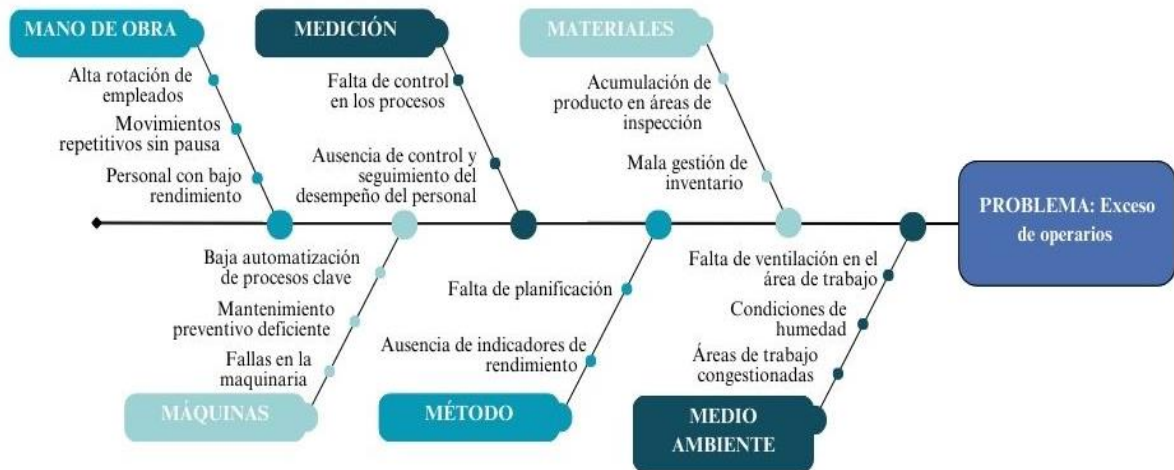


Figura 6.16. Diagrama Ishikawa

Después del análisis del diagrama presentado en la Figura 6.16., se puede concluir que existe aún bajos niveles de automatización en la empresa, así como también una alta carga de trabajo repetitivo. Un claro ejemplo que se puede evidenciar con las visitas de campo realizadas fue en el área de empaque, donde existe tareas que dependen demasiado de la mano de obra. Por otra parte, la acumulación de producto en el área de inspección para el empaque indica un cuello de botella. Al no fluir correctamente los productos entre una etapa a otra. Múltiples deficiencias en la gestión de procesos, tecnología y entorno físico son otros aspectos que también se evidencia y es fundamental aplicar estrategias de mejora en estas áreas.

6.2.1.8. Pareto

Herramienta gráfica que combina un diagrama de barras y una línea para visualizar la importancia relativa de los factores que contribuyen a un problema, ayuda a identificar los problemas más importantes a los que se deben prestar atención, que sugiere que aproximadamente el 80% de los efectos provienen del 20% de las causas. En la Tabla 6.4 se presenta las áreas y los problemas que presenta cada una de estas.

Tabla 6.4 Tabla de áreas con problemas que presentan

ÁREAS	PROBLEMAS
Recepción de aves	<ul style="list-style-type: none"> • Ausencia de control y seguimientos del desempeño del personal • Falta de planificación
Sacrificio y desangrado	<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones de humedad
Escaldado	<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones de humedad
Desplumado	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de control de procesos
Extracción de viseras	<ul style="list-style-type: none"> • Alta rotación de empleados • Baja automatización
Lavado y Enfriamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones de humedad
Empaque	<ul style="list-style-type: none"> • Alta rotación de empleados • Acumulación de producto en áreas de inspección • Área congestionada • Ausencia de control y seguimiento del desempeño del personal • Condiciones de humedad
Refrigeración y Almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Mala gestión de inventarios
Despacho	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de planificación

En la Figura 6.17 se muestra que el área de empaque concentra la mayor cantidad de problemas identificados, representando aproximadamente el 33% del total, este resultado indica que la mayor concentración de problemas se encuentra en el área de empaque, convirtiéndose en el punto crítico de atención prioritaria para la implementación de mejoras.

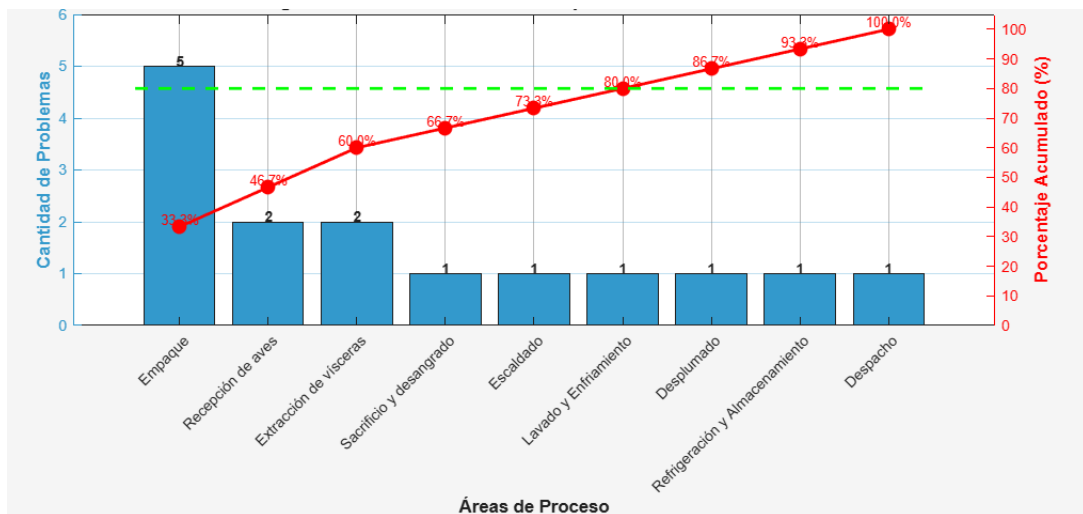


Figura 6.17 Diagrama de Pareto Problemas por áreas INCUBANDINA S.A.

6.2.1.9. Levantamiento del proceso de empaque

En esta sección se describen el proceso de empaque de la planta faenadora INCUBANDINA S.A. y las actividades realizadas en esta fase. También se utilizó una ficha de registro para detallar las actividades necesarias para el proceso como se presenta en la Tabla 6.5.

6.2.1.9.1. Área de descolgado y embolsado

Por otro lado, esta actividad se realiza con el producto que cumple los requerimientos de calidad, inicia con la caída del pollo en un recipiente, donde un operario introduce al producto por un cono donde le espera la funda que es sostenida por otro operador que pasa todo el tiempo de pie y en un espacio reducido pudiéndole ocasionar una enfermedad profesional, al embolsar el producto el operario se encarga de trasladar a la siguiente actividad para su posterior cerrado y clasificación. Existe una banda transportadora que no trabaja en su totalidad ya que solo se envía un paquete para su clasificación como se evidencia en la Figura 6.18.



Figura 6.18. Área de empaque

En la Figura 6.19 se presenta el flujograma del proceso del área de empaque, en el cual se describe de manera secuencial y detallada las actividades involucradas en esta área fundamental de la cadena productiva y propuesta para el estudio.

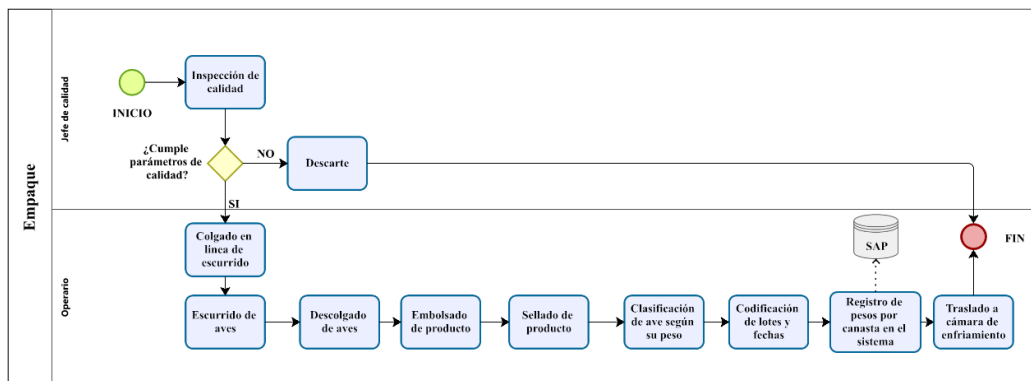















Figura 6.19. Flujograma empaque

Tabla 6.5. Actividades área de empaque

Proceso	Empaque	
Código	PO-07	
Objetivo	Asegurar que el producto cumpla con los parámetros de calidad	
Entradas	Pollo	
Recursos	Operarios, fundas, códigos,	
Salidas	Pollo empacado y seleccionado por peso	
N°	Actividad	Descripción
1	Inspección de calidad	Se realiza una verificación visual y física del producto para asegurar que cumpla con los estándares de calidad establecidos. Se revisa la apariencia, textura y ausencia de defectos en el pollo procesado.
2	Colgado en línea de escurrido	El pollo se coloca en ganchos especiales dentro de la línea de escurrido para la eliminación del exceso de líquidos del proceso anterior.
3	Escurredo de aves	El producto permanece en la línea de escurrido durante 1min para eliminar completamente el exceso de agua y otros líquidos residuales del proceso de lavado.
4	Descolgado de aves	Una vez completado el tiempo de escurrido, el personal retira cuidadosamente el pollo de los ganchos de la línea, el mismo que cae en una bandeja preparándolo para el siguiente paso.
5	Embolsado de producto	Un operario introduce el pollo en un cono donde se encuentra la funda de empaque posteriormente el producto queda completamente contenido y protegido.
6	Sellado de producto	Se procede al sellado de las fundas utilizando un equipo de sellado automático, garantizando la conservación del producto y evitando la contaminación externa.
7	Clasificación de aves según su peso	Los productos empacados y sellados se colocan en una banda transportadora la misma que la separa y organiza en diferentes categorías según su peso, facilitando la gestión de inventario.
8	Codificación de lotes y fechas	Se aplica códigos de identificación en cada empaque que incluye información de lote de producción, fecha de procesamiento y fecha de vencimiento para trazabilidad.
9	Registro de peso por canasta en el sistema	Se ingresa la información de peso de cada canasta en el sistema de gestión, permitiendo el control de inventario.
10	Traslado a cámara de enfriamiento	El producto empacado y codificado se transporta a las cámaras de refrigeración donde se mantiene a la temperatura adecuada para conservar la calidad hasta su distribución.

6.2.1.10. Estudios de tiempos

6.2.1.10.1. Cursograma analítico

CURSOGRAMA ANALÍTICO DEL PROCESO																		
Hoja N° __1__ De: __1__ Diagrama N°: __1__			Operar: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Mater. <input type="checkbox"/> Maqui. <input type="checkbox"/>															
Proceso: Pintura Electroestática			RESUMEN															
Fecha: Mayo 15 de 2025			SÍMBOLO		ACTIVIDAD							Act.	Pro.	Econ.				
El estudio Inicia: Caída del pollo a la bandeja					Operación							3						
Método: Actual					Transporte							0						
Producto: pollo					Inspección							0						
Elaborado por: Maria Chilquinga					Espera							0						
Tamaño del Lote: 1					Almacenaje							0						
			Total de actividades realizadas							3,0								
			Distancia total en metros															
			Tiempo min/hombre															
NUMERO	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	Cantidad	Tiempo segundos	Tiempo segundos	Tiempo segundos	Tiempo segundos	Tiempo segundos	Tiempo segundos	Tiempo segundos	Tiempo segundos	Tiempo segundos	Tiempo segundos	SÍMBOLOS PROCESOS					
																		
1	Tomar el pollo de la bandeja	1	2,83	2,50	2,78	2,63	2,43	2,53	2,54	2,86	2,54	2,9						
2	Enfundar el pollo	1	2,54	2,53	2,64	3,03	2,76	2,64	2,36	2,64	3,14	2,4						
3	Sellar la funda	1	2,69	2,55	2,48	3,14	2,51	2,69	2,64	2,35	2,51	3,0						

6.2.1.10.2. Muestras Principales

en la Tabla 6.6 se visualiza 10 muestras principales tomados a los 3 operarios que se encuentran en el área de empaquetado. Se tomaron 10 muestras iniciales ya que los ciclos de los operarios son menores a 2 minutos.

Tabla 6.6 Muestras principales para análisis

Muestras										
Operarios	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2,83	2,26	2,69	2,63	3,03	3,14	3,34	3,5	2,54	3,73
2	2,55	2,21	2,93	2,04	2,86	2,51	2,44	2,66	2,36	2,35
3	2,78	2,64	3,41	2,46	2,53	2,28	3,45	2,84	2,64	2,69

A continuación, en la Tabla 6.7. se presentan los indicadores de las muestras principales, los cuales ayudan a limitar los datos en límites de control, con el fin de depurar los valores que están fuera de rango y podrían causar un error en el estudio.

Tabla 6.7. Parámetros de control

\bar{X}	DS	LCS	LCI
2,97	0,46	3,43	2,51
2,49	0,28	2,77	2,22
2,77	0,38	3,15	2,39

Donde:

\bar{X} = Promedio

DS = Desviación estándar de la muestra

LCS = Límite de control superior

LCI = Límite de control inferior

En la Figura 6.20. se observa los límites de control para las muestras principales lo que ayuda a visualizar cuales datos están fuera del rango de control y se deben reemplazar para evitar errores en los cálculos.

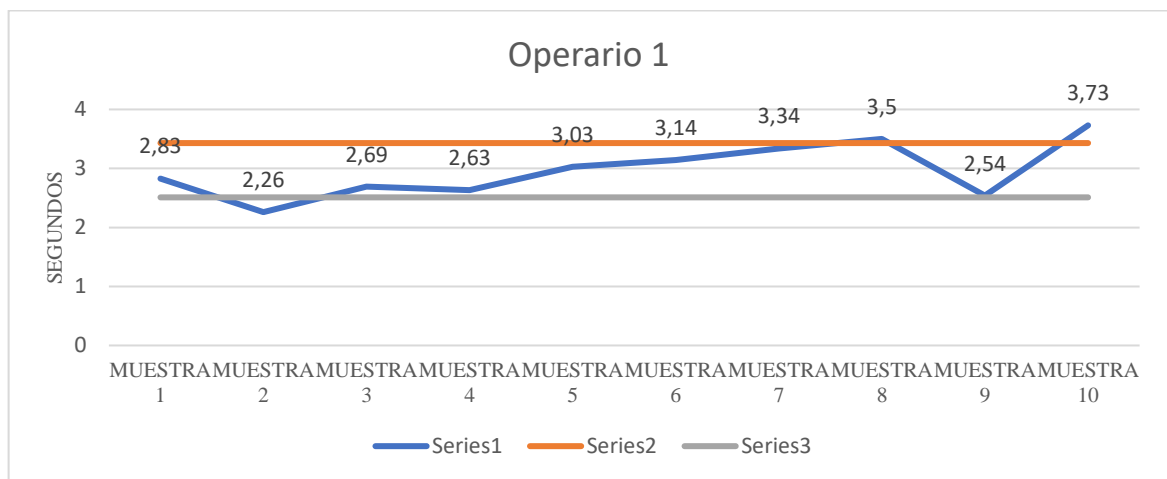


Figura 6.20. Gráfica de control para valores de muestras Operario 1.

La Figura 6.21. muestra los límites de control para los valores iniciales de las muestras de tiempos tomados para el operario 2.

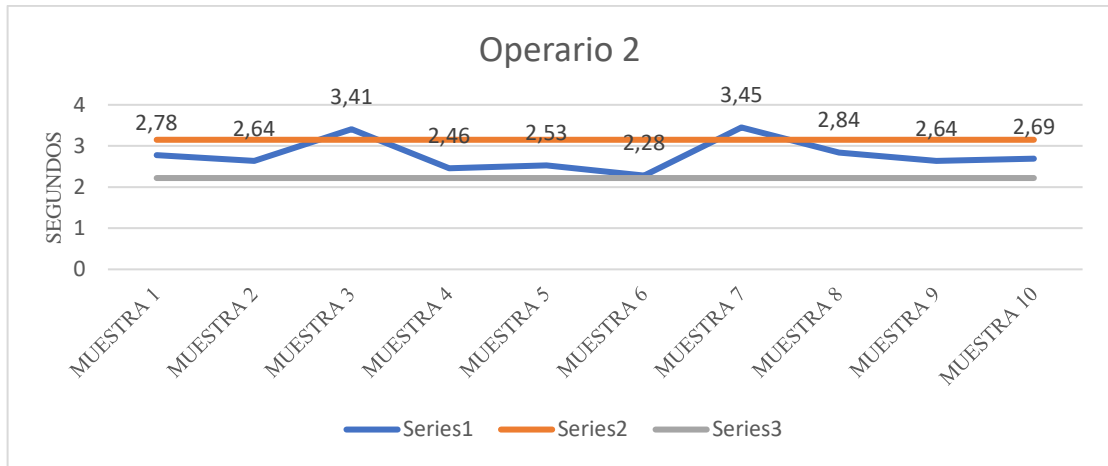


Figura 6.21 Gráfica de control para valores de muestras operario 2

La Figura 6.22. presenta los límites de control para las muestras tomada de los tiempos para el Operario 3.

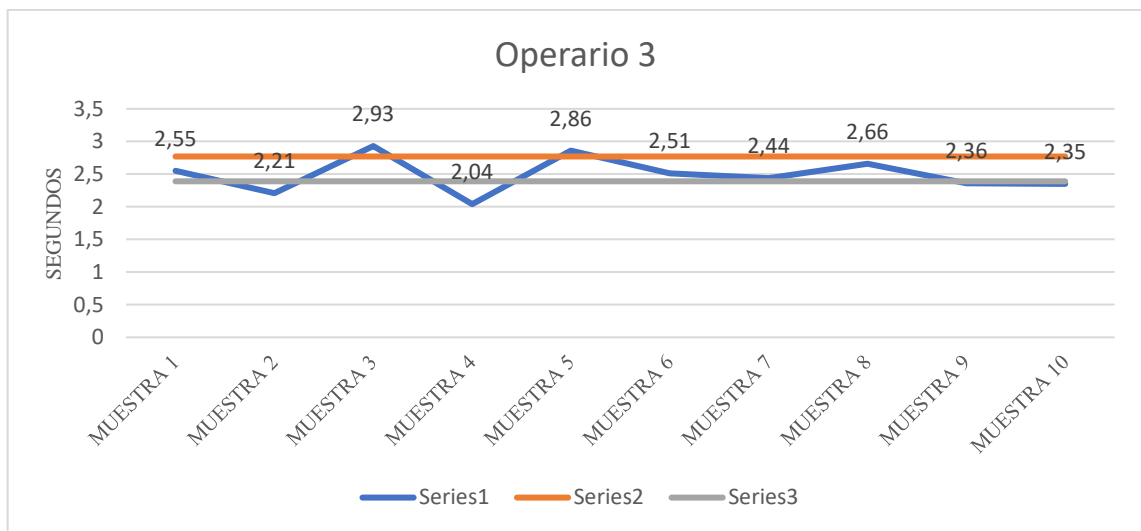


Figura 6.22 Gráfica de control para valores de muestras operario 3

Una vez que se obtienen los valores a reemplazar con los datos obtenidos en la planta, se calcula el número de muestras representativas con las que se realiza el estudio y cálculo de tiempo estándar para el proceso de empaquetado con la siguiente ecuación (6.1).

$$n = \left(\frac{40 * \sqrt{n' \sum x^2 - \sum (x)^2}}{\sum x} \right)^2 \tag{6.1}$$

Donde:

n = número de la muestra

n' = número de observaciones del estudio preliminar

Σ = suma de valores

X= valor de las observaciones

40= Constante para un nivel de confianza

La Tabla 6.8., tiene todas las muestras representativas corregidas y la cantidad de muestras calculadas con la ecuación (6.1. para continuar con el cálculo del tiempo total, estos valores contienen los datos con los tiempos tomados en la planta.

Tabla 6.8 Muestras representativas

Muestras	Operario 1	Operario 2	Operario 3
Muestra 1	2,83	2,55	2,78
Muestra 2	2,54	2,53	2,64
Muestra 3	2,69	2,5	2,48
Muestra 4	2,63	2,43	2,46
Muestra 5	3,03	2,76	2,53
Muestra 6	3,14	2,51	2,64
Muestra 7	3,34	2,44	2,69
Muestra 8	3,39	2,66	2,84
Muestra 9	2,54	2,36	2,64
Muestra 10	2,86	2,35	2,69
Muestra 11	3,04	2,73	2,69
Muestra 12	3,1	2,61	2,95
Muestra 13	2,98	2,64	2,44
Muestra 14	2,69	2,58	2,61
Muestra 15	2,69	2,61	2,78

Con los datos depurados se calcula el Tiempo Observado o también conocido como tiempo promedio, para lo cual se utilizó la siguiente ecuación (6.2).

$$TO = \frac{\sum \text{muestras}}{n} \quad (6.2)$$

Donde:

TO = tiempo observado

Σ = sumatoria de las muestras

n = número de muestras

Para calcular la valoración del ritmo de trabajo de cada operario se calcula a partir de los datos que suministra la valoración del ritmo. La Tabla 6.9., muestra la valoración del ritmo para el operario 1.

Tabla 6.9 Valoración del Ritmo operario 1

VALORACIÓN DEL RITMO					
Operario 1			Empaquetado		
Habilidad			Esfuerzo		
D	Promedio	0	C1	-	0,05
Condiciones			Consistencia		
C	Buenas	0,02	B	Excelente	0,03
Valoración del ritmo total					1,10

En la Tabla 6.10., se obtiene los valores referenciales a la valoración del ritmo de trabajo del operario 2.

Tabla 6.10 Valoración del ritmo operario 2

VALORACIÓN DEL RITMO					
Operario 2			Empaquetado		
Habilidad			Esfuerzo		
B2	Excelente	0,08	B2	Excelente	0,08
Condiciones			Consistencia		
C	Buenas	0,02	B	Excelente	0,01
Valoración del ritmo total					1,18

En la Tabla 6.11. se obtiene los valores referenciales a la valoración del ritmo de trabajo del operario 3.

Tabla 6.11 Valoración del ritmo operario 3.

VALORACIÓN DEL RITMO					
Operario 3			Empaquetado		
Habilidad			Esfuerzo		
B2	Excelente	0,08	B2	Excelente	0,08
Condiciones			Consistencia		
C	Buenas	0,02	B	Excelente	0,03
Valoración del ritmo total					1,21

Una vez obtenido el valor de ritmo para cada trabajador, considerando que los valores fueron obtenidos observando el proceso en la faenadora, se procede a calcular el tiempo normal con la siguiente ecuación (6.3)

$$Tn = TO \times VR \quad (6.3)$$

Donde:

Tn = tiempo normal

TO = tiempo Observado

VR = valoración del ritmo

Para el cálculo del suplemento de cada operario tomando en cuenta que los trabajadores pueden ser hombres o mujeres, se calcula a partir de la

Tabla 6.12 de la OIT, donde se toman los valores para el cálculo de los suplementos para el operario 1, recordando que estos valores son referencias acordes a lo observado en la planta, todos los datos son sujetos a la experiencia de la persona encargada, hechas de forma interna durante el proceso con cada uno de los operarios presentes en la actividad.

Tabla 6.12 Suplementos operario 1

Sistema de Suplementos por Descanso		
Suplementos constantes	Operario 1	Hombre
Necesidades personales	5	
Básicos por fatiga	4	
Suplementos Variables		
Trabajo de Pie	2	
Postura anormal	2	
Trabajo fatigoso	2	
Ruido	2	
Trabajo muy monótono	4	
TOTAL	21	

En la Tabla 6.13 se presenta el cálculo hecho para los suplementos del operario 2 en este caso el operario encargado es una mujer.

Tabla 6.13 Suplementos operario 2

Sistema de Suplementos por Descanso		
Suplementos constantes	Operario 2	Mujer
Necesidades personales	7	
Básicos por fatiga	4	
Suplementos Variables		
Trabajo de Pie	4	
Energía muscular	1	
Postura anormal	3	
Trabajo fatigoso	2	
Ruido	2	
Trabajo muy monótono	4	
TOTAL	27	

En la Tabla 6.14 se observa los suplementos totales calculados para el operario 3.

Tabla 6.14 Suplemento operario 3

Sistema de Suplementos por Descanso		
Suplementos constantes	Operario 3	Hombre
Necesidades personales	5	
Básicos por fatiga	4	
Suplementos Variables		
Trabajo de Pie	2	
Postura anormal	2	
Trabajo fatigoso	2	
Ruido	2	
Trabajo muy monótono	4	
TOTAL	21	

Una vez calculado los suplementos para cada operador se procede a calcular el tiempo estándar con la siguiente ecuación (6.4 :

$$Te = TN * (1 + Suplementos) \quad (6.4)$$

Te = tiempo estándar

TN = tiempo normal

Suplementos = valor que sugiere las condiciones de trabajo para el operador

En la Tabla 6.15 se presenta la tabla general del estudio de tiempos empaquetado

Tabla 6.15 Estudio de tiempos empaquetado

Proceso: empaque			
ACTIVIDADES			
ACTIVIDAD 1	TOMAR EL POLLO DE LA BANDEJA		
ACTIVIDAD 2	ENFUNDAR EL POLLO		
ACTIVIDAD 3	SELLAR LA FUNDA		
Muestras	Operario 1	Operario 2	Operario 3
Muestras 1	2,83	2,55	2,78
Muestras 2	2,54	2,53	2,64
Muestras 3	2,69	2,5	2,48
Muestras 4	2,63	2,43	2,46
Muestras 5	3,03	2,76	2,53
Muestras 6	3,14	2,51	2,64
Muestras 7	3,34	2,44	2,69
Muestras 8	3,39	2,66	2,84
Muestras 9	2,54	2,36	2,64
Muestras 10	2,86	2,35	2,69
Muestras 11	3,04	2,73	2,69
Muestras 12	3,1	2,61	2,95
Muestras 13	2,98	2,64	2,44
Muestras 14	2,69	2,58	2,61
Muestras 15	2,69	2,61	2,78
TO	2,90	2,55	2,66
VR	1,1	1,18	1,21
TN	3,19	3,01	3,22
SUPLEMENTOS	0,21	0,27	0,21
TT	3,40	3,28	3,43
TIEMPO ESTANDAR			10,10

Después de obtener estos datos los cuales se usan para modelar en FlexSim se procede a incluirlos junto a los datos obtenidos para el robot utilizando la herramienta de CoppeliaSim, toda la data para simular el puesto de trabajo donde se quiere implementar el robot colaborativo.

6.2.1.11. Madurez digital de la empresa

En este estudio realizado, se analiza el estado presente respecto a la madurez digital de la empresa en base a la encuesta realizada con la plataforma <https://pymedigital.ec>, es una herramienta para la medición de madurez digital de las empresas; la cual entrega como resultado final un documento con recomendaciones que ayuden a mejorar y adoptar nuevas tecnologías

para las empresas acorde a su situación actual con la posibilidad de hacer chequeos periódicos con el fin de medir sus avances y poder compararse en los años siguientes.

En la Tabla 6.16., se observa el resumen de los niveles de madurez digital según las distintas dimensiones evaluadas.

Tabla 6.16 Resultados de madurez digital

Dimensión	Nivel	Comentario
Tecnologías y habilidades digitales	Competente	Uso de distintos softwares en la nube que permite desarrollar operaciones como gestión de clientes o colaboración en línea para mejoras de productos
Comunicaciones y canales de venta	Competente	Medios digitales para implementar forma de pagos y otros canales para marketing digital.
Organización y personas	Novato	La contratación para desarrollo y procesos digitales son puntuales, no existe departamento encargado a este tipo de desarrollo digital, y las capacitaciones que existen son básicas.
Estrategia y transformación	Novato	La empresa no cuenta con un plan de trabajo que permita llevar al siguiente nivel la transformación digital
Datos y analítica	Novato	Combinación entre el papel y lo digital
Procesos	Novato	La empresa se encuentra en transición para la transformación digital sin embargo no cuenta con procedimientos formalizados para generar el cambio.

En la Figura 6.23. se observa el estado actual de madurez por dimensión de la empresa.

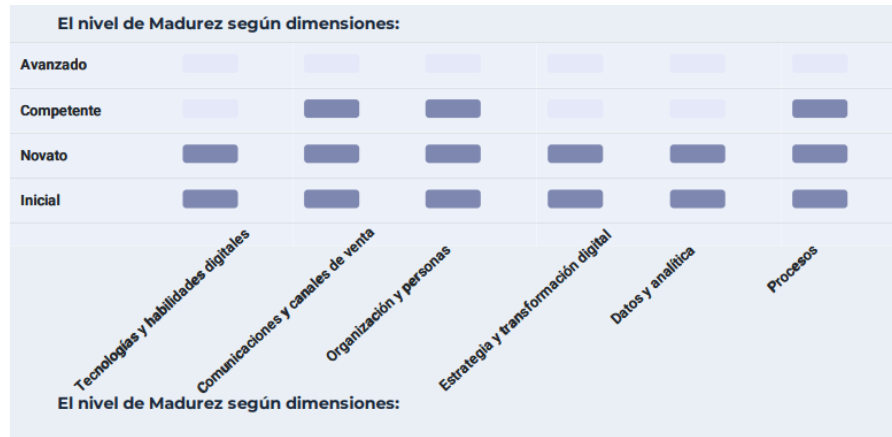


Figura 6.23 Nivel de madurez

6.2.1.11.1. Áreas Críticas de mejora

Debido a la baja calificación obtenida en el informe y el impacto estratégico para la transformación digital se deben considerar las siguientes áreas:

- Estrategia y transformación digital: No hay planes estructurados que guíen este proceso de transformación digital.
- Datos y analítica: pese a que tienen conocimiento como obtener los datos, no hay procedimientos de análisis de datos, lo que limita la toma de decisiones conforme a esta data obtenida.
- Organización y personas: No se ha integrado una cultura de digitalización a gran escala, la formación es básica.

6.2.1.11.2. Recomendaciones Estratégicas:

- Crear planes para el personal que vayan alineadas a las herramientas digitales existentes.
- Identificar procesos para la digitalización inmediata.
- Desarrollar una estrategia digital.
- Automatizar procesos que tienen dependencia de mano de obra directa.
- Incorporar tecnologías emergentes.

6.3. TERCER OBJETIVO ESPECÍFICO

6.3.1. Modelado Coppeliasim

Para realizar el modelado de la simulación se utilizó el software Coppeliasim educativo. Se modeló un espacio con el fin de representar el puesto de trabajo de la empresa, haciendo la emulación del puesto donde se observó el movimiento de recoger y soltar.

Primero se posiciona en la escena un brazo robótico UR5, el cual se selecciona en el estudio ya que los robots UR tienen mayor presencia y aplicabilidad a nivel mundial como se observa en la Figura 6.24 datos expuestos en el Hannover Messe 2024.

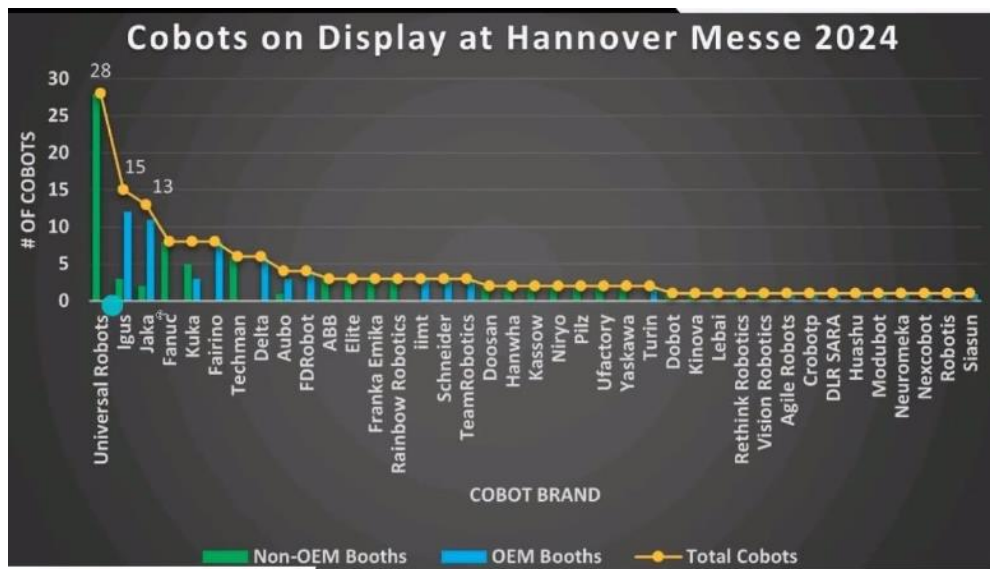


Figura 6.24 Cobots con más presencia a nivel mundial

El robot se colocó en el centro de la escena lo cual permite realizar las pruebas respectivas para un rango adecuado según lo observado en la empresa queda emulado en el software. En la Figura 6.25. se observar el modelo de brazo robótico UR5.

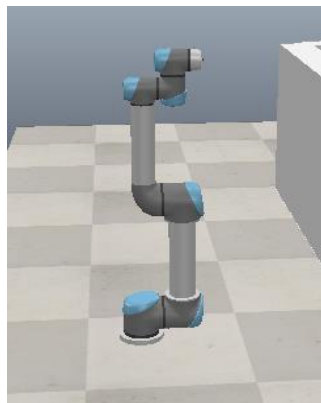


Figura 6.25 brazo robótico UR5

A continuación, se crean objetos primarios, piezas en forma de barras como se observa en la Figura 6.26 las cuales representan el objeto a recoger en la simulación, estas se configuran en CoppeliaSim como objetos dinámicos lo que hace que el brazo las pueda manipular con el efector final.



Figura 6.26 Barras para emular el objeto a recoger

Se crearon 3 objetos denominados dummies en la escena Figura 6.27, son objetos para posicionar los puntos de desplazamiento del robot, estos se configuran para darle movimiento inicial y final del brazo con cada barra.



Figura 6.27 escena Dummy

En la Tabla 6.17 se explica la funcionalidad de cada uno de los dummies en la escena.

Tabla 6.17 Tabla de Dummies

DUMMY	FUNCIÓN PRINCIPAL
Target Dummy	Es el objetivo que se mueve en la escena y se puede posicionar en cualquier parte de la escena, el brazo lo sigue usando cinemática inversa.
Tip Dummy	Es la parte final del brazo, se enlaza con el target para que al correr el código sepa donde mover la herramienta final.
Place Dummy	Marca el espacio donde se va a colocar el objeto, es útil para la planificación de trayectorias.

Con los dummies creados se tiene que generar la cinemática inversa para enlazar el target dummy con el tip dummy, en la Figura 6.28 se muestra la generación de la cinemática inversa con los respectivos parámetros.

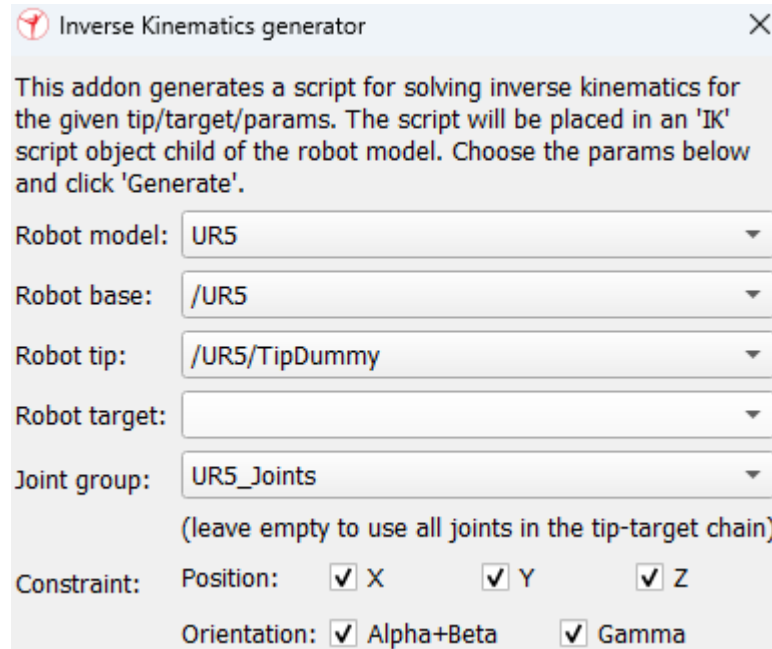


Figura 6.28 Cinemática inversa

Al generar la cinemática inversa se comprueba el movimiento sin correr los códigos, haciendo un movimiento manual del target dummy para observar como el tip dummy lo sigue, esto asegura que se creó efectivamente la cinemática del robot.

En la Figura 6.29 se muestra la escena del entorno virtual simulando el espacio donde se ubicaría el brazo robotico.

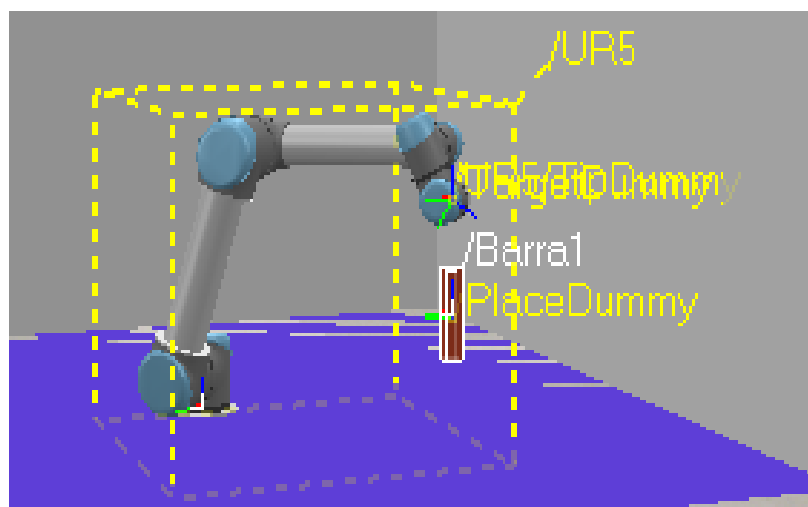


Figura 6.29 Escena modelada con los elementos

Después de tener la escena modelada, se hizo un análisis de los tipos de trayectorias que más se utilizan en la industria como se revisó en el capítulo anterior, con esta información se hizo una tabla de comparación para poder seleccionarlos, acorde a las ponderaciones tomadas del 1 al 5 de diferentes parámetros y así poder trabajar en el simulador de CoppeliaSim como se muestra en la Tabla 6.18

Tabla 6.18 Tabla de comparación ponderada

Algoritmo	RRT (Rapidly- exploring Random Tree)	A*	Dijkstra	RRT*	PRM (Probabilistic Roadmap)	Interpolación lineal	Bezier o splines
Visibilidad científica	5	4	3	4	3	4	2
Implementación	3	3	4	4	3	5	3
Precisión	3	5	5	5	3	3	4
Tiempo de cómputo	5	3	1	1	5	5	3
Adaptabilidad	5	3	2	5	2	2	2
Ideal para CoppeliaSim	5	5	3	5	4	5	4
TOTAL	26	23	18	24	20	24	18

Según la Tabla 6.18 se obtuvo como resultado del estudio 3 algoritmos el RRT (Rapidly exploring Random Tree), A* y el de interpolación lineal con los cuales se realizarán las pruebas para el robot colaborativo y obtener los datos que después se utilizaran en FlexSim, cabe indicar que estos datos son utilizados para el modelamiento del pick and place, el cual realizara el robot en el puesto de trabajo.

Para iniciar el modelamiento en CoppeliaSim primero se creó un prompt que permitiría generar los códigos con inteligencia artificial para hacer las pruebas respectivas de los 3 algoritmos en el entorno simulado, el cual se presenta en la Figura 6.30 según su estructura:



Figura 6.30 Prompt de prueba para generar algoritmos de trayectoria

En la Figura 6.31 explica cuál es la estructura del prompt para generar con la inteligencia artificial los algoritmos que se utilizaron y su función.



Figura 6.31 Estructura del Prompt para generar los códigos de prueba²

6.3.2. Generación de algoritmos de trayectoria

El primer código generado para trabajar con la trayectoria mediante el método de interpolación lineal se presenta en la siguiente Figura 6.32, donde se puede observar la estructura básica del algoritmo implementado, tiene como finalidad establecer una secuencia de puntos intermedios entre posición inicial y la final del efector final del robot, asegurando un desplazamiento continuo y controlado, se incluyen las funciones necesarias para definir las coordenadas de cada punto de interpolación con el fin de lograr una transición suave y precisa entre posiciones.

² Imagen generada con asistencia de napkin.ia

```

1
import sim
import time
import numpy as np

PAUSA_ENTRE_PASOS = 0.02
NUM_PASOS = 100

2
def conectar_coppelia():
    sim.simxFinish(-1)
    clientID = sim.simxStart('127.0.0.1', 19997, True, True, 5000, 5)
    if clientID != -1:
        print("✓ Conectado a CoppeliaSim")
    return clientID

3
def obtener_handles(clientID):
    _ , target = sim.simxGetObjectHandle(clientID, 'TargetDummy', sim.simx_opmode_blocking)
    _ , place = sim.simxGetObjectHandle(clientID, 'PlaceDummy', sim.simx_opmode_blocking)
    _ , barra1 = sim.simxGetObjectHandle(clientID, 'Barra1', sim.simx_opmode_blocking)
    _ , barra2 = sim.simxGetObjectHandle(clientID, 'Barra2', sim.simx_opmode_blocking)
    _ , barra3 = sim.simxGetObjectHandle(clientID, 'Barra3', sim.simx_opmode_blocking)
    return target, place, barra1, barra2, barra3

4
def mover_interpolado(clientID, target, inicio, fin, pasos=100, pausa=0.02):
    distancia_total = 0
    prev_pos = inicio
    for i in range(pasos + 1):
        t = i / pasos
        pos_interp = [inicio[j] + t * (fin[j] - inicio[j]) for j in range(3)]
        if i > 0:
            distancia_total += np.linalg.norm(np.array(pos_interp) - np.array(prev_pos))
            sim.simxSetObjectPosition(clientID, target, -1, pos_interp, sim.simx_opmode_oneshot)
            prev_pos = pos_interp
        time.sleep(pausa)
    return distancia_total

5
def ejecutar_pick_and_place(clientID, target, barra, pos_barra, pos_place, etiqueta="Barra"):
    pos_sobre_barra = [pos_barra[0], pos_barra[1], pos_barra[2] + 0.1]
    d1 = mover_interpolado(clientID, target, pos_inicio, pos_sobre_barra)
    pos_agarre = [pos_barra[0], pos_barra[1], pos_barra[2] + 0.015]
    d2 = mover_interpolado(clientID, target, pos_sobre_barra, pos_agarre)
    sim.simxSetObjectParent(clientID, barra, target, True, sim.simx_opmode_blocking)

    d3 = mover_interpolado(clientID, target, pos_agarre, pos_sobre_barra)
    d4 = mover_interpolado(clientID, target, pos_sobre_barra, pos_place)
    pos_dejar = [pos_place[0], pos_place[1], pos_place[2] - 0.07]
    d5 = mover_interpolado(clientID, target, pos_place, pos_dejar)
    sim.simxSetObjectParent(clientID, barra, -1, True, sim.simx_opmode_blocking)
    d6 = mover_interpolado(clientID, target, pos_dejar, pos_place)

6
clientID = conectar_coppelia()
target, place, barra1, barra2, barra3 = obtener_handles(clientID)
pos_place1 = pos_place
pos_place2 = [pos_place[0], pos_place[1] + 0.04, pos_place[2]]
pos_place3 = [pos_place[0], pos_place[1] + 0.08, pos_place[2]]

7
t0_plan = time.time()
time.sleep(0.001)
t1_plan = time.time()
tiempo_planificacion = t1_plan - t0_plan

8
d1, e1, t1 = ejecutar_pick_and_place(clientID, target, barra1, pos_barra1, pos_place1, "Barra 1")
d2, e2, t2 = ejecutar_pick_and_place(clientID, target, barra2, pos_barra2, pos_place2, "Barra 2")
d3, e3, t3 = ejecutar_pick_and_place(clientID, target, barra3, pos_barra3, pos_place3, "Barra 3")

9
print("\n \t MÉTRICAS DE PICK AND PLACE CON INTERPOLACIÓN LINEAL")

10
sim.simxFinish(clientID)

```

Figura 6.32 Código para prueba de algoritmo Interpolación Lineal

En la Figura 6.33 se observa la explicación de cada uno de los bloques de conexión del algoritmo de interpolación lineal.

Bloque	Función	Descripción
1	Librerías y parámetros	Se importan las librerías necesarias para conectarse, calcular y controlar tiempos. Además, se definen los parámetros que regulan la velocidad y suavidad del movimiento.
2	Conexión	Se establece la conexión con CoppeliaSim utilizando la API remota, cerrando conexiones anteriores si existen. Esto garantiza una sesión limpia para iniciar la simulación.
3	Obtener Handles	Se obtienen las referencias internas (handles) de los objetos del entorno. Estas referencias permiten controlar y manipular los elementos de la escena desde Python.
4	Interpolación	Se calcula un movimiento progresivo en línea recta entre dos posiciones para el TargetDummy. Esto permite realizar trayectorias suaves y controladas evitando movimientos bruscos.
5	Pick and Place	Se ejecuta el ciclo completo de recoger una barra, moverla y colocarla en un destino específico. Incluye la simulación del agarre mediante el cambio de jerarquía en la escena.
6	Main	Es el bloque principal donde se organiza todo el proceso y se ejecutan los ciclos de Pick and Place. Se definen las posiciones iniciales y se controlan los flujos de ejecución.
7	Planificación	Se simula un tiempo mínimo de planificación para representar el cálculo previo de trayectorias. Este valor refleja el costo computacional del algoritmo de interpolación.
8	Ejecución	Se ejecutan las rutinas de Pick and Place para las tres barras de forma secuencial. Cada barra se recoge y se coloca en posiciones específicas separadas entre sí.
9	Métricas	Se calculan y muestran los indicadores clave del proceso: tiempos, distancias recorridas y errores de colocación. Esto permite evaluar el desempeño de la simulación.
10	Desconexión	Cierra la conexión

Figura 6.33 Función y descripción del código del algoritmo de trayectoria Interpolación Lineal³

³ Imagen generada con asistencia napkin.ia.

En la Figura 6.34 se observa el código del algoritmo de trayectoria A por bloques de ejecución.

```
1
import sim
import time
import numpy as np
from queue import PriorityQueue
Z_ALTURA = 0.4
PASO = 0.015
PAUSA = 0.008
SEPARACION_Y = 0.04

2
def heuristica(a, b):
    return np.linalg.norm(np.array(a) - np.array(b))
def a_star(start, goal, grid_size=0.015):
def suavizar_ruta(ruta, factor=5):

3
def mover_a_traves_de_ruta(clientID, target, ruta_2d, z=0.4, pausa=0.008):
def bajar_para_agarrar(clientID, target, pos_barra, pasos=20, z_offset=0.015):
def bajar_suavemente(clientID, target, pos_place, pasos=20, z_final=-0.07):

4
def pick_and_place_astar(clientID, target, barra, pos_barra, pos_place, etiqueta="Barra"):

5
def conectar_coppelia():
    sim.simxFinish(-1)
    return sim.simxStart('127.0.0.1', 19997, True, True, 5000, 5)

6
clientID = conectar_coppelia()
tiempo_inicio = time.time()

d1, t1, e1 = pick_and_place_astar(clientID, target, barra1, pos_barra1, pos_place1, "Barra 1")
d2, t2, e2 = pick_and_place_astar(clientID, target, barra2, pos_barra2, pos_place2, "Barra 2")
d3, t3, e3 = pick_and_place_astar(clientID, target, barra3, pos_barra3, pos_place3, "Barra 3")

7
tiempo_total = time.time() - tiempo_inicio
print("\n 📊 MÉTRICAS - A* Visual Refinado")
print(f" ⌚ Tiempo total de ejecución: {tiempo_total:.3f} s")
print(f" 💰 Costo computacional total (planificación): {t1 + t2 + t3:.6f} s")
print(f" 📏 Distancia total recorrida: {d1 + d2 + d3:.4f} m")
print(f" 🎯 Error final Barra 1: {e1:.4f} m")
print(f" 🎯 Error final Barra 2: {e2:.4f} m")
print(f" 🎯 Error final Barra 3: {e3:.4f} m")

print("\n 📊 MÉTRICAS DE PICK AND PLACE CON INTERPOLACIÓN LINEAL")
sim.simxFinish(clientID)
```

Figura 6.34 Código para pruebas de trayectoria de algoritmo A

En la Figura 6.35 se observa la función y descripción de cada uno de bloques del código de prueba del algoritmo A.

Bloque	Función	Descripción
	Importación y parámetros	Se importan las librerías necesarias y se definen constantes.
	Algoritmo A y funciones auxiliares	Se define la heurística, la función `a_star` y `suavizar_ruta`.
	Funciones de movimiento del robot	Funciones para mover el brazo, agarrar y colocar objetos.
	Función de ejecución Pick and Place	Ejecuta la lógica completa del Pick and Place usando A*.
	Conexión a CoppeliaSim	Se define `conectar_coppelia` para la conexión al simulador.
	Llamada al algoritmo para múltiples barras	Se ejecuta Pick and Place para tres barras distintas.
	Métricas de desempeño	Se calcula tiempo, costo, distancia y errores.

Figura 6.35 Función y descripción del código del algoritmo de trayectoria A⁴

⁴Imagen generada con asistencia de napkin.ia

En la Figura 6.36 se observa el código para pruebas de trayectoria del algoritmo RRT identificado por bloques según su funcionalidad en la ejecución.

```

1 import sim
import time
import numpy as np
import random

Z_ALTURA = 0.4
PAUSA = 0.008
ITERACIONES = 1000
PASO_RRT = 0.05
LIMITE_X = (0.2, 0.6)
LIMITE_Y = (0.2, 0.8)

2 class Nodo:
    def __init__(self, punto, padre=None):
        self.punto = punto
        self.padre = padre

    def distancia(a, b):
        return np.linalg.norm(np.array(a) - np.array(b))

3 def punto_aleatorio(objetivo=None, bias=0.1):
    if random.random() < bias and objetivo is not None:
        return objetivo
    return [random.uniform(*LIMITE_X), random.uniform(*LIMITE_Y)]

def punto_mas_cercano(lista_nodos, punto):
    return min(lista_nodos, key=lambda nodo: distancia(nodo.punto, punto))

def expandir(nodo, punto_objetivo, paso=PASO_RRT):
    direccion = np.array(punto_objetivo) - np.array(nodo.punto)
    longitud = np.linalg.norm(direccion)
    if longitud == 0:
        return nodo.punto
    direccion = direccion / longitud
    nuevo_punto = np.array(nodo.punto) + paso * direccion
    return nuevo_punto.tolist()

4 def rrt(inicio, objetivo):
    raiz = Nodo(inicio)
    lista_nodos = [raiz]
    for _ in range(ITERACIONES):
        aleatorio = punto_aleatorio(objetivo)
        cercano = punto_mas_cercano(lista_nodos, aleatorio)
        nuevo = expandir(cercano, aleatorio)
        nuevo_nodo = Nodo(nuevo, cercano)
        lista_nodos.append(nuevo_nodo)
        if distancia(nuevo, objetivo) < PASO_RRT:
            final = Nodo(objetivo, nuevo_nodo)
            return reconstruir_camino(final)
    return []

def reconstruir_camino(nodo):
    camino = []
    while nodo is not None:
        camino.append(nodo.punto)
        nodo = nodo.padre
    return camino[::-1]

5 def suavizar_ruta(ruta, factor=5):

6 def mover(clientID, target, ruta_2d, z=Z_ALTURA):
def bajar_y_agarrar(clientID, target, barra_handle, pos_barra):
def soltar_en_lugar(clientID, target, barra_handle, pos_final):

7 def conectar():
clientID = conectar()

8 print("📄 Planificando con RRT para Barra1...")
ruta1 = rrt(pos_ini[2], pos_barra[2])
ruta2 = rrt(pos_barra[2], pos_place[2])
ruta1 = suavizar_ruta(ruta1, 5)
ruta2 = suavizar_ruta(ruta2, 5)

9 d1 = mover(clientID, target, ruta1)
bajar_y_agarrar(clientID, target, barra_handle, pos_barra)
d2 = mover(clientID, target, ruta2)
soltar_en_lugar(clientID, target, barra_handle, pos_place)

10 error = distancia(pos_final_barra, pos_place)

print("\n📄 MÉTRICAS - RRT para Barra1")
print(f"🕒 Tiempo total: {time.time() - t0:3f} s")
print(f"📏 Distancia recorrida: {d1 + d2:4f} m")
print(f"🎯 Error final: {error:4f} m")
sim.simxFinish(clientID)

```

Figura 6.36 Código para pruebas de trayectoria del algoritmo RRT

En la Figura 6.37 se visualiza la referencia de cada bloque de ejecución del código RRT para entender su funcionalidad en las pruebas de control.

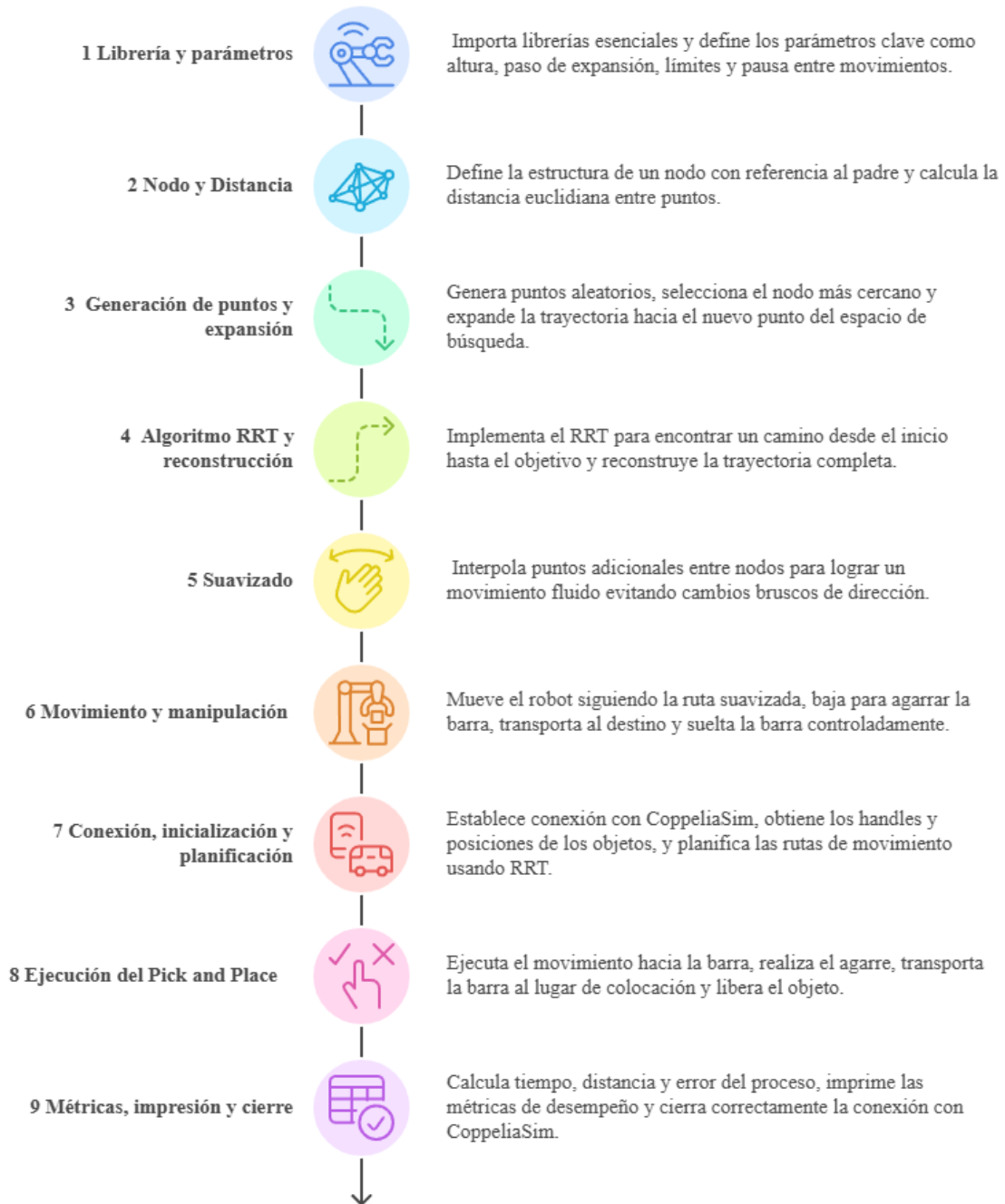


Figura 6.37 Función y descripción del código del algoritmo de trayectoria RRT⁵

Con las pruebas realizadas de los 3 algoritmos en CoppeliaSim se obtuvieron métricas claras de los 3 algoritmos para determinar cuál es el que mejor se adapta y nos genera el mejor tiempo

⁵ Imagen generada con asistencia de napking.ai

para poder modelarlo en el proceso con el software de Flexim, como se observa en la Tabla 6.19

Tabla 6.19 Parámetros evaluados en CoppeliaSim

Algoritmos	RRT	A*	INTERPOLACION LINEAL
Tiempo total	2.604	6.234	12.898
Distancia recorrida	1.712	2.500	2.730
Error final	0.0050	0.0850	0.0850

Después de hacer las pruebas con los 3 algoritmos, se obtuvieron los datos presentados en la Tabla 6.19 lo que da como resultados que el mejor algoritmo de trayectoria a usar es el RRT, lo cual garantiza que el tiempo estándar del robot en el puesto de trabajo será de 2.6 segundos además se observa que el error de posicionamiento final es menor que los otros 3 por lo cual es recomendable utilizar este algoritmo; al compararlo con el tiempo estándar del operario 1 que es de 3,4 segundos lo que significa una mejora de 0,8 segundos para esta actividad.

6.3.3. Modelado FlexSim

Primero se procede a modelar la escena observada en la planta con el diagnóstico principal que se hizo en el objetivo 2, con todos los elementos que nos ofrece el programa para obtener una simulación funcional representando la planta. En la Figura 6.38 se muestra la escena principal del diagnóstico inicial de la planta.

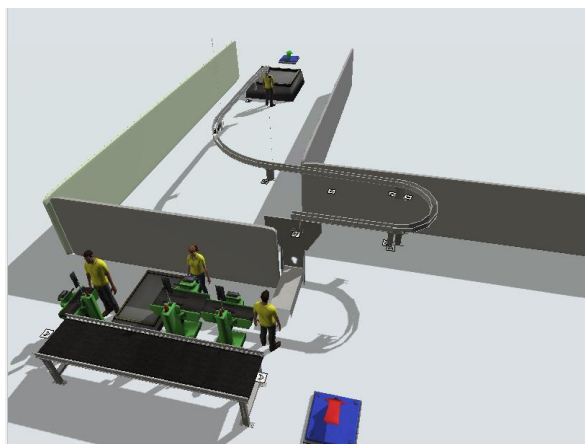


Figura 6.38. Escena principal del área de empaquetado

También se procede al montaje de la escena propuesta en FlexSim donde se hizo la incorporación del robot en el puesto de trabajo como muestra la Figura 6.39.

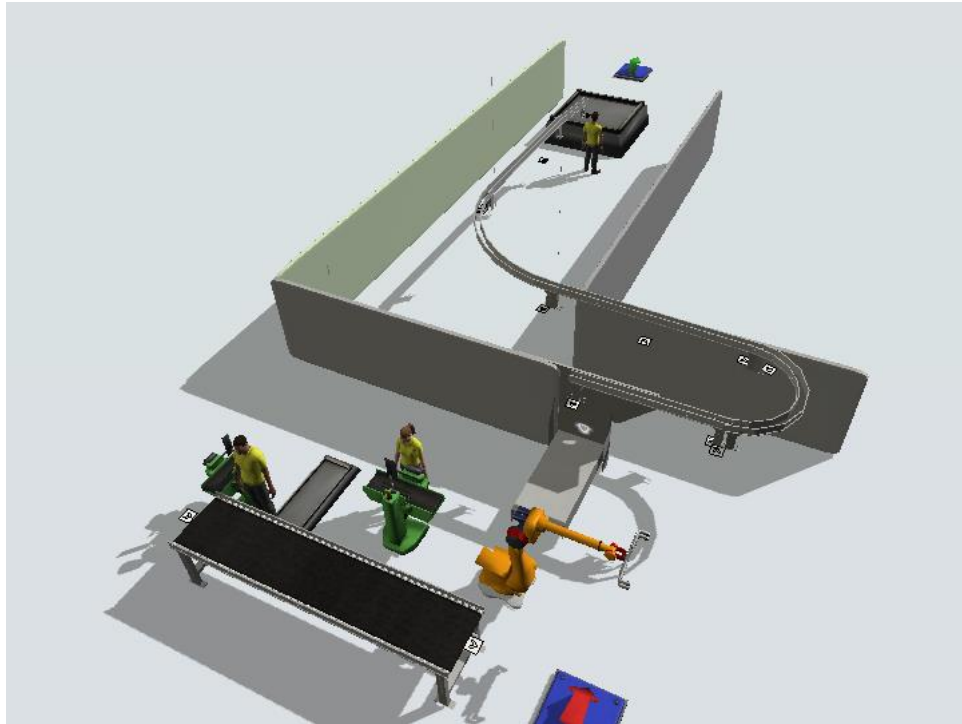


Figura 6.39 Escena propuesta incorporación de bot

6.3.3.1. Los elementos que componen la escena son los siguientes:

Source (Generador de productos o unidades): es el elemento encargado de generar las unidades en el sistema productivo en este caso emulando a los pollos, la Figura 6.40. muestra el source.

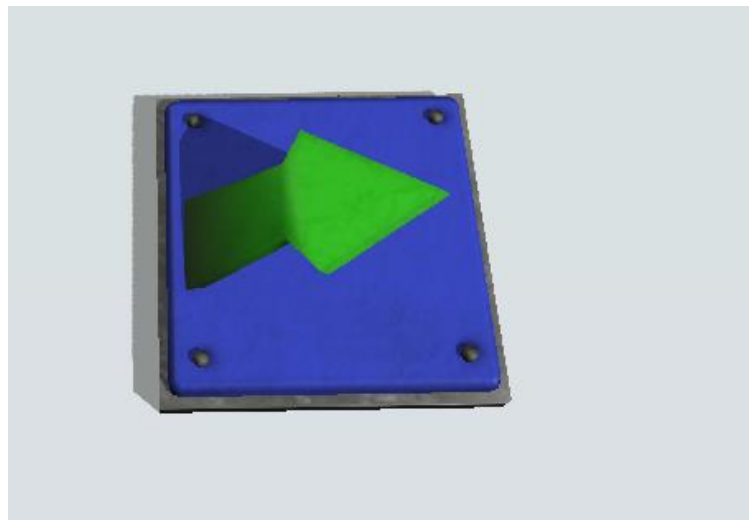


Figura 6.40 Source (Generador de “Pollos”)

Queue (Zona de espera): en las escenas están dispuestas 3 zonas de espera según lo observado en la planta, está representada por la Figura 6.41.

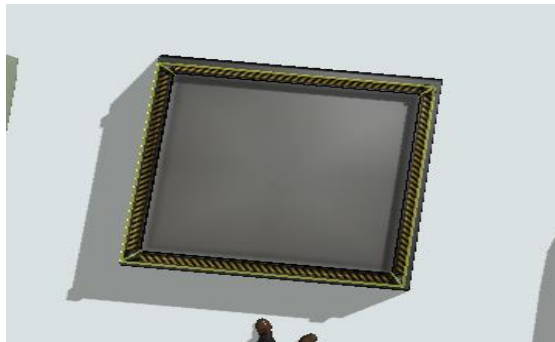


Figura 6.41 Zona de espera 1 (Clasificación de pollos)

La Figura 6.42. muestra una segunda zona de espera, estas zonas se les pueda cambiar su imagen acorde a la escena.

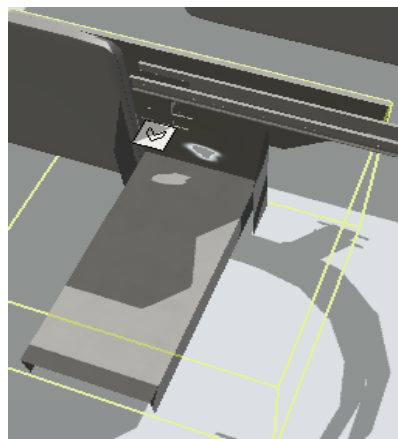


Figura 6.42 Zona de espera 2 (Recoger el pollo)

En la Figura 6.43 se muestra una tercera zona la cual se genera en la planta debido a que del área de enfundado empiezan a generarse las unidades para ser selladas y comienzan acumularse en esa área.

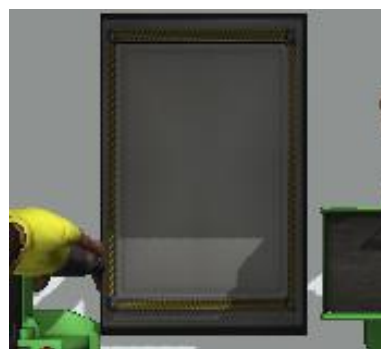


Figura 6.43 Zona de espera 3 (Sellado)

Coveyor (transportador de unidades): en la escena están dispuestos dos conveyor los cuales simulan las bandas transportadoras encargadas de llevar las unidades de un punto a otro, en la escena está una dispuesta de forma aérea la cual lleva a los pollos para ser escurridos como muestra la Figura 6.44.



Figura 6.44 Coveyor (Carril escurridor)

La Figura 6.45 muestra un conveyor de disposición final donde los pollos llegan a una bandeja final la cual se dispone para almacenaje final.



Figura 6.45Conveyor (Clasificación para almacenar)

Operador (simula el trabajo humano): representa el trabajador en la escena, en la escena tiene tareas asignadas como cargas o descargas, trasladar objetos, como lo muestra la Figura 6.46.

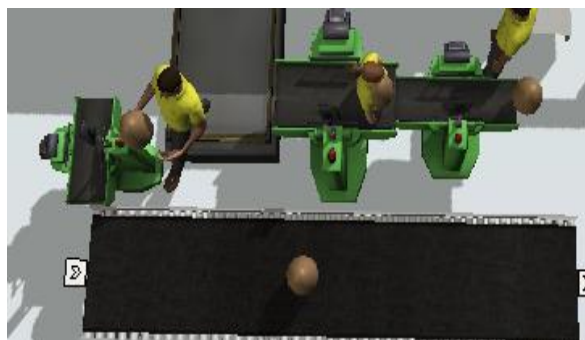


Figura 6.46 Operadores

En la escena propuesta se dispone de los robots que hacen el trabajo de un operador como se muestra en la Figura 6.47, este brazo a la vez tienes características similares al UR5 empezado por la disposición de sus 6 grados de movilidad, razón por la cual se pudo trabajar en CoppeliaSim, para obtener los tiempos de movimiento del robot.

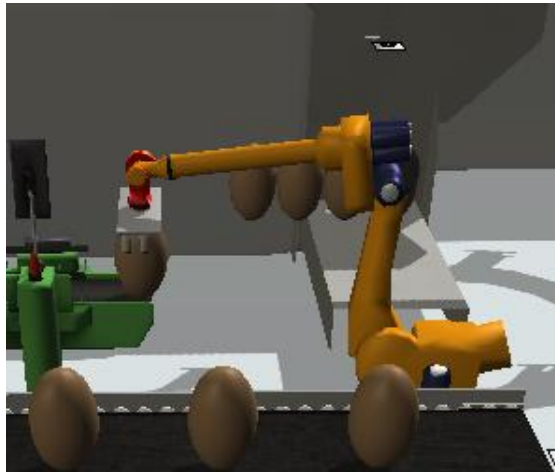


Figura 6.47 Robot simulando puesta del operario

Processor (máquinas que transforman el producto): en la escena están identificados 3 máquinas los cuales simulan el área de empaquetado, uno simulando por donde pasa el pollo, otro simulando el enfundado y por el ultimo el que sella todos simulados según la Figura 6.48.

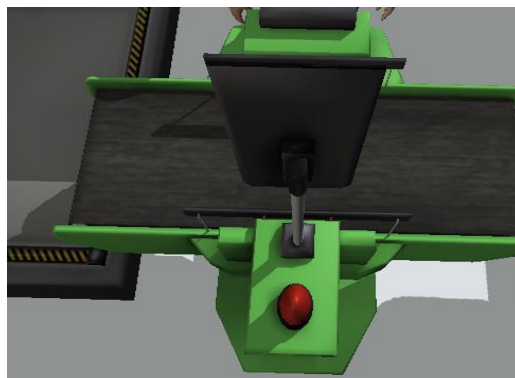


Figura 6.48 Processor (simulador de actividades)

Después de colocar los elementos en las escenas, se procede a tratar los datos obtenidos en el estudio de tiempos; estos datos nos permitieron hacer lo que se conoce como prueba de bondad de ajuste; que es una herramienta estadística que permite determinar si un conjunto de datos se ajusta a una distribución teórica específica. Para la simulación permite validar los datos obtenidos lo que ayuda a crear modelos de simulación confiables. En la Figura 6.49 se observan los tipos de distribución a los cuales los tiempos del operario 2 se ajustan más. Para hacer estos

modelos de trabajo se hace con un programa que facilita la misma interfaz de FlexSim que se llama Experfit.

Relative Evaluation of Candidate Models			
Model	Relative Score	Parameters	
1 - Beta	98.39	Lower endpoint	2.19046
		Upper endpoint	2.86024
		Shape #1	3.83858
		Shape #2	3.29025
2 - Johnson SB	91.94	Lower endpoint	2.03444
		Upper endpoint	2.95634
		Shape #1	-0.46925
		Shape #2	1.80476
3 - Weibull(E)	89.52	Location	2.08797
		Scale	0.50831
		Shape	4.41965

32 models are defined with scores between 4.84 and 98.39

Absolute Evaluation of Model 1 - Beta

Evaluation: Good
 Suggestion: Additional evaluations using Comparisons Tab might be informative.
 See Help for more information.

Additional Information about Model 1 - Beta

"Error" in the model mean
 relative to the sample mean -4.3925e-4 = 0.02%

Figura 6.49 Modelos estadísticos usando Experfit

Experfit crea modelos ajustados a tendencias teóricas, y también permite hacer comparaciones con otros modelos dentro de la misma interfaz como se observa en la Figura 6.49., lo que permite que no solo se seleccione el modelo más ajustado, sino que también se puede elegir otra tendencia ajustada que también ayudaría a que el modelo sea confiable, pero en este caso no tan preciso. Como se muestra en la Figura 6.50 hay 3 tipos de modelos que se ajustan a los datos entregados al Experfit, el cual permite comparar entre modelos estadísticos de patrones como el Beta, Jhonson SB y Wiebull.

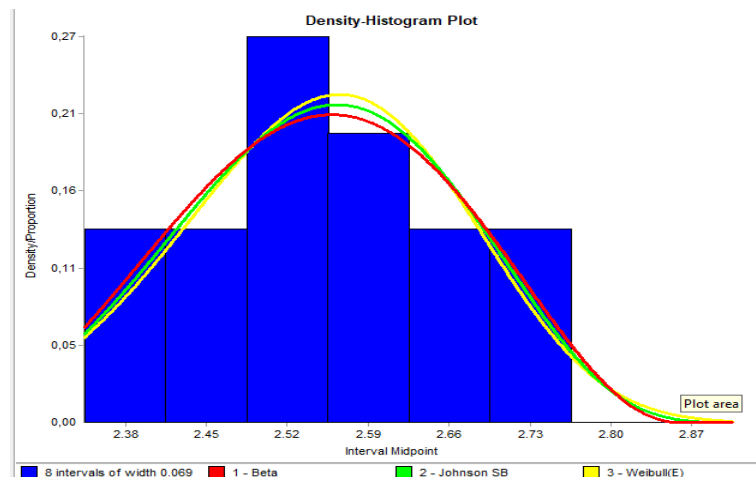


Figura 6.50 Comparación de modelos estadísticos con Experfit

Al obtener los modelos estadísticos con los que se trabajó en FlexSim se procede a colocar estos datos en el modelo para poder iniciar y obtener las estadísticas que se muestra en la Figura 6.51.

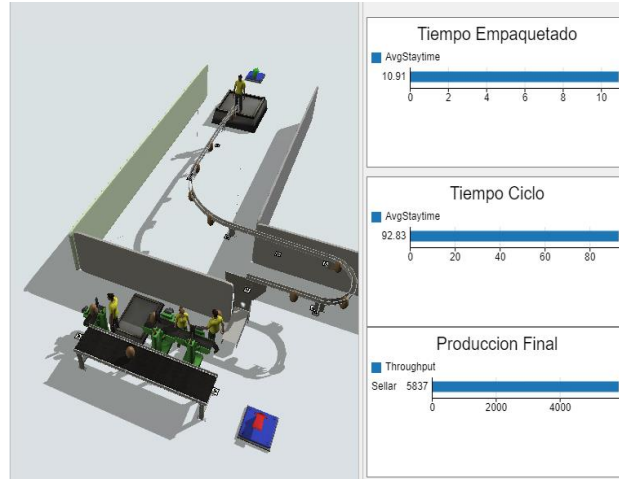


Figura 6.51 Estadísticas para escena principal.

En la Figura 6.52 se observa la escena propuesta con la inclusión del robot y las respectivas estadísticas después de correr la escena.

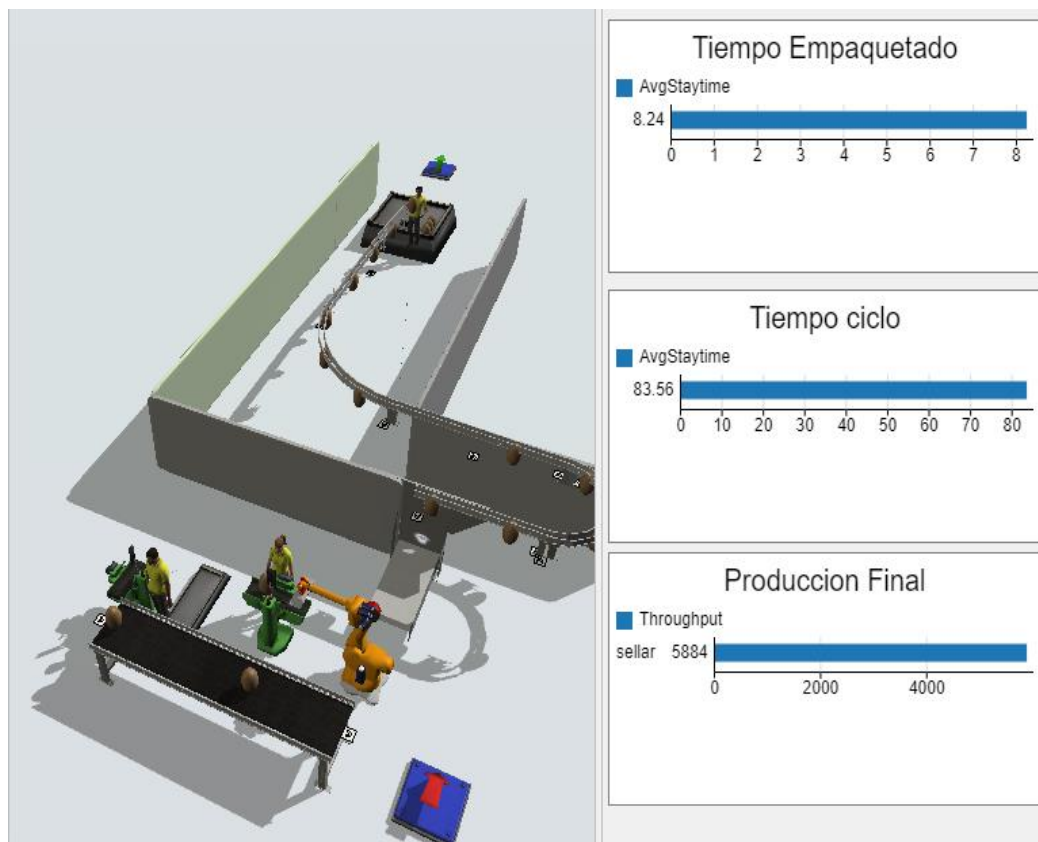


Figura 6.52 Estadísticas para escena propuesta

Al comparar el tiempo hecho con el análisis de estudio de tiempos que era 10,10 s, con el tiempo de la escena principal modelada da un tiempo promedio de 10,91 s para el empaquetado, lo que quiere decir que el modelo ofrece un 92,57 % de confiabilidad respecto a la realidad lo cual es bueno para obtener otros valores. A su vez en cada faena entran 10000 pollos para el proceso completo de los cuales aproximadamente el 60% son los que llegan al área de empaque, la escena modelada da una producción final de 5837 pollos lo que también representa aproximadamente el 60% de los pollos que llegan al empaque.

En la Figura 6.53 se visualiza el tiempo que dura la actividad de empaquetado desde que se recoge el pollo hasta que pasa por el sellador, como se observa el tiempo de la escena propuesta (B) es menor que la escena (A), lo que hace que el sistema tenga una mejora en su línea de empaquetado.

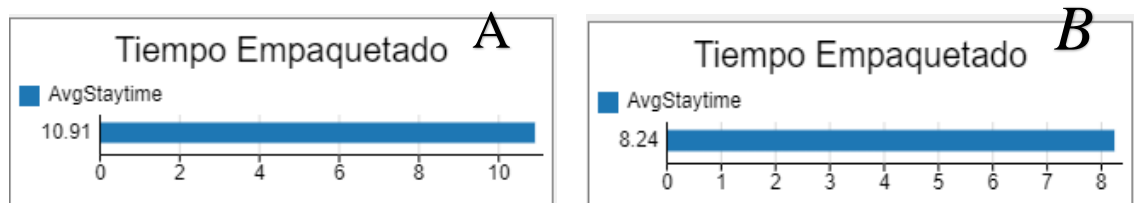


Figura 6.53 Comparación de tiempos entre escenas

En la Figura 6.54., para una corrida de los dos sistemas se observa una diferencia de 47 pollos procesados en la jornada, lo cual también implica un incremento en la productividad en cada faena.

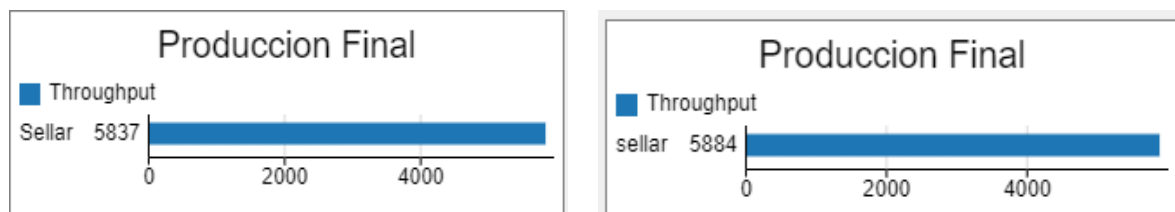


Figura 6.54Valores de la producción final escenas modeladas

Los valores que se reflejan en las Figura 6.55., son valores que representan un día de faena, FlexSim con su propiedad de Exprimenter nos permite visualizar con más detalles el funcionamiento de la simulación, para este estudio el programa se hizo 30 pruebas, dando como resultados las siguientes gráficas.

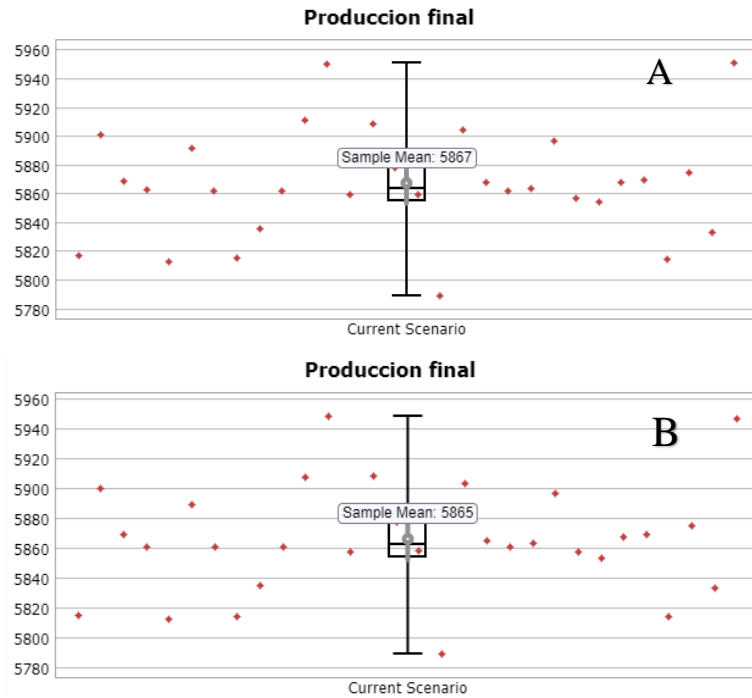
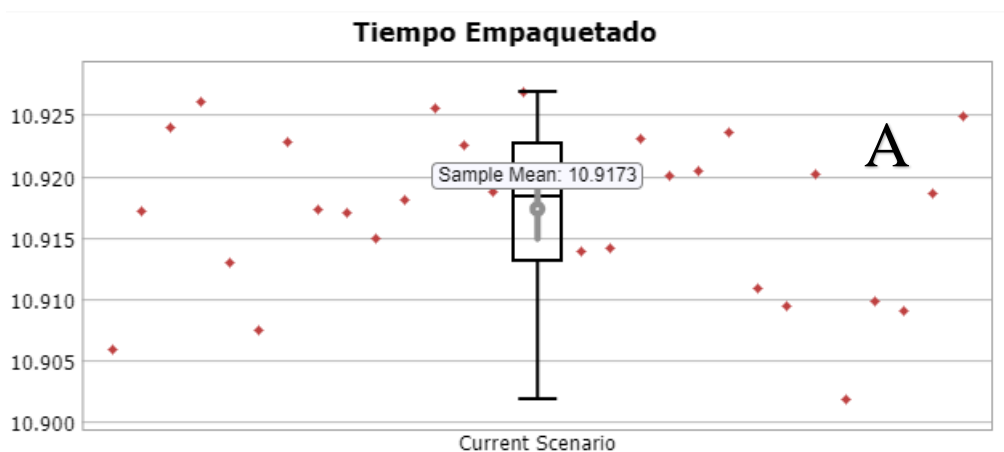


Figura 6.55 Comparación de la producción final para 30 pruebas

En las gráficas de caja se observan las medias de cada una de las escenas, se considera que estas simulaciones a medida que se hacen más pruebas difieren en dos unidades de incremento según lo que se obtuvo en las pruebas totales realizadas; en concordancia con los datos de la prueba 1 hay un incremento en la productividad.

De igual forma validando el modelo se obtuvo los siguientes gráficos para los tiempos de la actividad de empaquetados, representados en la Figura 6.56.



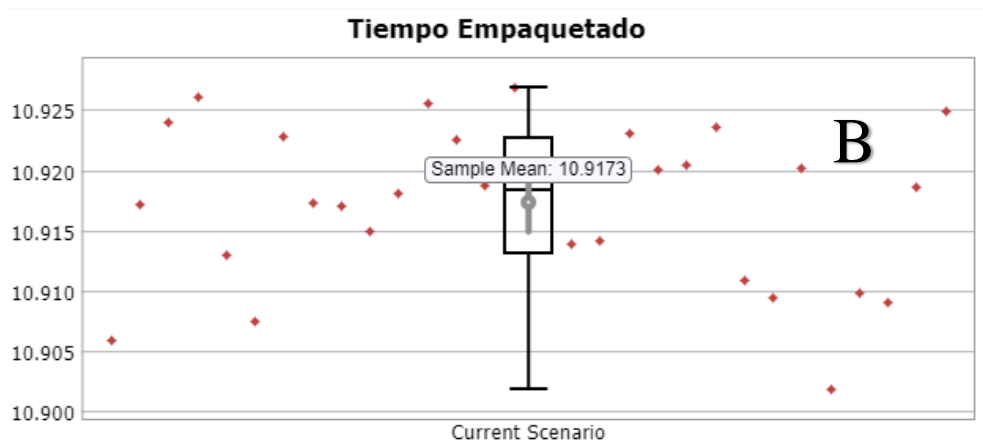


Figura 6.56. Comparación de tiempos para 30 pruebas

Con los dos escenarios se observa que el tiempo de empaquetado mejora en un 75% con la propuesta, lo cual proporciona un resultado positivo para determinar que el escenario propuesto con el robot puede ayudar a incrementar la producción de la línea teniendo en cuenta los parámetros considerados en el estudio.

En la Figura 6.57. se presenta el cuadro comparativo de los dos escenarios donde se observa un incremento en la producción y un tiempo menor en la actividad de empaquetado.

Performance Measures		6
Name	Value	
Produccion final	5836	A
Ocupacion op1	52.23	
Ocupación op2	47.86	
Ocupacion op3	47.85	
Tiempo Empaquetado	10.91	
Tiempo Cido	92.83	

Performance Measures		6
Name	Value	
Produccion final	5882	B
Ocupación Op1	48.29	
Ocupacion bot	63.67	
Ocupacion Op2	48.23	
Tiempo Emapaquetado	8.24	
Tiempo cido	83.56	

Figura 6.57. Comparación de parámetros

Con estos datos referentes se puede determinar que la implementación del cobot en la línea de trabajo tiene una mejora en el tiempo de ciclo desde que entra el pollo en la zona de escurrido hasta que sale de la banda transportadora tiene una mejora de aproximadamente 10% respecto a línea operativa del proceso, adicional el tiempo de empaquetado disminuye 2,67 segundos lo que resulta en una reducción del 24,48% reflejando una optimización del tiempo y la producción final incrementa en 46 unidades respecto a la escena principal lo que equivale a un aumento del 0,79%. A pesar de tener un incremento modesto en la producción, la disminución

de los tiempos en las líneas de producción sugiere una mejora integral del proceso, lo que se traduce en un impacto positivo con la propuesta realizada.

6.3.4. Retorno sobre la inversión.

En esta parte del estudio se presenta el análisis del retorno sobre la inversión (ROI) que implica la integración de un cobot en el puesto de trabajo de una industria avícola. Se trata de evaluar la viabilidad económica al sustituir la mano de obra directa por la automatización, donde se considera los costos iniciales de inversión contra los beneficios que implican anualmente los operarios al eliminar el costo laboral asociado.

6.3.4.1. Inversión

La Tabla 6.20 muestra los costos asociados que implica adquirir un cobot.

Tabla 6.20 Desglose de inversión

Concepto	Costo Estimado (USD)
Costo del robot colaborativo	\$22000
Costoso de importación	\$4926,69
Capacitación del personal técnico	\$800
Mantenimiento programado inicial	\$400
Total	\$28126,69
IVA	\$3375,20
Total inversión	\$31501,89

6.3.4.2. Costos anuales del Operario

El costo anual generado por el operario no incluye solo el sueldo base, también incluye otros beneficios de ley, así como los aportes patronales y la generación de horas suplementarias y extras con costos de \$1,67 y \$3,36 respectivamente, las cuales tienen una recarga del 40% de los 20 días trabajados; es decir 8 días se generan estas

horas en una proporción de 70% suplementarias y 30% extras. En la

Tabla 6.21 se observa el desglose del costo laboral anual.

Tabla 6.21 Costos generados por Operario.

Detalle	Valor mensual (USD)	Factor anual	Costo anual (USD)
Sueldo base	\$460	x12	\$5520
13.º y 14.º sueldo	Incluidos	-	\$920
Aporte patronal IESS (12.15%)	-	-	\$670
Vacaciones	-	-	\$390
Horas extras 30% recargo	11,2	x12	\$224,45
Horas suplementarias 70% recargo	4,8	x12	\$193,54
Costo anual estimado			\$7917,99

6.3.4.3. Cálculo del ROI

El retorno a la inversión se calcula con la siguiente ecuación (6.5) .

$$ROI = \frac{BN - I}{I} \quad (6.5)$$

Donde:

ROI = retorno a la inversión

BN = beneficio neto

I = Inversión

En la

Tabla 6.22 se observa el cálculo del ROI acumulado anual.

Tabla 6.22 ROI

Año	Beneficio acumulado neto	ROI
1	\$ 7917,98	-69,55%
2	\$ 15835,97	-39,09%
3	\$ 23753,95	-8,64%
3.71	\$ 29375,72	12,98
4	\$ 31671,94	21,82%
5	\$ 39589,92	52,27%

El retorno de inversión proyectado según la Figura 6.58 donde está el punto de equilibrio es para el año 3 con 7 meses aproximadamente. Lo que indica que para los 3 años y 7 meses por cada \$ 1 invertido la empresa recuperar \$ 1 más 13 centavos de dólar de ganancia.

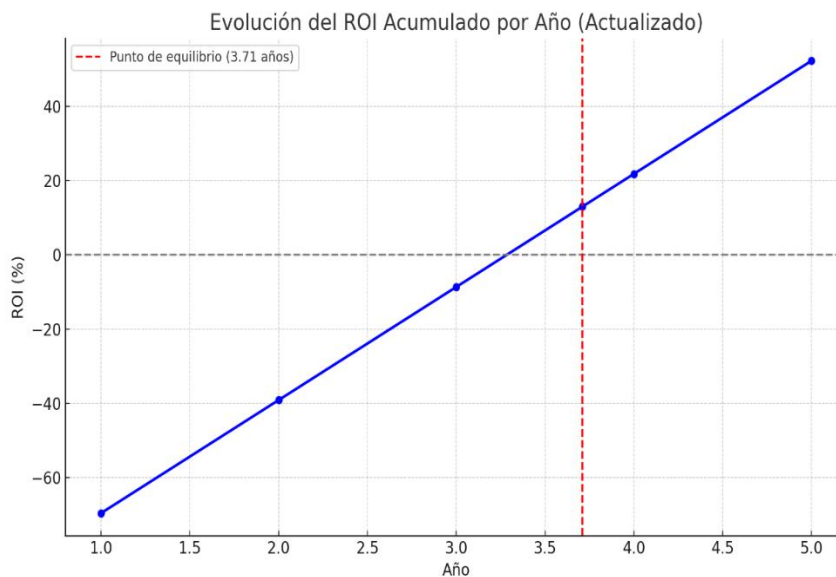


Figura 6.58 Evolución del ROI acumulado por año

6.3.4.4. Beneficios no cuantificables

Aumento de la eficiencia: tener un cobot en planta permite trabajar de forma continua sin paros.

Escalabilidad: el cobot podría integrarse en otros procesos.

Seguridad laboral: se evita la exposición de personas a tareas repetitivas que puedan causar enfermedades laborales.

6.3.4.5. Impactos y limitaciones del estudio

- Entre los impactos positivos generados por la inclusión del robot colaborativo en el puesto de trabajo, se obtuvo resultados principales la reducción del tiempo en el la actividad desde que el pollo se recoge de la bandeja hasta el sellado en un 24,28%, lo que representa una mejora en la etapa final del empaque.
- Se observo una mejora en la línea general desde el escurrido hasta la salida del empaque, un 10% de mejora en el tiempo que se entiende como una mayor fluidez del proceso. La producción final, aunque no tuvo un incremento alto se obtuvo una ligera mejora de 0,79%, es un efecto positivo respecto a la capacidad productiva.
- El retorno a la inversión ofrece un panorama positivo de retorno a los 3 años 7 meses dando como resultado un ROI estimado del 12,98 %, lo que sugiere que económicamente es viable.
- La simulación como herramienta de análisis permitió hacer cálculos de productividad en la línea d empaquetado, ahorrando costos de pruebas y ensayos en el proceso, las licencias de los programas a pesar de ser limitadas son gratuitas, lo que ayudó al estudio.
- Entra las limitaciones del estudio se observó que a pesar que hay tutoriales en la web de CoppeliaSim, no tienen mucha información respecto a lo que es CoppeliSim educativo, lo cual influyo en el tiempo de preparación del estudio del movimiento del robot.
- Conocer más las normas de calidad a nivel a de la industria avícola, lo que permitirá generar otro tipo de información a nivel de costos e instalación del equipo, así como el manejo a profundidad de las Normas ISO 10218 y la ISO 15066, ya que a nivel de instalación puede implicar otros tipos de costos para la empresa.

7. CONCLUSIONES

- El estudio permitió evaluar el impacto que sugiere la integración e un robot colaborativo en un puesto de trabajo en la industria avícola, permitiendo evaluar de forma técnica y económica si es viable su inclusión en el proceso de empaquetado. En conjunto con el análisis de estudios de tiempos y herramientas de simulación, fue posible comparar los

dos escenarios antes y después de la incorporación del robot, observando una mejora a nivel productivo y tiempo de ciclo en el área de empaque. El ROI proyectado a 5 años refleja una ganancia para aproximadamente el 4 años después de la automatización del proceso, estos resultados muestran un impacto positivo en la automatización del proceso en la industria avícola.

- A través de la revisión bibliográfica se puede comprender como la robótica colaborativa se ha consolidado como una tecnología habilitadora de la industria 4.0, en los tiempos actuales demostrando la posibilidad y facilidad para adaptarse a los puestos de trabajo en conjunto con las personas. La aplicabilidad que tienen en el sector industrial es muy variada, especialmente en tareas repetitivas, de manipulación o ensamblaje. Para el sector avícola los cobots representan una buena solución por su adaptabilidad al entorno, continuidad operativa, higiene y precisión para realizar las actividades.
- El diagnóstico realizado por observación y análisis en la planta, mostro cuellos de botella en actividades y exceso de operarios en distintas áreas pese a las diferentes actividades que se observaron durante el proceso; lo que permitió hacer el estudio y análisis de un puesto de trabajo dirigido a la sección de empaque donde los operarios hacen tareas de carga y descarga repetitivamente, lo que genera variabilidad del proceso y exposición de los trabajadores a fatigas, para la empresa generan pausas o paros en el proceso pese que la actividad es de jornada continua, el diagnóstico dio como resultado que la actividad es dependiente de la mano de obra directa, lo que incurre en extensión de jornadas lo que hace que aumenten los costos operativos debido a horas extras y suplementarias. Estos resultados hacen que la empresa busque alternativas tecnológicas que optimicen la operación de su línea de trabajo.
- El estudio de análisis de tiempos y herramientas de simulación como CoppeliaSim y FlexSim, permitieron modelar, simular y cuantificar de forma económica cual es el impacto de incorporar un cobot en una de sus líneas del proceso productivo de faenamiento. La simulación demostró que incluir un robot colaborativo permite reducir el tiempo de la actividad (empaquetado) y un aumento en la cantidad de pollos procesados al día.

8. RECOMENDACIONES

- Se considera que se debe incluir un análisis adicional de seguridad laboral, ergonomía, calidad del producto y bienestar animal.

- Los próximos estudios pueden explorar cómo integrar los cobots con sistema de monitoreo inteligente (IoT) para tomar decisiones en tiempo real y la mejora continua.
- Adquirir licencias que permita trabajar de forma más fluida con los softwares de simulación.
- Hacer un estudio más profundo en toda la línea de producción de la faenadora, para conseguir posibles mejoras que permita tener mayor fluidez en el proceso de empaquetado.

9. REFERENCIAS

- [1] F. Braña, «Cuarta revolución industrial, automatización y digitalización: una visión desde la periferia de la Unión Europea en tiempos de pandemia,» 2020. [En línea]. Available: <https://docta.ucm.es/entities/publication/cb322587-9045-4c8b-a3e9-b55b7e03f57e>.
- [2] J. Ruiz, «Diseño e implementación de un espacio de trabajo para el robot colaborativo UR3,» Junio 2023. [En línea]. Available: <https://repositorio.ual.es/handle/10835/19517>.
- [3] J. Chimbo y R. Shigui, «Implementación de un módulo para la automatización de procesos industriales para el laboratorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná,» Agosto 2023. [En línea]. Available: <https://repositorio.utc.edu.ec/items/b6a017fa-ac0b-4efc-904d-5863eb78bac3>.
- [4] F. Tseeva, M. Shogenova, K. Senov y K. Liana, «Comparative Analysis of Two Simulation Environments for Robots, Gazebo, and CoppeliaSim in the Context of Their Use for Teaching Students a Course in Robotic Systems Modeling,» *IEEE*, vol. 8, pp. 23-27, 2024.
- [5] G. Barona y L. Efraín, «Automatización de procesos industriales mediante Industria 4.0,» *AlfaPublicaciones*, vol. 3, n° 3.1, pp. 98-115, 2021.
- [6] C. Chaverra, «Propuesta de automatización del proceso de recepción y descargue de aves en una planta de beneficio en la ciudad de Buga departamento del Valle del Cauca,» 2020. [En línea]. Available: <https://repositorio.uceva.edu.co/handle/20.500.12993/2719>.
- [7] Y. Vargas y N. Ayala, «Influencia de la inteligencia artificial RPA en los procesos contables de las organizaciones del sector avícola en el área metropolitana de Bucaramanga (2020-2023),» 2024. [En línea]. Available: <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/15497>.

- [8] S. Suárez, P. Ayala, M. Garcia y L. Freire, «Arquitectura RAMI 4.0 para Robots Colaborativos en Entornos Industriales,» *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, nº E73, pp. 401-416, 2024.
- [9] B. Bogaerts, S. Sels, S. Vanlanduit y R. Penne, «Connecting the CoppeliaSim robotics simulator to virtual reality,» *SoftwareX*, vol. 11, p. e100426, 2020.
- [10] G. Shaji, «Humanoid Robots as Poultry Partners: Enhancing Welfare Through Collaboration on the Farm,» *Partners Universal International Research Journal*, vol. 3, nº 1, pp. 183-199, 2024.
- [11] R. Olivero, «El área demostrativa de San Ramón y su influencia en la transición a la avicultura industrial uruguaya,» *Estudios Rurales*, vol. 10, nº 20, 2020.
- [12] E. Zúñiga, «Diseño e implementación de un sistema de rehabilitación para tren superior utilizando un robot colaborativo UR3,» 14 Septiembre 2022. [En línea]. Available: <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/126918>.
- [13] N. Brito, «Diseño y simulación de un sistema automatizado para la navegación y almacenamiento eficiente de paquetes en centros logísticos utilizando el Robot Colaborativo UR10e en conjunto con un Robot Móvil y la integración de visión artificial y marcadores ArUco m,» Septiembre 2023. [En línea]. Available: <https://dspace.umh.es/handle/11000/33083>.
- [14] U. Ozenturk, Z. Chen, L. Jamone y E. Versace, «Robotics for poultry farming: challenges and opportunities,» *Robotics*, vol. 23, pp. 1-50, 2023.
- [15] M. Asad, I. Akhtar, U. Rauf y S. Hafeez, «Smart Sensors and Robotics in Poultry Farming; Transforming Operational Efficiency A Review,» *Scholars Journal of Agriculture and Veterinary Sciences*, vol. 11, nº 7, pp. 133-145, 2024.
- [16] M. Elango, A. Harini, R. Soundar y P. Suroopa, «AI-Based Digital Disease Recognition Using Collaborative Conveyor Machine for Poultry Farming,» *IEEE*, vol. 9, pp. 1-20, 2024.
- [17] Y. Zhang, W. Sun, J. Yang y W. Wu, «An Approach for Autonomous Feeding Robot Path Planning in Poultry Smart Farm,» *Animals*, vol. 12, p. e3089, 2022.

- [18] K. Ahlin, «The Robotic Workbench and poultry processing 2.0,» *Feature Article*, vol. 12, nº 2, pp. 49-55, 2022.
- [19] Q. Quan, T. Palaoag y H. Sun, «Research and Design of Intelligent Inspection Robot for Large-Scale Chicken Farms,» *IEEE*, vol. 14, pp. 1-18, 2024.
- [20] A. Keshvarparast, N. Berti, S. Chand y M. Guidolin, «Ergonomic design of Human-Robot collaborative workstation in the Era of Industry 5.0,» *Computers & Industrial Engineering*, vol. 198, p. e110729, 2024.
- [21] R. Soares y A. Ricco, «ROBÓTICA COLABORATIVA NA INDÚSTRIA 4.0, SUA IMPORTÂNCIA E DESAFIO,» *Revista Interface Tecnológica*, vol. 18, nº 2, p. 747–759, 2021.
- [22] R. González, «Propuesta de aplicación de robótica colaborativa para reducir costos en una empresa de vidrio automotriz,» Enero 2020. [En línea]. Available: <https://repositorio.tec.mx/server/api/core/bitstreams/c36ee000-aa00-4b61-b517-e0df7bcf5502/content>.
- [23] C. Cruz, J. Cerro y A. Barrientos, «Robótica colaborativa de búsqueda y rescate, una clasificación basada en interacción física,» *XLIII Jornadas de Automática: libro de actas*, vol. 12, pp. 679-686, 2022.
- [24] M. Molpeceres, «Simulación Robótica Colaborativa con ROS,» 2020. [En línea]. Available: <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/41143>.
- [25] C. Sampedro, S. Machuca, D. Palma y E. Villalta, «Automatizar procesos de producción repetitivos en las PYMES con robots colaborativos,» *Revista Universidad y Sociedad*, vol. 14, nº 2, pp. 220-227, 2022.
- [26] J. Contell, «Diseño de una fábrica de supercondensadores y baterías de supercondensadores y estudio preliminar para la implantación de robots colaborativos,» 13 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://riunet.upv.es/entities/publication/65ced21b-b99f-4d49-9d66-41c0612a10f5>.

- [27] M. Amador, J. Magadán, J. Martínez y R. Galicia, «Robots colaborativos para el apoyo de limpieza en piscinas,» *Visión de Caso*, vol. 14, nº 2, 2020.
- [28] A. Colás y P. Huerta, «Automatización de un proceso de fabricación flexible utilizando un robot colaborativo,» 2021. [En línea]. Available: <https://zaguan.unizar.es/record/107512>.
- [29] Á. Pedreros, «Algoritmo de corte y control de fuerza para un proceso de corte de láminas implementado por un robot UR3,» 2020. [En línea]. Available: <https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/a8524b2b-6c36-4b2f-92f6-fbf5628d7204>.
- [30] Á. Muñoz, «Estrategia de control del robot UR3 para entornos de cirugía robotizados,» 2020. [En línea]. Available: <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/42399>.
- [31] B. Merchán y A. Chimbo, «Modelación, control y simulación de un proceso de pintado de partes de carrocerías usando un brazo robótico colaborativo UR3 y tecnologías inmersivas,» 18 Noviembre 2021. [En línea]. Available: <https://dspace.esoch.edu.ec/items/8219a2e1-1fdb-495f-8d6d-4979eeff1dbf>.
- [32] F. Rico, «Simulación y programación de un robot UR5 integrando técnicas de visión artificial,» Septiembre 2023. [En línea]. Available: <https://dspace.umh.es/handle/11000/31616>.
- [33] R. Agulló, «Puesta en marcha de un robot UR5 y pruebas de pick & place y lijado,» 12 Enero 2023. [En línea]. Available: <https://dspace.umh.es/handle/11000/29404>.
- [34] R. Terreros, «Sistema colaborativo de dos robots seriales UR5 para la evasión de obstáculos aplicado en un prototipo de estación de cirugía,» 2025. [En línea]. Available: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UTEC_55b6f5fcb2dca6052c3238973ff0c95f.
- [35] H. Beltrán, «Diseño y construcción de un control inalámbrico para el robot UR10 a través de una IMU de 9DOF y visión de máquina,» 2021. [En línea]. Available: <https://repositorio.ecci.edu.co/entities/publication/dcfdc893-e619-456e-a9bf-96ff45d2b743>.

- [36] J. Torres, M. Beschi y A. Visioli, «Control basado en modelo del robot UR10e,» 22 Octubre 2024. [En línea]. Available: <https://e-spacio.uned.es/entities/publication/51e4b91c-f9f4-4726-b690-1f078a53f2b9>.
- [37] J. Calderón y G. Vargas, «ROBÓTICA COLABORATIVA: LA PROSPECTIVA DE LA ROBÓTICA EN LA TRANSFORMACIÓN DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS,» *Revista Metalnova*, vol. 5, nº 1, p. e5235, 2022.
- [38] G. Fernández, «Aplicación de un robot colaborativo de dos brazos para resolver el cubo de Rubik,» *En XLII Jornadas de Automática: libro de actas. Castelló*, vol. 12, pp. 611-616, 2021.
- [39] M. Mazabanda, F. Romero y A. Paredes, «Análisis de la integración de la robótica colaborativa en entornos industriales electromecánicos para mejorar la seguridad y la productividad,» *Revista Ingenio Global*, vol. 4, nº 1, pp. 71-87, 2025.
- [40] J. Velázquez, M. Fierro y J. Chávez, «Estandarización del proceso de confección, a través de la ingeniería de métodos, para aumentar la productividad, en una empresa del ramo textil en el estado de Puebla,» *Revista de Ingeniería Industrial*, vol. 4, nº 13, pp. 1-7, 2020.
- [41] N. Chipana y J. Ruiz, «Aplicación de la Ingeniería de Métodos para aumentar la producción de poleras en el área de costura en una empresa textil,» 01 Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24665>.
- [42] L. Córdova, «Aplicación de la ingeniería de métodos para mejorar la productividad de la producción de pegamentos de cerámico de la empresa Yuraq Pacha, Huancayo - 2020,» 22 Diciembre 2021. [En línea]. Available: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10456>.
- [43] E. Saucedo, R. Valenzuela y G. Báez, «Aplicación de ingeniería de métodos para el mejoramiento de operaciones en una empresa manufacturera de equipos de audio,» *Ergonomía, Investigación Y Desarrollo*, vol. 3, nº 1, pp. 105-115, 2021.

- [44] F. Jara, «Propuesta de mejora en gestión de Ingeniería de métodos para incrementar la productividad en la línea de producción de una empresa textil de la ciudad de Trujillo,» 10 Octubre 2020. [En línea]. Available: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24652>.
- [45] E. Martínez, «Entorno para simulación y monitorización de la ejecución de planes de robots aéreos,» 2022. [En línea]. Available: <https://oa.upm.es/71464/>.
- [46] E. Pozas, «Simulación de un Robot Colaborativo YuMi (ABB) en entorno RobotStudio comandado desde MATLAB mediante protocolo OPC UA para tocar un Xilófono,» 2022. [En línea]. Available: <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/54231>.
- [47] J. Aranda, «Simulador de personas como banco de pruebas de algoritmos de navegación para robots móviles,» Septiembre 2023. [En línea]. Available: <https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/36685>.
- [48] N. Balich, F. Balich, T. Ocampo y B. Balich, «Desarrollo de simulador de robótica cloud multipresencia para enseñanza de programación,» 2024. [En línea]. Available: <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/176854>.
- [49] S. Bayona y J. Ballón, «Robot e Inteligencia Artificial,» 2023. [En línea]. Available: <https://repositorio.autonoma.edu.pe/handle/20.500.13067/2942>.
- [50] A. Porcelli, «La inteligencia artificial y la robótica: sus dilemas sociales, éticos y jurídicos,» *Derecho global. Estudios sobre derecho y justicia*, vol. 6, nº 16, pp. 46-105, 2021.
- [51] A. Chávez, «Rediseñando la titularidad de las obras: Inteligencia artificial y robótica,» *Revista chilena de derecho y tecnología*, vol. 9, nº 2, pp. 153-185, 2020.
- [52] J. Quevedo y E. Quevedo, «Árbol de Juegos: Del Algoritmo Minimax con Poda α - β al Algoritmo Montecarlo Tree Search. Fuerza Bruta vs Aleatoriedad,» *Formación del Profesorado e Investigación en Educación Matemática*, vol. 13, pp. 169-203, 2021.

- [53] D. Rodrigues, «Paralelizando um algoritmo de backtracking no navegador com web workers e webAssembly,» 07 Diciembre 2021. [En línea]. Available: <https://dspace.mackenzie.br/items/9fc18c9e-0c54-4f88-ae49-12989765c690>.
- [54] P. Ospina, «Revisión de algoritmos de machine learning y deep learning apropiados para la implementación de visión artificial y movimientos autónomos en un brazo robótico,» 25 Enero 2019. [En línea]. Available: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/48270>.
- [55] R. Velastegui, R. Poler y M. Díaz, «Aplicación de algoritmos de aprendizaje automático a sistemas robóticos multiagente para la programación y control de operaciones productivas y logísticas: una revisión de la literatura reciente,» *DyO*, vol. 80, pp. 60-70 , 2023.
- [56] C. Carreón, S. Vergara, J. González y M. Diozcora, «Red neuronal artificial para la extracción de parámetros dinámicos de robots a partir de información incompleta de su movimie,» 15 Septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/26478>.
- [57] J. Colom, «Control de movimiento para robot cuadrúpedo con técnicas de deep learning,» 17 Octubre 2023. [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/398171>.
- [58] D. Fernández, «Simulador de robots para la asignatura de Software para robots,» 21 Julio 2022. [En línea]. Available: <https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/64148>.
- [59] I. Vázquez, J. López, S. Hernández y M. Ochoa, «Simulador de un Robot de 6GL Usando Labview y Python,» *REVISTA ELECTRO*, vol. 44, pp. 188-193, 2022.
- [60] S. Chakraborty y P. Aithal, «Forward and Inverse Kinematics Demonstration using RoboDK and C#,» *International Journal of Applied Engineering and Management*, vol. 5, nº 1, pp. 97-105, 2021.
- [61] D. Díaz, «Simulación de un entorno industrial mediante la herramienta de trabajo CoppeliaSim (V-Rep),» 28 Octubre 2020. [En línea]. Available: <https://riunet.upv.es/entities/publication/78d6e23b-57d4-4ef9-916d-e30cac2f09c5>.

- [62] M. Marius, F. Sfîngă, M. Terxinius y H. Roibu, «A ROS-based Control Application for a Robotic Platform Using the Gazebo 3D Simulator,» *IEEE*, vol. 27, pp. 1-18, 2020.
- [63] A. Jamal y I. Amine, «Manufacturing Facility Simulation Using Tecnomatix PLM by Siemens,» *7th European Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, vol. 16, pp. 1094-1106, 2024.
- [64] A. Santos, J. Haladus, F. Pereira y C. Felgueiras , «Simulation Case Study for Improving Painting Tires Process Using the Fanuc Roboguide Software,» *Flexible Automation and Intelligent Manufacturing: Establishing Bridges for More Sustainable Manufacturing Systems*, vol. 12, p. 517–524, 2023.
- [65] F. Tejera, D. Aguilera y J. Vílchez, «Lenguajes de programación y desarrollo de competencias clave. Revisión sistemática,» *Revista electrónica de investigación educativa*, vol. 22, pp. 1-16, 2021.
- [66] D. Chan y M. Galli, «Aplicación de técnicas estadísticas multivariadas con el lenguaje de programación R en investigaciones educativas del nivel superior,» *Revista Argentina de Educación Superior: RAES*, n° 20, pp. 123-136, 2020.
- [67] E. Manrique, «Machine Learning: análisis de lenguajes de programación y herramientas para desarrollo,» *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, n° 28, pp. 586-599, 2020.
- [68] M. Sarmiento, «Lenguajes y Entornos de Programación para Fortalecer El Desarrollo de Competencias Concernientes al Pensamiento Computacional,» *Hamut´ay*, vol. 7, n° 3, pp. 86-97, 2020.
- [69] A. Barrera y M. Mantilla, «Caracterización de los lenguajes de programación de alto nivel structured text y sequential function chart, basados en el estándar IEC 61131-3,» 2021. [En línea]. Available: <https://repository.udistrital.edu.co/items/ff3f0b75-d8ec-48ad-850b-33af35f7a6ad>.
- [70] E. Bautista, «Metodologías ágiles XP y Scrum, empleadas para el desarrollo de páginas web, bajo MVC, con lenguaje PHP y framework Laravel,» *Revista Amazonía Digital*, vol. 1, n° 1, p. e168, 2022.

- [71] S. Abdulkareem y A. Abboud, «Evaluating Python, C++, JavaScript and Java Programming Languages Based on Software Complexity Calculator (Halstead Metrics),» *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, p. e1076, 2021.
- [72] S. Logroño, C. López y N. Estrada, «Utilización de lenguajes de programación para generar plataformas informáticas en pro del desarrollo del sector turístico que ayude al Crecimiento Económico,» *Dominio de las Ciencias*, vol. 7, n° 3, pp. 1627-1636, 2021.
- [73] A. Chico, «Integración de un sistema de reconocimiento de gestos de la mano basado en el sensor Myo Armband con el simulador de robots Coppeliassim para el control de un manipulador virtual de 6 grados de libertad,» 16 Marzo 2022. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22259>.
- [74] A. Tipanguano, «Estudio, control e implementación de sistemas robóticos avanzados: aplicación de un algoritmo basado en consenso para un sistema multi-agente robótico simulado en CoppeliaSim y comandado desde MATLAB,» Octubre 2022. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23303>.
- [75] A. Enríquez, «Diseño y simulación de un sistema de teleoperación de un robot humanoide NAO : Diseño y simulación del control de posicionamiento de un robot humanoide NAO,» Octubre 2022. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23251>.
- [76] J. Pérez, J. González y C. Galindo, «Gamificación en robótica móvil usando ROS2 y CoppeliaSim,» *Educación en Automática*, n° 45, pp. 1-26, 2024.
- [77] S. Chakraborty y P. Aithal, «A Custom Robotic ARM in CoppeliaSim,» *International Journal of Applied Engineering and Management Letters*, vol. 5, n° 1, pp. 38-50, 2021.
- [78] H. Zhang y T. Yang, «A Simulation System for Testing Robotic Navigation Based on CoppeliaSim and ROS,» *IEEE*, vol. 9, 2021.
- [79] E. Osorio, «Desarrollo y automatización de escenas de simulación para robots anti-colisiones en CoppeliaSim,» 2 Agosto 2023. [En línea]. Available:

<https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/6c609452-abdd-4def-9a6e-3e46a48d98db>.

- [80] C. Flores, «Optimización de los indicadores de productividad de los procesos de manufactura de una empresa láctea mediante la simulación con Flexsim integrando la filosofía Lean Manufacturing,» 2021. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/items/27a4e6df-ca4d-4dfa-a98a-db17b2ed31a7>.
- [81] A. Vega, «Construcción de modelos de simulación en FlexSim que implementen herramientas Lean Manufacturing en una línea de ensamblaje,» 2021. [En línea]. Available: <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/47251>.
- [82] H. Morales, K. Gavilanes, J. Díaz y R. Chicaiza, «Impacto de la simulación en FlexSim para rediseñar procesos industriales Mejora de velocidad y simplificación operativa en sistemas automatizados,» *Ciencia Latina: Revista Multidisciplinar*, vol. 8, n° 6, pp. 3388-3404, 2024.
- [83] J. Aporta, «Control de flotas de robots utilizando el software CoppeliaSim en Python,» Julio 2021. [En línea]. Available: <https://repositorio.ual.es/handle/10835/13456>.
- [84] I. Cárdenas, «Programación de robot móvil con prevención de colisiones CoppeliaSim,» 2021. [En línea]. Available: <https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/1052ce4c-89c1-462f-a603-c96c00d94daa>.
- [85] J. Auris y M. Solano, «Propuesta de distribución de Planta basado en el simulador FlexSim para reducir los tiempos de Espera en la empresa Eléctrica Optimización S.A., SJL, 2019,» 2019. [En línea]. Available: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_975e5fcaba407b95aa99715dd525d4ce.
- [86] I. Zamfirescu y C. Pascal, «Modelling and simulation of an omnidirectional mobile platform with robotic arm in CoppeliaSim,» *IEEE*, vol. 8, pp. 1-22, 2020.