

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Propuesta para la automatización de la línea de empaquetado de figuras geométricas y cajas de almacenamiento elaboradas con cortadoras láser para fines académicos en el Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala

Trabajo de graduación presentado por Diego Javier Samayoa Jiménez para optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Industrial

Guatemala

2025

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Propuesta para la automatización de la línea de empaquetado de figuras geométricas y cajas de almacenamiento elaboradas con cortadoras láser para fines académicos en el Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala

Trabajo de graduación presentado por Diego Javier Samayoa Jiménez para optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Industrial

Guatemala

2025

Vo.BO


Firma  _____.

Mgtr. Dulce Chacón Muñoz

Tribunal examinador

Firma  _____.

Mgtr. Dulce Chacón Muñoz

Firma  _____.

Mgtr. Ingrid Lorena de León Vilaseca

Firma  _____.

M.A. Luz Ester Coyoy Orozco

Fecha de aprobación del examen de graduación:

Guatemala, 2 de junio del 2025.

Prefacio

Gracias a Dios, a mis padres, mi hermana y a toda persona de la Universidad del Valle de Guatemala que me apoyo en esta etapa de mi vida y en la elaboración de este trabajo profesional, el cual espero que sea un reflejo de conocimientos adquiridos y fortalecidos en estos años.

Deseo destacar que es válido caerse en la vida, pero es más importante saber levantarse y afrontar los desafíos con valentía para así buscar ser la mejor versión de uno mismo siempre.

Finalmente, es importante señalar que en mi trabajo se destaca que se vive en un mundo en constante cambio, en donde la automatización es el presente de las industrias, por lo que es posible que la mano de obra se reduzca, pero siempre existirá el factor humano a nivel industrial. Sin embargo, estos individuos que continúen siendo parte de las industrias deben ser capaces de entender la automatización y las nuevas herramientas tecnológicas, para generar valor a las diferentes industrias. Por esto, es fundamental que todo ingeniero, principalmente la nueva generación, sea capaz de entender sobre automatización y su relevancia, fortaleciendo y actualizando sus conocimientos durante su vida profesional.

Índice

1. Introducción.....	1
2. Justificación.....	3
3. Objetivos	4
3.1. Objetivo general.....	4
3.2. Objetivos específicos.....	4
4. Marco Teórico	5
4.1. Líneas de empaque.....	5
4.2. Automatización de procesos.....	6
4.3. Industria 4.0	6
4.4. AutoCAD	6
4.5. DOP y el diagrama de recorrido.....	7
4.6. Distanciómetro láser.....	7
4.7. Cortadora láser	8
4.8. Simulación de procesos industriales.....	8
4.9. Simio.....	8
4.10. Seguridad industrial	9
4.11. Análisis financieros.....	11
4.12. Propuestas de máquinas para la línea de empaquetado.....	13
4.13. Propuestas de maquinaria y programa para fabricación de materia prima.....	14
5. Alcance y limitantes	16
6. Metodología.....	19
6.1. Etapa 1: propuesta de diseño y distribución del sistema de empaquetado .	19
6.2. Etapa 2: simulación del sistema de empaquetado	29
6.3. Etapa 3: plan de seguridad industrial para determinar riesgos y consecuencias, para luego proponer barreras y medidas de seguridad.....	39
6.4. Etapa 4: análisis económico y viabilidad del sistema de empaquetado	52
7. Discusión de resultados	74
8. Conclusiones.....	76
9. Recomendaciones	77
10. Referencias	79

11. Anexos.....	82
-----------------	----

Listado de cuadros

Cuadro 1. Información de <i>layers</i> utilizadas en el dibujo Auto CAD.....	20
Cuadro 2. Comparación de diseño con prototipo	22
Cuadro 3. Comparación de diseño con prototipo	23
Cuadro 4. Maquinaria y robots propuestos para la línea de empaquetado	28
Cuadro 5. Resultados de la simulación en Simio.....	34
Cuadro 6. Máquinas.....	37
Cuadro 7. Bandas transportadoras.....	37
Cuadro 8. Personal	37
Cuadro 9. Holguras de fatiga para los dos estudiantes	38
Cuadro 10. Holgura total que presentan los dos trabajadores en la línea de empaquetado	39
Cuadro 11. Leyenda sobre la señalización y aspectos a considerar para resguardar la seguridad industrial	48
Cuadro 12. Capacidad máxima de carga dependiendo de la edad y sexo del trabajador.....	50
Cuadro 13. Equipo de seguridad industrial que todos los trabajadores deben de considerar	51
Cuadro 14. Cotizaciones de las máquinas	53
Cuadro 15. Cotizaciones de la materia prima.....	54
Cuadro 16. Precios de posibles materiales para pintar las piezas para la línea de empaquetado.....	55
Cuadro 17. Cotizaciones de la materia prima.....	55
Cuadro 18. Cotizaciones de las materias primas	56
Cuadro 19. Costo total de la línea de empaquetado	57
Cuadro 20. Cálculo del TMAR.....	57
Cuadro 21. Costo de cada unidad	58
Cuadro 22. Costos Fijos	58
Cuadro 23. Suministro de energía	59
Cuadro 24. Costos Variables	59
Cuadro 25. Evaluación de costos de la línea de empaquetado.....	60
Cuadro 26. Análisis de rentabilidad de la propuesta para el proyecto	66
Cuadro 27. Indicadores para identificar si el proyecto es viable.....	67

Cuadro 28. Tabla comparativa entre TIR y TMAR	67
Cuadro 29. Indicadores para identificar si el proyecto es viable.....	70
Cuadro 30. Indicadores para identificar si el proyecto es viable.....	73

Listado de figuras

Figura 1. Distribución de espacio existente y ubicación de donde se colocará la línea de producción con el proceso automatizado (<i>layout</i>).....	20
Figura 2. Línea de producción con el proceso automatizado (<i>Layout</i>).....	21
Figura 3. Prototipo de las figuras geométricas que se realizan con la cortadora láser	21
Figura 4. Prototipo de la caja donde se colocarán las figuras geométricas, esta caja se realizará con cortadora láser	22
Figura 5. Cortadora laser de madera MDF	24
Figura 6. Espacio de trabajo con el diagrama de recorrido.....	28
Figura 7. Transporte del proceso	29
Figura 8. Estructura del sistema de empaquetado.....	31
Figura 9. Estructura del sistema de empaquetado utilizando símbolos en 2D	32
Figura 10. Estructura del sistema de empaquetado utilizando símbolos en 2D y el diseño de AutoCAD	32
Figura 11. Estructura del sistema de empaquetado en 3D.....	33
Figura 12. Diagrama Bow-Tie de la estación 1 y 2 del sistema automatizado (brazos robóticos).....	41
Figura 13. Diagrama Bow-Tie de la estación 3 (selladora semiautomatizada)	42
Figura 14. Diagrama Bow-Tie de la banda transportadora.....	43
Figura 15. Diagrama Bow-Tie de la materia prima (figuras y cajas de madera)..	44
Figura 16. Diagrama Bow-Tie del espacio de trabajo	45
Figura 17. Diagrama Bow-Tie de los operarios.....	46
Figura 18. Diagrama Bow-Tie del área de trabajo	47
Figura 19. Mapa de seguridad industrial del laboratorio de Ingeniería Industrial	48
Figura 20. Forma correcta de levantar carga	51
Figura 21. Forma correcta e incorrecta de levantar objetos.....	51

Resumen

La industria 4.0 es la nueva revolución que viven las empresas actualmente. Por lo que, es de suma importancia que los estudiantes que cursen la carrera de ingeniería industrial en la Universidad del Valle de Guatemala sepan cómo actuar en las diferentes industrias donde ejerzan en un futuro como profesionales, y sean capaces de actuar de forma óptima ante nuevos desafíos empresariales. El presente trabajo profesional se buscó reflejar la importancia de la industria 4.0 y los procesos industriales actuales pueden ser automatizados, además de mostrar herramientas que utilizan las industrias en el área de diseño como la cortadora láser, la cual ha tomado relevancia en los últimos años.

Asimismo, se utilizaron durante el trabajo herramientas de simulación con el fin de evaluar la efectividad del sistema y se analizó la producción final del sistema identificando factores como posibles cuellos de botella, utilidad de cada estación de la línea de empaquetado, entre otros aspectos. Así mismo es importante destacar que la línea de empaquetado que se realizó tuvo como materia prima figuras geométricas y cajas de madera segmentada en cuatro espacios, las cuales fueron diseñadas y fueron creadas a base de una cortadora láser, la cual es una herramienta que nos brinda la Universidad del Valle de Guatemala.

Adicionalmente, se propuso un plan de seguridad en donde se evaluó el ambiente de trabajo y se determinó posibles riesgos a la materia prima, al equipo del área o a los individuos que estén dentro del laboratorio de ingeniería industrial por lo que se realizará un análisis de los diferentes riesgos y se buscó proponer soluciones viables y se definió reglas para su funcionamiento, velando la seguridad en general. Finalmente se realizó un análisis de costos evaluando el proyecto y sus componentes, definiendo la viabilidad financiera del proyecto para el departamento de Ingeniería Industrial, esto con la intención de definir si es recomendable su construcción en el laboratorio del departamento de Ingeniería Industrial o lo contrario. Al final, las máquinas que se emplearían en la línea automatizada de empaquetado serían tres las cuales se utilizaran en diferentes etapas, si el proyecto es llamativo para el departamento. Por lo que a continuación se enumerará cada etapa y el uso de la máquina o robot en el sistema de empaquetado.

En la primera etapa se utilizará un brazo robótico de 6 grados de libertad, el cual identificará el color de la pieza y posteriormente coloca las unidades requeridas dentro de la caja de madera que se elaborará con la misma cortadora láser; cuando se cumplan con las unidades necesarias del pedido el cual es de 4 unidades, se colocará la caja en la cinta transportadora para que se traslade a la siguiente estación. En la segunda operación, un brazo delta seleccionará 8 unidades del producto final y las colocará dentro de una caja de cartón, en la cual habrá un operario que será el encargado de colocar las cajas y permitir que el proceso continúe. Por último, en la tercera estación esta caja se sellará y se doblarán las solapas. Al finalizar el proceso, un segundo operario colocará toda la materia prima de nuevo en su lugar para que el sistema funcione cíclicamente.

Finalmente, se debe resaltar que el fin inicial del proyecto fue y será que los jóvenes puedan adquirir nuevos conocimientos en la Ingeniería Industrial y sobre esta nueva revolución, esto para que ellos logren ser capaces de afrontar problemas actuales en cualquier industria y logren ser competentes en un mundo que está en constante cambio.

Abstract

The industry 4.0 is the new revolution that industries are currently experiencing. For that reason, it is important that students of industrial engineering at the Universidad del Valle de Guatemala know how to act in the different industries where they will work in the future as professionals, and be able to act ideally in the new business challenges. In this professional work sought to reflect the importance of the industry 4.0 and current industrial processes can be automated. In addition to showing tools used by industries in the area of design like the laser cutter, which has become relevant in recent years.

Additionally, simulation tools were used during the work in order to evaluate the effectiveness of the system and the system was analyzed, identifying factors such as possible bottlenecks, usefulness of each station of the packaging industrial line, and other aspects. It is also important to note that the packaging line was made with geometric shapes and wooden boxes segmented into four spaces, which were designed and created using a laser cutter, a tool provided by Universidad del Valle de Guatemala

Additionally, a safety plan was proposed in which the work environment was evaluated and possible risk to the raw material, the equipment or individuals that are inside of the industrial engineering laboratory were determined, so an analysis of the different risk will be made and viable solutions will be proposed and rules for its individual will be defined, ensuring safety in general. Finally, a cost analysis was made evaluating the project and its components, defining the financial feasibility of the project for the Industrial Engineering Department, with the intention of defining whether it is advisable to build it in the laboratory of the Industrial Engineering Department or not. Ultimately, the machines that would be used in the automated packaging line would be three and be used in different stages, if the project will be attractive for the department. For that reason, each stage and the use of every machine or robot in the packaging line will be listed below.

In the first stage, the robotic arm with six degrees of freedom will be used to identify the color of the pieces and the places the units inside the wooden box that will be made with the laser cutter; when the required units of the order are met, which is four units, the box will be placed on the conveyor belt to be moved to the next station. In the second station, a delta robotic arm will select eight units of the final product and place them inside a cardboard box, in which there will be an operator who will be in charge of placing the boxes and allowing the process to continue. Finally, at the third station this box will be sealed and the flaps will be folded. At the end of the process, a second operator will put all the raw material back in the original place so the system will run cyclically.

Finally, it should be noted that the principal purpose of the project was and will be that students can acquire new knowledge in Industrial Engineering and about the new industrial revolution, so that they will be able to face problems in any industry and become competent in a constantly changing world.

1. Introducción

La industria se ha modernizado tras el paso de los años. Se vive en la industria 4.0, en donde los sistemas están interconectados, teniendo como principales fines, reducir cuellos de botellas existentes en las operaciones, estandarizar los procesos y reducir posibles tareas de bajo valor añadido, para consecuentemente tener un mayor control sobre la calidad del producto o servicio.

Específicamente, en este proyecto se buscó realizar una propuesta para implementar una línea automatizada de empaquetado para el Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala. Esta línea estaría ubicada en el salón CIT-212, que es parte del laboratorio del departamento. El sistema tiene como fin principal el de empaquetar la materia prima y agruparla en cajas de cartón para obtener un producto terminado, utilizando la automatización de procesos robóticos, con el fin de reducir tareas de poco valor al sistema y estandarizar los procesos. Esto permite generar siempre la misma cantidad de producto terminado y así mostrar el impacto de robots inteligentes en el mundo industrial y evidenciar como los ingenieros industriales pueden generar valor con el uso adecuado de estos artefactos.

En el sistema automatizado se utilizan diferentes elementos como un brazo robótico de 6 grados de libertad, un brazo delta y un sellador de cajas semiautomático; teniendo como fin que este proyecto inspire a los estudiantes de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala sobre la importancia de los avances tecnológicos y cómo estos pueden ayudar a perfeccionar sistemas sencillos, como también complejos en áreas específicas de trabajo a nivel industrial. En este trabajo profesional se creó la materia prima las cuales serían diferentes figuras geométricas y una caja de madera utilizando una herramienta moderna como es la cortadora láser, ubicada en el D-Hive de la Universidad del Valle de Guatemala, esta es una máquina que ha ayudado a la transformación industrial.

Asimismo, se evaluó el lugar de trabajo y se determinaron propuestas de maquinaria para la línea de empaquetado, que consiste en tres estaciones de trabajo. La primera estación selecciona las figuras geométricas ubicadas de manera diversa en un extremo, posteriormente, cuatro unidades se colocan en una caja que se dividen en cuatro espacios, donde se colocan las figuras solicitadas por el estudiante. Esto se logró utilizando el brazo robótico; consecuentemente, el mismo robot se encarga de colocar el producto terminado en la banda transportadora hasta llegar a la segunda estación.

Esta área de trabajo una caja de cartón se coloca por un operario (estudiante), y el robot delta es el responsable de colocar ocho cajas de madera con el producto terminado, recalcando que esta cantidad de cajas de madera será siempre la misma en todas las rondas de empaque, buscando estandarizar la cantidad de producto terminado por caja de cartón. Cuando la caja tiene ocho unidades, se mueve por la cinta transportadora para ser sellada mediante un proceso automatizado de sellado industrial. Al finalizar el proceso, un segundo operario (estudiante) tiene el rol de colocar nuevamente todos los elementos en su lugar para ser utilizados en futuras ocasiones. Es importante destacar que ambas tareas donde apoyan humanos tienen una baja holgura y no es necesario capacitarlos exhaustivamente.

El principal objetivo de la línea de empaquetado es mostrar a los estudiantes del departamento de Ingeniería Industrial la importancia de conocer la automatización en procesos y el uso de herramientas de la industria 4.0. Esto con el fin de que ellos puedan utilizar estos conocimientos en el mundo laboral. Por ende, es necesario evaluar todos los aspectos posibles para crear la línea automatizada. Es por eso que se creó el diseño de línea de trabajo considerando el espacio disponible y la maquinaria a emplear acorde a la materia prima a utilizar. Se realizó la simulación para analizar el comportamiento del sistema en la vida real y determinar su productividad.

Luego, se analizó un posible plan de seguridad para identificar los riesgos y así velar por la integridad de las personas que estén dentro del área de trabajo y el equipo del laboratorio de Ingeniería Industrial, para así cotizar cada elemento del sistema para determinar así la inversión del proyecto. Con esta información, se definió si este proyecto es viablemente económico para su construcción o es el caso contrario.

Finalmente, este proyecto tuvo como fin mostrar la importancia de la industria 4.0, la automatización y mostrar todo lo aprendido en la carrera de Ingeniería Industrial en la Universidad del Valle de Guatemala.

2. Justificación

En la actualidad, los ingenieros tienen que ser capaces de buscar soluciones óptimas para el beneficio de la empresa donde laboren, cumpliendo en todo momento con indicadores propuestos en los procesos industriales para así lograr la rentabilidad y productividad deseada, además de lograr cumplir la demanda que el mercado requiera. Por lo tanto, diferentes industrias han introducido herramientas como el uso de robots con diferentes tipos de sensores, esto con la finalidad de optimizar los recursos disponibles y reducir el tiempo empleado en las operaciones, para así lograr reducir costos. Así mismo, el uso de sistemas completamente robotizados es fundamental para evitar posibles holguras que se pueden generar por el trabajo humano y brindar un mayor control sobre la calidad del producto.

En la industria 4.0, se ha implementado la robótica colaborativa, la cual es un conjunto de robots interconectados entre sí y utilizan sensores para realizar ciertas tareas de manera estandarizada y efectiva (Innovation, 2019). Por lo que el principal beneficio de este trabajo fue brindar un ejemplo a los jóvenes que estudian Ingeniería Industrial de cómo funcionan las empresas, por lo que se brindó una propuesta para el modelo de la línea de empaquetado, se realizó una simulación para ver el rendimiento del sistema, se evaluó las medidas de seguridad para la línea de empaquetada y se evaluó costos y viabilidad de la línea automatizada. Además, que puedan entender el sistema de trabajo y sean capaces de brindar mejoras en el sistema, dado a que siempre se puede buscar la mejora continua en los sistemas de trabajo.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

- Diseñar una línea de producción automatizada de empaquetado de materia prima para fines académicos, mediante el uso de análisis en las estaciones de trabajo, simulaciones, identificación de riesgos y viabilidad del proyecto, ubicado en el laboratorio del departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala.

3.2. Objetivos específicos

- Definir la secuencia de trabajo y maquinaria en la línea de empaquetado, estableciendo las estaciones del proceso mediante el uso del programa de AutoCAD.
- Analizar el modelo establecido para determinar la cantidad de producto terminado en un lapso de una hora, definiendo cuellos de botella, mediante la simulación en Simio.
- Proponer un plan de seguridad que identifique posibles riesgos, estableciendo medidas de seguridad, la identificación del equipo de seguridad necesario y proponiendo reglas en el área de trabajo para disminuir posibles incidentes o accidentes.
- Determinar el costo de la inversión y la viabilidad del proyecto, mediante herramientas de análisis de costos y de ingeniería financiera, para evaluar que la línea de empaquetado sea rentable para el Departamento de Ingeniería Industrial.

4. Marco teórico

En esta sección se busca resaltar la industria 4.0 y la importancia de la automatización de procesos en la actualidad a nivel industrial, y así comprender más sobre herramientas que los ingenieros pueden aplicar para que los proyectos sean óptimos. El marco teórico indicará todas las herramientas que se utilizarán para el desarrollo del trabajo de graduación entre las máquinas que se utilizarán para el desarrollo del proyecto y que son parte de la industria 4.0 están la cortadora láser y el distanciómetro los cuales serán claves para crear la materia prima y medir el espacio de trabajo, además de utilizar otros programas para la realización del trabajo.

Primeramente, para el desarrollo del bosquejo de la línea de trabajo, se utilizará el programa de AutoCAD, identificando todos los elementos que serán necesarios para el proyecto, en el segundo objetivo se utilizará el programa de simulación SIMIO el cual será útil para evaluar cómo podría funcionar el sistema en la vida real e interpretar los datos que el mismo programa nos genera para identificar aspectos de la productividad del sistema de empaquetado.

La siguiente herramienta está el proponer un plan de seguridad en donde se evalúen posibles riesgos y posibles consecuencias que se puede generar si no se trata este problema a tiempo, por lo que al analizar esta información se propondrá medidas de seguridad, definir equipo de seguridad necesario y se establecerán reglas para cuidar la integridad de las personas y del equipo del Departamento de Ingeniería Industrial.

Finalmente, se evaluará la inversión que el departamento debería realizar para implementar la línea de trabajo en el laboratorio por lo que es fundamental la cotización de la materia prima, las bandas transportadoras, el material de empaque y la maquinaria que se desea utilizar, para posteriormente evaluar si el proyecto es financieramente viable para la institución educativa. Por lo que es fundamental ampliar ciertos términos para lograr comprender más en profundidad el fin del trabajo que se desea realizar.

4.1. Líneas de empaque

Las líneas de producción son un conjunto de operaciones las cuales son aplicables para cualquier industria, ya que tiene la finalidad eliminar operaciones manuales y transformarlas en automatizadas acelerando el sistema de trabajo, generando así que la materia prima se vuelva en un producto terminado de forma más rápida, buscando en todo momento la mejora continua en el flujo de trabajo (SDI, s. f.).

La línea de producción específicamente la de empaquetado va a variar dependiendo de la industria, sin embargo, a mediados del siglo XX se empezó a utilizar maquinaria para acelerar las operaciones y en la actualidad las grandes industrias utilizan robots para realizar tareas buscando en todo momento mejorar la productividad y la rentabilidad de la empresa.

Finalmente, se debe recalcar que la línea de empaquetado es una de las líneas de producción más utilizadas actualmente, ya que todo producto necesita ser empaquetado para su comercialización actualmente.

4.2. Automatización de procesos

La automatización industrial es una plataforma de sistemas integrados que consta de varios equipos y elementos que realizan una gran variedad de funciones como la detección, control, supervisión y monitorización relacionadas con los procesos industriales (SYDLE, 2022).

Por lo que todo ingeniero en la actualidad debe buscar la forma de automatizar los sistemas para que la producción en masa sea óptima y no se generen cuellos de botella que lo único que generará será retrasos en la entrega del producto final, por lo que es fundamental la adaptación de los sistemas de trabajo para que se adecuen a las necesidades actuales y se fomente el uso de herramientas y máquinas de la industria 4.0.

4.3. Industria 4.0

La revolución 4.0 surgió por buscar mejoras significativas dentro de los procesos a nivel industrial, por lo que se buscó mejorar las tecnologías existentes y utilizarlas en favor de la mejora continua a nivel de producción en las diferentes instituciones, generando así mejoras en software, mejoras de la inteligencia artificial, robótica y mejora en diferentes sensores buscando así la optimización automática de procesos industriales. Además, se debe destacar que todas las mejoras que nos brinda la industria 4.0 son aplicables en muchas industrias, por lo que su importancia en conocer qué ofrece esta industria es fundamental para los jóvenes (IBM, s. f.).

En las diferentes industrias se ha buscado aplicar más herramientas de la industria 4.0 para mejorar la eficiencia de su producción, buscando así la correcta optimización de las tareas dentro de las líneas de trabajo industrial y estandarizar el procesos eliminando tareas repetitivas o de bajo valor para la institución, principalmente mostrando el impacto que se puede generar en una línea de trabajo cuando se implementan este tipos de herramientas industriales los cuales eliminan la variación de las tareas, fomentando la estandarización de la producción. Finalmente, automatizar procesos es esencial para generar un sistema de trabajo más completo y conciso para poder cumplir con las demandas industriales en un menor tiempo sin poner en riesgo la calidad de los productos finales.

4.4. AutoCAD

La herramienta de AutoCAD se utiliza en la fabricación de diseños a nivel industrial, ya que es un software que tiene la capacidad de realizar diseños en 2D y en 3D. El programa se fundó en el año 1982, esto gracias a Autodesk la cual es una empresa que se dedica a la venta de licencias de su programa para usos de manufactura, construcción, entre otras áreas.

El programa de CAD funciona tanto para dispositivos Mac como Windows. AutoCAD se caracteriza por tener varias opciones que se pueden adaptar a las necesidades del cliente: AutoCAD Map 3D, AutoCAD Plant 3D, AutoCAD Architecture (AUTODESK, s. f.). El AutoCAD que se utilizará más para cumplir con la finalidad del trabajo será el 2D dado que se buscará parametrizar el área de trabajo disponible del salón y el espacio que se asigna a cada estación y máquina.

4.5. DOP y el diagrama de recorrido

El DOP es una herramienta que sirve para mostrar cómo es la distribución de las tareas mediante simbología específica es importante destacar también que al crear un diagrama de operaciones del proceso se debe seguir un orden específico para que el orden de las acciones a ejecutar sea entendible y no se presente ninguna problemática al entender el sistema de trabajo, por lo que es esencial conocer las diferentes representaciones gráficas (Piqueras, 2021). Asimismo, es importante tomar en cuenta al desarrollar un DOP tomar en cuenta las siguientes indicaciones:

- Las líneas que se utilicen no deben conectarse entre sí y las líneas verticales son para indicar el proceso, y las horizontales son para entradas o salidas de materiales.
- El tiempo de las acciones se debe colocar a la izquierda de la representación gráfica y se deben utilizar las mismas medidas de tiempo.
- Enumerar las diferentes actividades que se realicen en el sistema e indicar la distancia a que se está transportando la materia prima o producto en el proceso.
- Al finalizar de construir el DOP, es fundamental que se agregue un cuadro de resumen donde indique el total de las actividades y el tiempo de cada una.

En el caso del diagrama de recorrido es necesario que ya exista el diseño del espacio de trabajo para así indicar el flujo del trabajo y ejemplificar mejor como sería el funcionamiento del DOP en el espacio de trabajo; para diseñar un diagrama de recorrido es fundamental trabajarlo en orden y que los flujos de trabajo sean entendibles para evaluar de mejor manera el trabajo, al igual que el DOP es necesario generar un resumen en la parte inferior para indicar la cantidad de acciones ejecutadas en el sistema.

4.6. Distanciómetro láser

Este dispositivo sirve como una herramienta para medir ciertos espacios utilizando un láser el cual registra la medida de un objeto o un espacio acelerando el proceso de medición, esto se logra por el principio de vuelo por lo que se emite un rayo láser y se calcula la distancia en función del tiempo que tarda en ir y venir el rayo al aparato (Máquinas y Herramientas Online, 2021).

Es importante destacar que este aparato cuenta con varias características como el medir ciertos ángulos y registrar la información obtenida, generando así que el proceso de recolectar información de medidas sea más eficiente y fácil. Es importante destacar que, aunque su uso sea sencillo igual es fundamental que se utilice bajo responsabilidad para no dañar a alguien con el rayo principalmente la vista y determinar las medidas exactas para no recolectar datos erróneos sobre las dimensiones de un objeto o espacio.

4.7. Cortadora láser

Es una máquina que sirve para realizar cortes, grabados, punteados o marcas a un material para realizar un diseño específico, el cual tiene que estar previamente diseñado, esta herramienta es de gran ayuda en los procesos de manufacturación y de creación de diseños, ya que realiza las acciones antes mencionadas con una alta precisión y una alta velocidad (SIDEKO, s. f.). En este caso se utilizará madera para realizar las cajas y se usará la máquina Universal 1PLS4.75, la cual está ubicada en el D-Hive de la Universidad del Valle de Guatemala.

Es importante destacar que la forma de empaquetar la materia prima se decidió de esta forma y no se consideró el uso de bolsas plásticas a razón de que todo ingeniero debe utilizar adecuadamente el plástico y un mal uso de este material puede ser perjudicial para el medio ambiente, además de que la universidad tiene ciertas políticas ambientales las cuales buscan que los procesos que se elaboren sean sustentable y sostenibles para el ambiente.

4.8. Simulación de procesos industriales

Es un análisis donde se utilizan herramientas virtuales para comprobar el funcionamiento de un método antes de aplicarlo en la vida real, teniendo como fin evaluar si pueden asistir posibles fallas y tratarlas para entregar un sistema de trabajo que sea el más adecuado y pueda generar resultados favorables. Al realizar la simulación se obtendrán resultados que podrán ser analizados para determinar ciertos datos de interés para el proyecto como cuánto tiempo se tarda una estación en generar una actividad, cuántas unidades se producen en un cierto tiempo, definir posibles cuellos de botella, entre otros datos. Finalmente, en la actualidad existen muchos programas que los ingenieros pueden utilizar para hacer una simulación de una línea de trabajo. El programa que se utilizará en este proyecto será Simio (Autmix, 2023).

4.9. Simio

Este es un software el cual tiene como finalidad la realización de simulaciones y modelizaciones de sistemas, los cuales se analizan y evalúan previamente en el mundo digital para evitar posibles cuellos de botella, analizar el rendimiento de la línea de producción en un cierto tiempo, evitar algún problema de distribución existente y determinar un entorno ideal para las operaciones industriales. Por lo que, luego de realizar la simulación y analizar todas las variables, se puede llevar a cabo el sistema al mundo real, esto con la finalidad de mejorar la productividad y la rentabilidad del proceso examinado (DSIC, s. f.).

Simio cuenta con una librería que posee varias herramientas, entre las herramientas que se destacan esta *Source* que representa la entrada de la materia prima. *Sink* que representa la salida de materia prima. *Server* que representa las operaciones del sistema general. *Path* que representa la cinta transportadora de todo el sistema. *Combiner* el cual será útil cuando una línea de producción tenga dos entradas en el sistema y exista una única salida, el caso contrario es el *Separator* en donde existen una entrada y dos salidas en el sistema. Finalmente, el *Conveyor* el cual representará la banda transportadora, a esta se le asignará velocidad y distancia para lograr comprender mejor el proceso.

4.10. Seguridad industrial

La seguridad industrial es vital en cualquier industria, ya que al aplicarse correctamente estas indicaciones pueden ayudar a prevenir riesgos que pueden generar accidentes o incidentes que afecten la reputación de la institución, también de velar por la integridad de las personas que laboren en la institución, cuidar el equipo y las instalaciones y en la actualidad buscan proteger el medio ambiente.

Además, a nivel institucional es vital que a todo trabajador que realice una tarea que pueda atentar contra su integridad es necesario que se le brinde un equipo de protección específico dependiendo de la tarea que vaya a ejecutar, igualmente es vital que antes de contratar a un colaborador es necesario capacitarlo adecuadamente para prevenir errores que puedan ser trágicos.

Es necesario prever los accidentes y capacitar correctamente a los trabajadores, monitorear el equipo y actualizar el equipo de seguridad para resguardar la institución y reducir lo más posible los riesgos industriales, buscando la mejora continua en las tareas industriales (Rioja, 2024). Algunas de las ventajas de fomentar la mejora continua en la seguridad industrial de cualquier institución, serían las siguientes:

- Disminuir el impacto ambiental
- Reducir accidentes en el área de trabajo
- Prevenir diferentes tipos de riesgos
- Fomentar una mejor comunicación
- Motivar al personal a trabajar de forma óptima
- Capacitar constantemente al personal para buscar mejorar la mano de obra
- Evaluar correctamente la maquinaria

Es importante destacar que existen diferentes tipos de riesgos, entre los cuales se destacan los siguientes:

- Riesgos mecánicos
- Riesgos eléctricos
- Riesgos químicos
- Riesgos biológicos
- Riesgo por fuego
- Riesgo por explosión
- Riesgos criogénicos
- Riesgo por gases comprimidos
- Riesgos por mala iluminación
- Riesgos por mal mantenimiento de maquinaria
- Riesgos por mal mantenimiento del área de trabajo
- Riesgos por mala señalización de seguridad industrial
- Entre otros tipos de riesgos

Es importante destacar que los riesgos pueden depender mucho de los procesos industriales que se realicen en cada empresa. Es fundamental que toda empresa tenga un plan de seguridad para actuar ante cualquier riesgo.

4.10.1. Medidas básicas de seguridad industrial

Es importante destacar que en las medidas de seguridad van a variar dependiendo la complejidad de la empresa o la línea de trabajo. En este espacio se enumeran las más importantes que se deben de velar a la hora de iniciar el sistema de trabajo para que no existan problemas que atenten tanto con las personas como con la materia prima (Protecciones, s. f.). Entre las medidas base que se tiene que tomar en cuenta destacan:

- Realizar un mantenimiento de las máquinas, con el fin de que funcionen adecuadamente.
- Mantener el orden y limpieza en el lugar de trabajo.
- No generar ruidos, con el fin de detectar posibles fallas en las máquinas y evitar holguras para los trabajadores que ayuden en el sistema.
- Usar equipo básico de seguridad para resguardar la integridad de las personas.
- Señalizar cualquier peligro.
- Colocar barreras de seguridad si fuera necesario.
- Tener un botiquín cercano para cualquier accidente que se presente.

4.10.2. Cuadro comparativo entre estos 4 términos de seguridad industrial

Incidentes	Accidentes
Suceso que ocurre sin ninguna advertencia previa que puede generar daños, afectando la normalidad de las tareas sin generar lesiones graves en la mayoría de los casos, sin embargo, deben ser tratadas previamente para prevenir un accidente que pueda generar una consecuencia grave.	Suceso que ocurre sin ninguna advertencia previa que puede generar daños, afectando la normalidad de las tareas, generando posibles lesiones a algún trabajador o consecuentemente pérdidas materiales o económicas o daños al personal. En la mayoría de los casos suceden incidentes que advierten sobre un posible accidente.
Actos inseguros	Condiciones inseguras
Acciones inseguras que pueden generar la posibilidad de accidentes. Estas acciones se dan principalmente porque los individuos no tienen una correcta capacitación del equipo o de la tarea a realizar o por no estar atento en el momento de realizar la tarea.	Citaciones que suceden en el lugar de trabajo que pueden generar riesgos latentes. Esta problemática es algo que depende principalmente de la institución por lo que es vital que toda empresa actualice su equipo e instalaciones cuando sea necesario.

Fuente: (Euroinnova, s. f.)

4.10.3. Plan de seguridad

Los planes de seguridad no tienen una estructura fija; sin embargo, este tiene un fin importante de indicar cómo controlar las acciones peligrosas y medir la gravedad y probabilidad de los riesgos a nivel industrial (Hegel, 2023). Lo principal que debe tener un plan es:

- Indicar información de la institución y del proyecto a ejecutar.
- Proponer objetivos a lograr en el plan para resguardar la seguridad.
- Realizar una descripción de todas las actividades y procesos dentro del proyecto.
- Indicar medidas de prevención ante posibles accidentes.
- Evaluar posibles riesgos.
- Proponer posibles capacitaciones para los colaboradores.

4.10.4. Diagrama Bow-Tie

El diagrama Bow-Tie es un diagrama utilizado para analizar la seguridad industrial, por lo que en este diagrama se analizan sus causas y consecuencias, esto con el fin de mitigar posibles riesgos que se puedan presentar (Prysmex, 2023). Algunos de los aspectos positivos de aplicar este diagrama son los siguientes:

- Diagnosticar falencias en sistemas
- Demostrar e identificar causas de una problemática para brindar soluciones
- Velar por el cumplimiento de la seguridad industrial y salud ocupacional.

4.11. Análisis financieros

Para realizar un correcto análisis financiero es vital primeramente desarrollar los estados financieros son herramientas que nos ayudan a evaluar la inversión de una empresaria querer realizar un proyecto. Por lo que es necesario evaluar los diferentes componentes que constituyen la línea de empaquetado, por lo que es necesario utilizar varios documentos para respaldar inversiones y si estas son económicamente viables, con eso se utilizarán el análisis de valor presente neto, el análisis de la TMAR y la TIR; y finalmente el análisis de escenario, esto con el fin de sustentar que el proyecto se puede llevar a cabo en la Universidad del Valle de Guatemala.

4.11.1. Registro de costos

Esta herramienta tendrá como fin evaluar la materia prima directa, la mano de obra directa y se evaluarán los gastos de manufactura para determinar los costos de producción del producto final (SIIGO, 2018). Asimismo, se realizará un presupuesto de cada máquina a emplear para evaluar sus componentes y cuál sería el costo final de su fabricación. En cuestión del proyecto, es fundamental realizar el análisis de costos principalmente de los siguientes componentes:

- Maquinaria a utilizar
- Materia prima
- Material de empaque

- Transporte (Bandas transportadoras)
- Mano de obra necesaria

4.11.2. Estado de flujo de efectivo

Este estado refleja la posible liquidez de una empresa o proyecto, este estado es fundamental para las personas que invierten esto para determinar la estabilidad financiera y la capacidad de pagar deudas, esto en un corto plazo. (CERTUS, 2021). Este estado de flujo es fundamental que se evalúe constantemente para determinar posibles fallas que puedan afectar la liquidez y generar problemas financieros. Además de establecer cuáles son los egresos e ingresos que una institución puede presentar en un lapso determinado.

4.11.3. Valor presente neto

Es un cálculo muy utilizado en la ingeniería económica que sirve para proyectar la rentabilidad de un sistema, esto con el fin de determinar cómo la inversión generará ganancias o pérdidas tras el paso del tiempo a evaluar. (Finance, s. f.).

Es importante analizar ciertos datos para poder aplicar la fórmula y obtener el resultado final, entre los que se encuentra:

- Periodo (tiempo)
- Flujo de efectivo
- Tasa de descuento

La fórmula que se utiliza para determinar el valor presente neto es:

$$\text{Flujo de efectivo} / (1 + \text{Tasa de descuento}) ^ \text{periodo}$$

Por lo que si el VPN es positivo es que el proyecto es rentable y si es negativo no es rentable el proyecto.

4.11.4. Uso de la TMAR y la TIR

La TMAR que es la tasa mínima aceptable de rendimiento indica si el proyecto es financieramente viable para eso es fundamental que esta sea menor a la TIR para que muestre que el proyecto es rentable. En el caso de la TIR es la ganancia anual que cada inversionista puede adquirir (Blank & Tarquin, 2006). Por lo que es importante entender lo siguiente para entender la rentabilidad:

$$\begin{aligned} \mathbf{TIR} &\geq \mathbf{TMAR} && \text{El proyecto es rentable} \\ \mathbf{TIR} &< \mathbf{TMAR} && \text{El proyecto no es rentable} \end{aligned}$$

4.11.5. Análisis de escenario

Existen dos principales análisis para evaluar proyectos el análisis de sensibilidad y el análisis de escenario. Para el análisis de sensibilidad es fundamental determinar el punto de equilibrio y así determinar qué variables a evaluar son más sensibles a los cambios, por lo que para representar esto se utiliza un diagrama de punto de equilibrio (Arch, 2023).

Sin embargo, para evaluar el impacto de múltiples valores es necesario utilizar el análisis de escenarios para ver su impacto en el flujo de efectivo. El análisis de escenarios sirve para analizar los posibles cambios que se podrían realizar en diferentes valores o en el flujo de efectivo, evaluando así posibles sucesos favorables como no favorables para una institución. Es importante destacar de los análisis de escenarios es que ayudan a las instituciones a realizar planificaciones a futuro, evitar malas decisiones de inversión esto con la principal intención de analizar si el proyecto puede ser rentable o no rentables (Vipond, s. f.).

4.12. Propuestas de máquinas para la línea de empaquetado

Para todas las estaciones de la línea de producción se realizarán 3 máquinas, las cuales son: un brazo robótico con 6 grados de libertad, un brazo delta y un sellador de cajas semiautomatizado. Estas máquinas buscan optimizar operaciones mediante movimientos más precisos y con un carácter flexible para minimizar tiempos y evitar holguras en el sistema. Además, estos brazos robóticos tienen aplicaciones en muchos procesos industriales en diferentes industrias como la mecánica, la farmacéutica, la de empaque, la alimenticia y la automotriz (RIPIPSA, 2019). La máquina selladora y dobladora de solapas es una máquina que sirve para cerrar cajas mediante un proceso que no necesita de humanos, generando que la tarea se realice de forma eficiente y consistente.

Sin embargo, en esta línea de empaquetado necesitará del factor humano en dos estaciones, dado que en una estación es más rentable contratar a una persona que comprar una máquina que coloque las cajas en la banda transportadora y el segundo operario que es necesario tendrá la tarea de volver a colocar toda la materia prima en su lugar, ya que esta línea es con fines demostrativos y no con fines industriales por lo que volver a colocar la materia prima perfectamente en su lugar lo podrá realizar un individuo. Así mismo al ser parte de la línea de empaquetado los estudiantes que se apoyen en el estos nuevos procesos, y así comprender la importancia de automatizar ciertos procesos y analizar como estos cambios generan impactos positivos en el sistema de trabajo.

4.12.1. Brazo robótico con 6 grados de libertad

La finalidad de este brazo robótico es seleccionar las diferentes piezas disponibles, las cuales tendrán diferentes colores, este brazo se caracteriza por que realiza movimientos fluidos y sustituyen la acción de un humano a la perfección, esto ya que entre más grados de libertad tenga estos robots aumenta la capacidad de movimientos que esta máquina puede hacer (EVS, s. f.).

Este robot tendrá la tarea de seleccionar figuras de diferentes colores y colocara 4 piezas en una caja de madera la cual será creada con cortadora láser, cuando termine esta tarea, el robot coloca la caja de madera en la banda transportadora para que el producto pase a la siguiente fase donde será empacado, por ende, este brazo tendrá el fin de realizar la tarea de *pick and place*.

4.12.2. Brazo delta

Este robot se caracteriza por tener una base fija conectada a una plataforma móvil mediante extremidades, además este brazo posee pinzas al vacío las cuales seleccionan el objeto y lo moverán a su voluntad, este tipo de robots tiene 5 grados de libertad (Torres, 2022). Este robot dentro del proceso tendrá la finalidad de seleccionar las cajas de madera mediante la pinza al vacío y colocar una cantidad estandarizada de 8 unidades dentro de una caja de cartón y cuando esto se logre la banda transportadora moverá la caja para que luego siga su proceso en la banda transportadora del sistema automatizado.

4.12.3. Sellador de cajas semiautomatizado

El sellador industrial tendrá la finalidad de cerrar las solapas de la caja y sellar la caja para completar el pedido y colocar correctamente todo el producto terminado (Pearson, s. f.). Esta máquina automática busca acelerar el proceso de sellar las cajas eliminando también el factor humano el cual podría generar holguras en el sistema completo.

Es importante resaltar que esta máquina normalmente cierra la caja con cinta adhesiva sin embargo en este caso únicamente se encargará de cerrar la caja y transportarla al final de la línea de trabajo. Es importante recalcar que al final de esta estación los jóvenes volverán a poner toda la materia prima en su lugar para que el proceso siga de forma continua. Recalcando que el principal fin de esta línea de empaquetado es mostrar la relevancia actual de las maquinarias y los procesos automatizados para realizar tareas dentro de diferentes industrias.

4.13. Propuestas de maquinaria y programa para fabricación de materia prima

Para desarrollar la materia prima se evaluó todo el equipo disponible en el laboratorio de D-Hive, la maquinaria que más se adecuo al requerimiento de que la materia prima fuera lisa para que los robots de succión funcionar adecuadamente y por costos finales fue la cortadora láser y madera MDF, sin embargo, para la realización de los diseños se utilizó el programa Inkscape para que el archivo fuera compatible con la cortadora láser y así generar todas las piezas del sistema de trabajo como las figuras geométricas y los componentes para crear las cajas donde se colocaran las diferentes figuras.

4.13.1. Cortadora láser

La cortadora láser que se utilizará es la PLS 4.75, esta máquina es ideal para marcar, grabar y cortar material, como madera MDF con una alta precisión, esto mediante el uso de un láser el cual quema controlado del material generando así la acción solicitada previamente. Normalmente los principales tres componentes de este tipo de máquinas son los siguientes: láser, espejo galvanómetro y la superficie de trabajo.

Finalmente, las principales ventajas de utilizar una materia como la madera MDF son los siguientes: se genera un corte o grabado preciso, los cortes son efectivos y las acciones que la maquina realice son concisos (Project, s. f.).

4.13.2. Inkscape

Es un software de vectores gráficos, este es usado por diseñadores esto con el fin de crear una variedad de diseños posibles (Inkscape, s. f.). Además, este programa se caracteriza por su sencilla interfaz lo que permite que cualquier individuo pueda utilizar el programa con facilidad, por lo que es clave para realizar todo el diseño de las piezas a utilizar en el proyecto. Este programa puede importar y exportar varios formatos de los archivos, por lo que se puede crear las piezas y luego exportar el documento para que se utilice el archivo para cortar las piezas en la cortadora láser.

5. Alcance y limitantes

Este proyecto tuvo como principal finalidad mostrarles a los alumnos del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala la importancia de la automatización a nivel industrial, además de recalcar que en la actualidad se vive en un mundo que está en constante cambio y que en la industria 4.0 una de las herramientas vitales es la adaptabilidad a los cambios. Por lo que, el trabajo profesional tuvo la finalidad de crear oportunidades para que los jóvenes conozcan un sistema que funcione en base a sistemas automatizados que disminuyan los errores en la producción de productos terminados.

Por ende, para este trabajo se emplea el desarrollo experimental, ya que se usarán conocimientos previos para buscar la mejora continua y agregar valor a un proceso que en este caso sería una línea de empaquetado de figuras y cajas hechas con una cortadora láser, fomentando el uso de maquinaria y herramientas automatizadas en la industria.

Primeramente es fundamental delimitar el espacio donde se propondrá la línea de empaquetado con su respectivo equipo, materia prima y robots, por lo que es fundamental que la propuesta y el contenido necesario para ejecutar el proyecto esté finalizado lo antes posible para iniciar con la fase de desarrollo del proyecto, buscando previamente mostrar la efectividad y viabilidad del proyecto para el departamento de Ingeniería Industrial y que este pueda ser llevado a la realidad generando así el interés y las ganas de aumentar el conocimiento de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala.

En la elaboración del trabajo será necesario el uso de fuentes tanto primarias como secundarias. En el caso de las primarias, se utilizará herramientas adquiridas durante la carrera universitaria, como el uso de AutoCAD para desarrollar el diseño, el uso de Simio para crear la simulación del sistema, el uso de herramientas de la industria 4.0 como el medidor láser y la cortadora láser, de herramientas contables, análisis de viabilidad económica y evaluación de costos de producción, evaluar la presencia de holguras, la investigación de maquinaria y procesos, el análisis de medidas de seguridad industrial para la línea de empaque, entre otras cosas.

En el caso de las secundarias se analizará información de medio escritos y digitales para buscar opciones que ayuden a desarrollar y aplicar la mejora continua en el sistema a desarrollar, contando así con el apoyo de expertos en el área tanto Industrial como de Mecatrónica para desarrollar un proyecto que sea factible en su realización. Las máquinas serán cotizadas previamente evaluado diferentes opciones en el mercado, en un futuro se pretenden construir maquinas en la universidad, utilizando un equipo multidisciplinario, esto con el fin de poner en práctica el talento de los miembros de la Universidad del Valle de Guatemala.

Sin embargo, una limitante es que, si el departamento cuenta con alguna intención de rediseño o modificación de la línea pactada originalmente, es necesario que se considere, como este cambio puede afectar el presupuesto, por lo que será clave que se realice nuevamente un análisis de costos, tiempo de fabricación de cualquier elemento e indicar la experiencia técnica necesaria del colaborador.

La segunda limitante es el espacio disponible en el laboratorio de ingeniería industrial, ya que la línea de empaquetado no podrá ser tan extensa y se tendrá que buscar la forma de optimizar al máximo el espacio disponible, el sistema contará con las suficientes para mostrar la importancia de la industria 4.0 en la actualidad.

La tercera limitante que se observa en el trabajo es que se tendrá que utilizar el factor humano, lo cual no era lo deseado desde un inicio. No obstante, es necesario para que el sistema funcione adecuadamente, además que se justificará en el trabajo el uso de ciertos operarios, los cuales serán estudiantes voluntarios en la cadena de empaquetado; sin embargo al estar los jóvenes interactuando con la línea de empaquetado ellos podrán fortalecer sus conocimientos sobre la relevancia de poder automatizar procesos, y también al contar con dos individuos de apoyo se podrá generar una reducción de costos ya que se producirá un ahorro en la compra de maquinarias que realicen estas funciones monótonas, siendo así un sistema semi automatizado el cual es más barato a comparación de un sistema que es totalmente automatizado.

La cuarta y última limitante sería lograr llamar la atención de los jóvenes, por lo que con una buena planificación del proyecto se buscará que el sistema funcione de forma óptima y logre motivar a los estudiantes a utilizarla de forma adecuada y enriquecer sus conocimientos sobre la industria 4.0.

Entre las áreas de excelencia que ha implementado el nuevo plan de estudio de la carrera de Ingeniería Industrial destacan tres áreas: procesos y producción, economía y finanzas, e investigación y desarrollo. A continuación, se describe cómo se aplicarían estas áreas en presente proyecto.

En el área de procesos y producción se busca proponer un modelo del proceso de empaquetado esto con el fin de que al desarrollar y construir el sistema este pueda tener un buen funcionamiento en la producción generando así que el producto terminado tenga buenos niveles de calidad y se cumplan con medidas de seguridad. En el diseño del sistema de empaquetado se creará con programa de AutoCAD buscando aprovechar y distribuir correctamente todos los componentes que existan.

Posteriormente para comprobar que este diseño sea viable se utilizara la herramienta de la simulación por lo que se utilizara el programa de Simio, esto con el fin de evaluar todos los tiempos de cada etapa del sistema determinar la cantidad de producto terminado en lapso de una hora, definir posibles cuellos de botella, utilidad de cada estación de la línea de empaquetado y si es posible promover el uso de maquinaria de la industria 4.0.

La segunda área consiste en economía y finanzas es aplicada en proyecto ya que se analizará información económica para determinar costos de maquinaria y materiales que se utilizaran en el sistema para determinar cuánto será necesario invertir en el proyecto y se analizará la viabilidad de la inversión. Se utilizará el balance de estado y el registro de costos y estados de flujo de efectivo para analizar la información recolectada de las cotizaciones recibidas para determinar el costo del proyecto de una línea de empaquetado en la Universidad del Valle de Guatemala.

Para posteriormente analizar la viabilidad de este por lo que se utilizaran herramientas como el uso del valor presente neto, el análisis de la TMAR y la TIR, análisis de escenario, analizando así toda la información y determinar si vale la pena esta inversión en el departamento.

La tercera área corresponde a la de investigación y desarrollo dado a que en este trabajo se buscará realizar una evaluación de la seguridad industrial principalmente del equipo que se desea implementar para el diseño de la línea de empaquetado. Por lo tanto, el objetivo principal será evaluar los posibles riesgos y consecuencias, para luego proponer medidas y barreras para evitar posibles accidentes o incidentes que atenten contra el equipo del Departamento de Ingeniería Industrial ni con cualquier individuo presente en el área de trabajo, por lo que se deberá realizar un análisis profundo para proponer un plan de seguridad que logre satisfacer la necesidad de velar por la seguridad industrial.

Por ende, a estas herramientas se demostrará los conocimientos adquiridos en la carrera con el diseño y planificación de este proyecto que tendrá un fin académico el cual es que los jóvenes puedan interactuar con un sistema que tenga elementos automatizados y logren entender la sincronización y estandarización en este tipo de líneas de trabajo, además de evaluar los costos y productividad de cada componente del sistema de la propuesta del modelo de la línea de empaquetado y así mismo mostrar la importancia de implementar un buen proceso en cualquier industria, esto con el fin de generar valor al proceso. Por lo que es importante destacar que toda la información que se presente en el trabajo será vital para que la universidad pueda contemplar en desarrollar el proyecto.

Finalmente, se le preguntó al Departamento de Ingeniería Industrial si es posible realizar la publicación de los datos e información de la investigación correspondientes, obteniendo una respuesta positiva dado a que el proyecto se desarrollará en su beneficio.

6. Metodología

6.1. Etapa 1: propuesta de diseño y distribución del sistema de empaquetado

En la primera etapa se determinó la maquinaria, pero principalmente el espacio de trabajo, analizando las condiciones del lugar y el espacio disponible. Por lo que se planteó, una propuesta viable de ejecutar en un futuro dentro del laboratorio de Ingeniería Industrial. A nivel industrial es importante hacer un diseño óptimo para así evaluar las condiciones de trabajo y aprovechar el espacio al máximo, por lo que se buscó en todo momento la optimización y generar una propuesta de línea de empaquetado óptima para el departamento. Para complementar información ver Anexo 1.

Por lo que se analizó todos los componentes como las bandas transportadoras que ya existían en el departamento y se agregaron las propuestas de la materia prima y la maquinaria para obtener un sistema de trabajo aprovechando el espacio y respetando el mismo.

6.1.1. Diseño de la línea automatizada de empaque

Lo principal para realizar un diseño fue entender el espacio disponible de trabajo por lo que se realizaron medidas de todo el laboratorio de ingeniería industrial para tener una idea del tamaño y así definir una propuesta de una línea de empaquetado. Por lo que se realizó las medidas del área de trabajo que serían los salones CIT 211 y CIT 212, principalmente el área del 212, en donde se colocará toda la línea de empaquetado con los robots y maquinaria automatizados que se contemplaron, además de que en este salón ya se cuenta con las bandas transportadoras que serán claves para el sistema que se desea implementar.

Por lo que al tener todos estos componentes se generará un diseño en 2D sobre cómo será la distribución del sistema final. Para la medición del área se usó un medidor de distancia láser el cual es una herramienta que genera un láser que mide la distancia de un área específica, siendo una herramienta actual y que en las industrias utilizan para hacer mediciones de forma fácil y exacta, siendo una herramienta con la cual el departamento de Ingeniería Industrial cuenta para que sus alumnos se acoplen a herramientas que son pueden usarse en diferentes industrias. Finalmente, al utilizar estas herramientas se logró generar un diseño indicando la distribución del espacio del laboratorio de ingeniería industrial.

6.1.1.1. Espacio de trabajo para emplear la línea de empaquetado

Este cuadro tiene diferentes colores los cuales representan diferentes elementos dentro del área de trabajo, mostrando así cómo podría ser la distribución de componentes dentro de las instalaciones del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle.

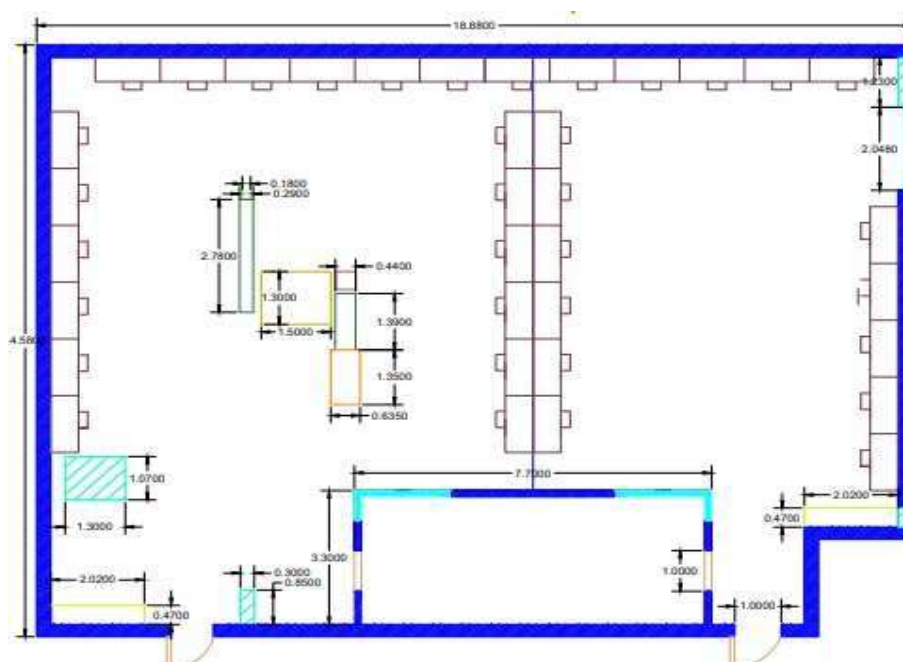
Cuadro 1. Información de *layers* utilizadas en el dibujo AutoCAD

Color	Sección que representa	Color	Sección que representa
	Banda transportadora		Formato del dibujo
	Brazo delta		Lockers
	Brazo robótico 6 grados de libertad		Margen del dibujo
	Cajas de cartón		Mesas
	Cajas de madera		Paredes
	Cajetín del dibujo		Puertas
	Columnas		Sellador Industrial
	Figuras		Vidrio

Fuente: elaboración propia

6.1.1.2. Dibujo de AutoCAD para representar la distribución del espacio

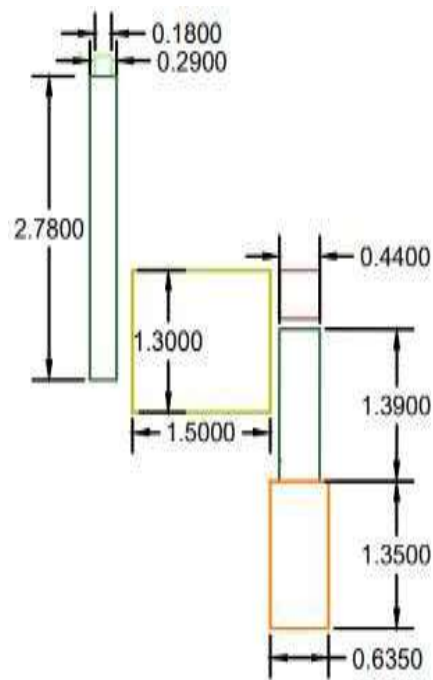
Figura 1. Distribución de espacio existente y ubicación de donde se colocará la línea de producción con el proceso automatizado (*layout*)



Fuente: elaboración propia

Las dimensiones de todo el laboratorio se muestran a continuación. Es importante establecer el espacio de trabajo viable que será el salón CIT-212. Se midió los diferentes componentes dentro del laboratorio del departamento de ingeniería industrial para entender el espacio disponible. Para complementar información ver Anexo 3.

Figura 2. Línea de producción con el proceso automatizado (*layout*)

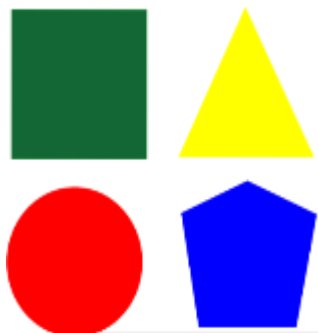


Fuente: elaboración propia

Las medidas muestran la longitud y anchura de las bandas transportadoras y las posibles dimensiones de los robots y máquinas que se utilizarán en la propuesta del sistema automatizado.

6.1.1.3. Diseño de la planta de empaque materia prima utilizada en la línea de empaquetado

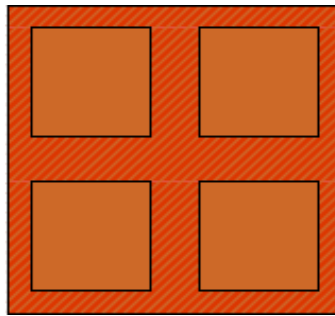
Figura 3. Prototipo de las figuras geométricas que se realizan con la cortadora láser



Fuente: elaboración propia

Estas figuras se diseñaron con el programa Inkscape teniendo un tamaño estándar de 4 cm * 4 cm, las cuales se utilizaron 4 unidades en cada caja de madera para así obtener el producto final. Algo a resaltar es que este sería el prototipo en 2D, por lo que es importante destacar que el grosor de las piezas será de 3 mm. Para complementar diseño físico ver Anexo 8.

Figura 4. Prototipo de la caja donde se colocarán las figuras geométricas, esta caja se realizará con cortadora láser

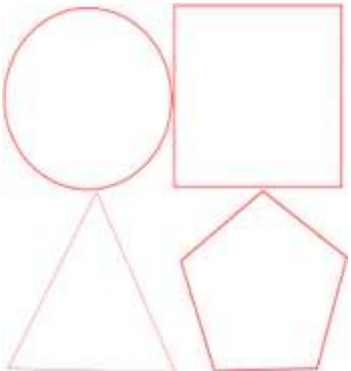



Fuente: elaboración propia

En estas cajas se colocaron 4 figuras geométricas para así obtener el producto final el cual sería la unión de diferentes piezas. Es importante resaltar que cada pieza cuenta con un grosor de 3 mm. Al unificar todas las piezas se obtendrán las cajas que contendrán las 4 piezas que se seleccionen anteriormente obteniendo así el producto final. Para complementar información ver Anexo 9.

6.1.2. Materia prima terminada





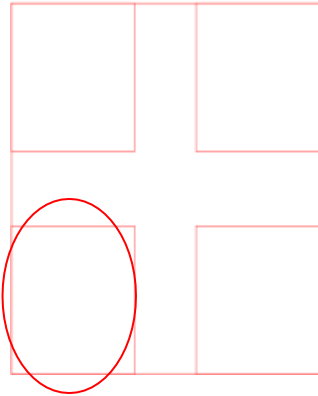

Cuadro 2. Comparación de diseño con prototipo


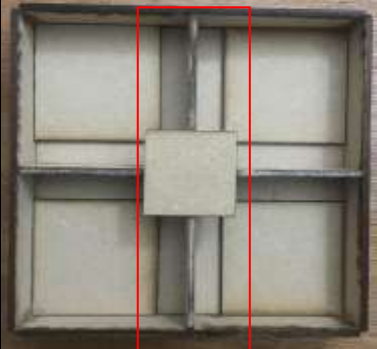
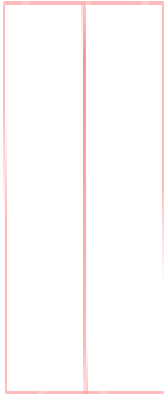
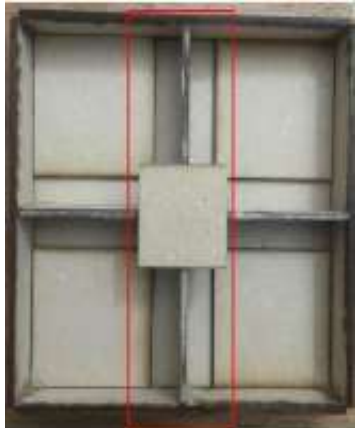
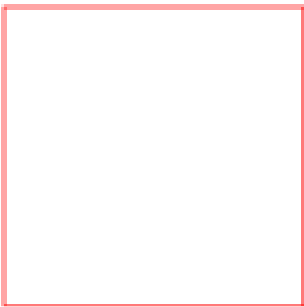

Diseños en Inkscape (todas las figuras miden 4 metros de ancho y 4 de altura)	Prototipo realizado en madera MDF
	

Fuente: elaboración propia

6.1.3. Material de empaque terminado

Cuadro 3. Comparación de diseño con prototipo

Parte de la caja	Diseño de cada componente en Inkscape	Prototipo realizado en madera MDF
Base de la caja de 15 cm * 15 cm		
Bordes externos de la caja de 15 cm * 3 cm		
Soportes para cada espacio de las cajas de madera de 5 cm * 5 cm		

<p>División central para separar los espacios de la caja medición de 14.7 cm * 3 cm</p>		
<p>Decisiones de los espacios de la caja de medición de 7.32 cm * 3 cm</p>		
<p>Centro de la caja para que el brazo pueda realizar la succión</p>		

Fuente: elaboración propia

6.1.4. Equipo con el que se realizaron los prototipos

Figura 5. Cortadora laser de madera MDF



Fuente: (rental, s. f.)

Estos diseños son fundamentales ya que tienen el fin de ejemplificar a cualquier individuo cómo se llevará a cabo el desarrollo de la línea de producción y la idea que se desea plantear, para que luego se ejecute, utilizando la cortadora láser que se cuenta en el D-Hive de la Universidad del Valle de Guatemala, siendo la máquina utilizada la PLS 4.75, destacando que esta máquina generaría piezas con cortes rápidos y precisos. Adicionalmente el material que se utilizaría para la materia prima sería madera MDF.

Adicionalmente es importante destacar que existe otras máquinas de la industria 4.0 que se pudieron utilizar para desarrollar la materia prima, como la impresora 3D o la compra de materiales prefabricados. Es importante mencionar que uno de los principales fines de este trabajo es mostrarles a los jóvenes la relevancia y la importancia de utilizar herramientas que nos brinda la industria 4.0, por lo que se decidió utilizar un equipo del laboratorio de D-Hive. Por lo cual, se eliminó la opción de impresora 3D, dado a que los costos y tiempo de producción iban a ser mayores por el gasto del plástico que utiliza la máquina para generar una pieza como la caja y las mismas figuras con el grosor requerido.

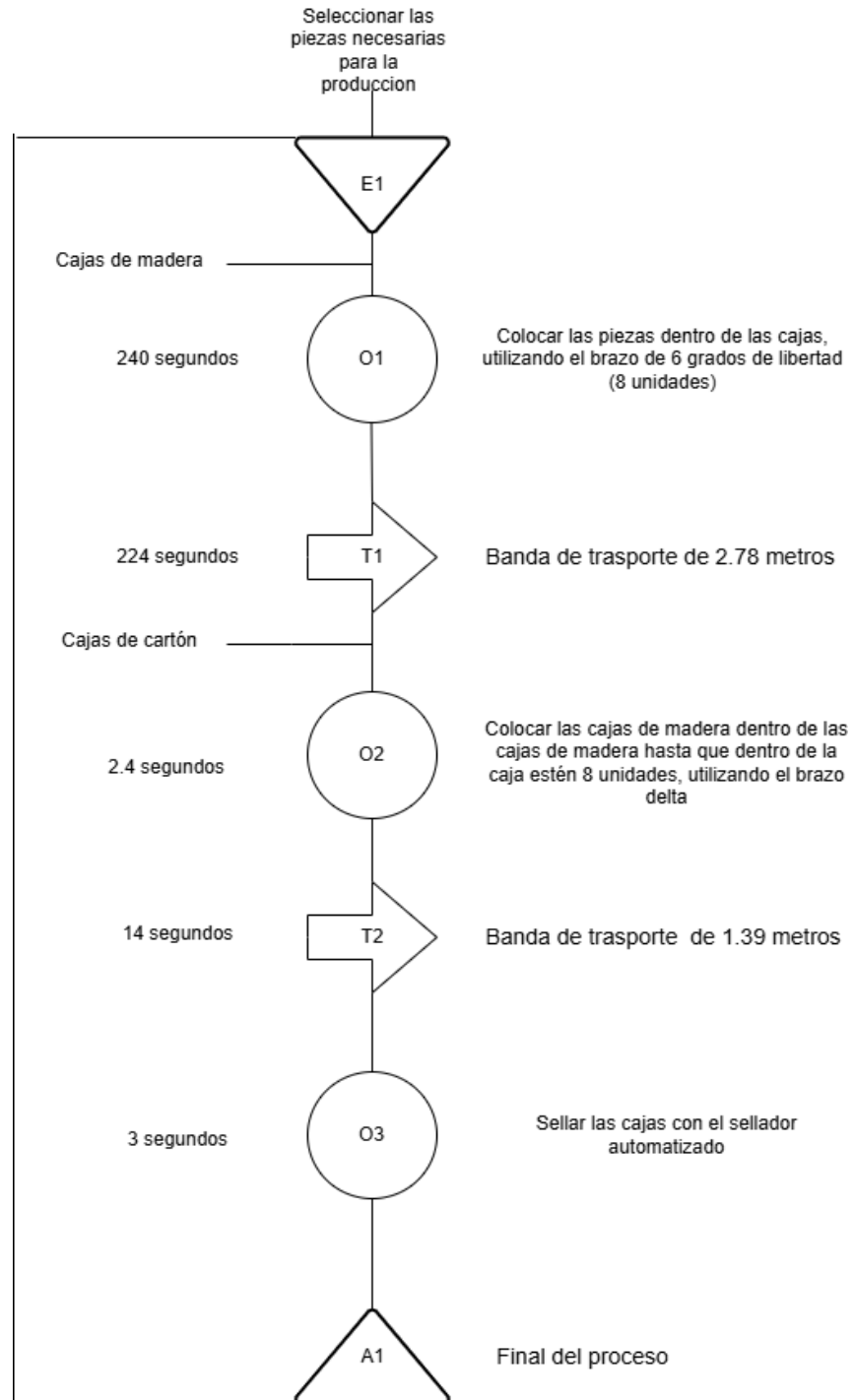
Es importante destacar que al utilizar la impresora 3D el acabado de las piezas sería menos uniforme generando que el robot de 6 grados de libertad cuando intente succionar se le podría dificultar dado a que la superficie no es lisa, algo que definitivamente no sucedería con la madera MDF. Es importante destacar el valor pedagógico ya que fomenta a los estudiantes a conocer el D-Hive, el cual es un espacio que tiene disponible, pero que muchos jóvenes no conocen desde su inicio como estudiantes universitarios de tan prestigiosa institución académica, además de que al utilizar un equipo en el D-Hive aprenden sobre seguridad industrial y medidas básicas que deben respetar cuando estén en el área de trabajo y utilizando la maquinaria.

Finalmente, se utilizó el programa Inkscape, el cual es un programa que es compatible con las cortadoras láser del departamento, generando así que los jóvenes se interesen en utilizar esta maquinaria, en caso de necesitar desarrollar alguna pieza para un trabajo universitario y también capacitarse en diferentes componentes que dispone este laboratorio fortaleciendo sus competencias a nivel industrial. Es importante mencionar que es necesario que a la hora de utilizar la madera y la cortadora láser se aproveche al máximo los recursos. Para complementar información ver Anexo 10 y 11.

6.1.5. DOP

Diagrama de recorrido de la línea de empaquetado de piezas y cajas creadas a base de cortadora laser

Método: Actual
 Fecha de elaboración: 2024
 Elaborado por:
 Diego Samayoa



Fuente: elaboración propia

Resumen

Resumen		
Elemento	Número	Número
Entrada de bienes	01	0
Operación	03	245.4 segundos
Transporte	02	238 segundos
Almacenamiento	01	0
Total	07	483.4 segundos

Fuente: elaboración propia

Al analizar los datos se mostrará como la línea de producción se desarrollará un diagrama de operaciones de los procesos el cual sirve para representar gráficamente y mediante símbolos como se llevará a cabo el proceso de la línea de empaquetado, además de analizar los tiempos que tomará cada operación involucrada en el sistema. Estos tiempos se determinarán por medio de la simulación la cual será planteada en la siguiente etapa del trabajo. Adicionalmente, con este resumen se determina que la mayor cantidad de tiempo del sistema se invierte en las 3 operaciones esto dado a que se debe de repetir varias veces el proceso para lograr obtener la caja con las 8 unidades de cajas con diferentes figuras geométricas de madera.

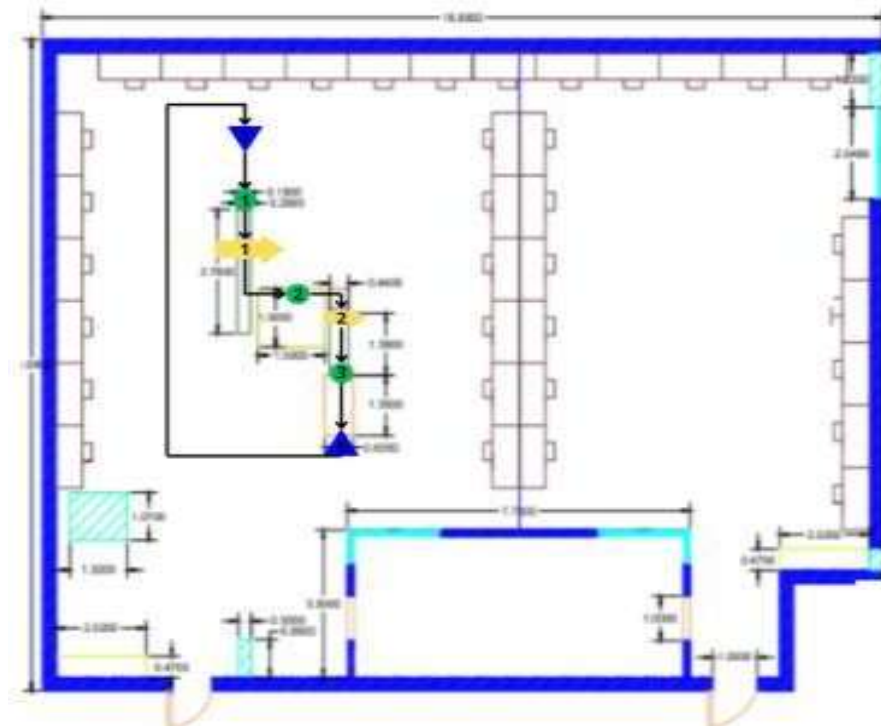
La primera estación tendrá un tiempo de 30 segundos y la banda transportadora tendrá una duración de 28 segundos, sin embargo, como el proceso se repite 8 veces se multiplica este proceso 8 veces, además que entre la primera estación y la primera banda transportadora se demorará 4 minutos, obteniendo así la caja de empaque con 8 unidades estandarizadas, para finalmente culminar con el empaquetado.

En el empaquetado se utilizará un robot delta el cual tendrá una reacción de 0.3 segundos para colocar el producto terminado en las cajas de cartón y al tener ocho unidades adentro se movilizará la misma por la banda transportadora tardándose 14 segundos para finalmente culminar el proceso con el sellador de cajas semiautomatizado el cual se tarda 3 segundos en realizar su tarea y así obtener el producto terminado y empaquetado, mostrando así un proceso donde la automatización tiene un papel importante.

6.1.6. Diagrama de recorrido

En el diagrama a de recorrido se colocarán todas las figuras del DOP en el dibujo diseñado en AutoCAD, evidenciando una representación gráfica de como en el espacio de trabajo se realizaron las tareas del sistema, determinar la cantidad de transporte que están involucrados en la línea de trabajo y definir el inicio y fin del sistema, esto con el fin de buscar la estandarización del proceso para que este funcione de la manera más óptima y ordenada.

Figura 6. Espacio de trabajo con el diagrama de recorrido



Fuente: elaboración propia

Al tener el diseño de nuestro sistema mediante un *layout*, es fundamental realizar un diagrama de recorrido, el cual tiene la finalidad de cómo se ejecutará el proceso de empaquetado de una forma gráfica y que sea fácil de entender a cualquier individuo ya sea experto o no lo sea. Para complementar información ver Anexo 4.

6.1.7. Maquinaria a utilizar

Cuadro 4. Maquinaria y robots propuestos para la línea de empaquetado

Máquinas automatizadas	Proveedor de maquinas a utilizar en el sistema	Nombre de a máquina a utilizar	Imagen
Brazo robótico de 6 grados de libertad	MADE-IN-CHINA - Foshan Zekeep Technology Co., Ltd	ZKBOT-3086	
Brazo delta	MADE-IN-CHINA - Foshan Zekeep Technology Co., Ltd	R1100	
Sellador semi-automatizado	MADE-IN-CHINA - Qingdao Goldtec Machinery Co.,Ltd	TZ	

Fuente: (Made-in-China, s. f.)

Figura 7. Transporte del proceso



Fuente: (Amazon, s. f.)

Para transportar la materia prima y el producto terminado se utilizó las bandas transportadoras que están en el laboratorio actualmente por lo que se utiliza este recurso para poder emplear la línea de empaquetado. Es importante destacar que es el único elemento que está disponible desde varios años en el departamento, por lo que se utilizará para esta línea automatizada de empaquetado. Para complementar información ver Anexo 2.

6.2. Etapa 2: simulación del sistema de empaquetado

En esta etapa se realizará una simulación para evaluar el funcionamiento del sistema de empaquetado evaluando el funcionamiento de la línea de trabajo y los tiempos que posiblemente demorará cada estación del sistema. Es fundamental destacar que es necesario establecer que para esto se utilizará el programa de Simio el cual funcionará para determinar los datos a analizar.

Se debe definir cada detalle de la simulación para que cualquier persona pueda entender el sistema y se pueda crear la mejor versión del mismo obteniendo así datos que sirvan como la cantidad de cajas que se producirán en un cierto tiempo, determinar cuellos de botella innecesario y el tiempo de empaquetado de toda la materia prima, entre otra información a analizar.

6.2.1. Simulación

La simulación es una herramienta muy útil que todo ingeniero industrial debe saber utilizar en caso de ser necesario en los diferentes tipos de industrias, buscando siempre generar valor en toda tarea. Además, es importante que todo profesional actualice su conocimiento para estar a la vanguardia en la innovación tecnológica. Esto con el fin de aplicar esta herramienta para evaluar problemáticas industriales y proponer soluciones viables que generen un impacto.

Es por esta razón que es vital que cualquier ingeniero que labore en empresas nacionales o internacionales pueda realizar simulaciones de sistemas y analizar los datos recopilados, ya que si este proceso se realiza de forma correcta se puede comprobar la productividad del conjunto de operaciones o identificar posibles cuellos de botella que sean negativos para el proceso, evitando así que estos se lleven a cabo en el mundo real y puedan generar repercusiones negativas en el ámbito económico de la institución.

Esta herramienta nos permite experimentar y evaluar variables en diferentes softwares especializados y así realizar un análisis profundo de los resultados obtenidos y evaluar si estos son factibles o se necesita realizar modificaciones. Por ende, para evaluar que el sistema sea el óptimo se realizará una simulación en el programa Simio para que se pueda ejemplificar cómo funciona la línea de empaque, y a su vez mostrarles a los estudiantes la importancia de esta herramienta esto para evaluar sistemas, tiempos, reducir costos y optimizar operaciones.

En la simulación se notó que es importante el factor humano principalmente en dos tareas, en la de colocar las tareas de cartón en la segunda banda transportadora y la de volver a colocar toda la materia prima en su lugar. Por lo que surgió una duda ¿Un sistema automatizado puede tener factor humano? y la respuesta es que si, aunque a nivel industrial no es lo más recomendable la finalidad de esta línea de empaque es con fines académicos y es importante mostrarle a los estudiantes la importancia de la cadena de suministros y en este caso es más rentable contratar a un individuo que coloque cajas, la cual es una tarea que no genera mucha holguras y que no necesita de una capacitación excesiva, por lo que no se recomienda la compra de una máquina que haga esa tarea.

El segundo operario tendrá la tarea de colocar toda la materia prima en su lugar original. Aunque esta tarea no es viable e idónea se debe realizar para cumplir con las necesidades de esta línea de empaquetado para que las tareas se realicen de forma cíclicas y que los estudiantes puedan involucrarse en el sistema.

6.2.2. Simulación del proceso

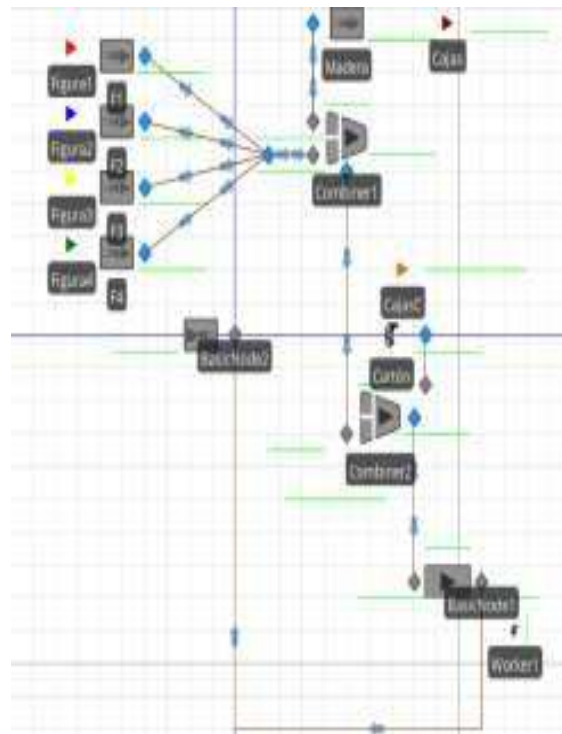
Para el proceso de la simulación se establecerá 4 *source* que representarán las 4 figuras que se colocaran dentro de las cajas generando así un solo *source* que contenga las 4 unidades utilizando así la primera maquinaria robotizada, luego se transportará hasta el brazo delta el cual se encargaría de colocar 8 unidades dentro de cada caja para así transportar todo el producto a la selladora industrial y finalizar el proceso.

6.2.3. Bases de la simulación del sistema

Al inicio se debe colocar las 4 en figuras que son representadas por las entidades las cuales serán transportadas para ser combinadas con la caja de madera completando así la primera tarea.

Luego de tener todos los componentes juntos se colocan en la banda transportadora hasta la segunda operación donde se combinan 8 de estas unidades en una caja de madera para luego ser transportadas a la tercera operación. En la tercera operación se sella la caja y se obtendrá un producto final el cual sale del sistema y se obtendría una unidad con la cantidad de producto estándar que serían 8 unidades de cajas con figuras geométricas de madera.

Figura 8. Estructura del sistema de empaquetado



Fuente: elaboración propia

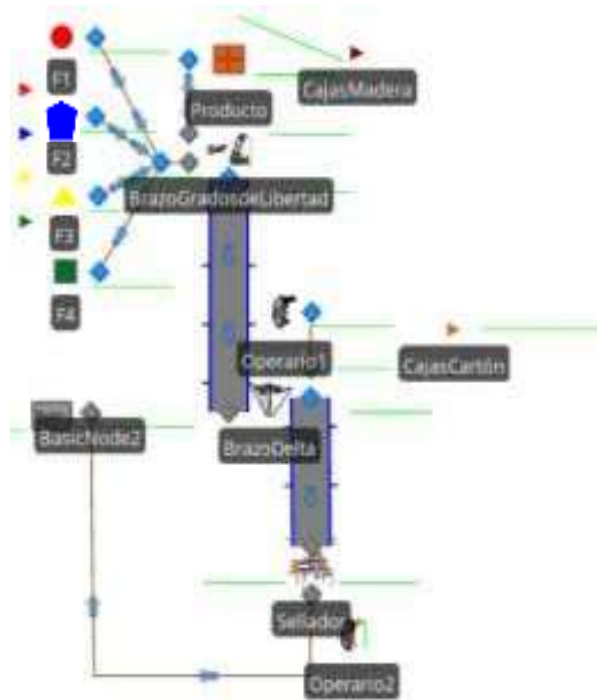
Para la simulación se estableció 4 *entities* que serían las diferentes figuras, las cuales se colocaron dentro de otra *entity* que sería la caja de madera en la que se colocaron 4 unidades utilizando en Simio un *combiner*, para luego transportarla por la banda transportadora.

Posteriormente otro *combiner* colocó 8 unidades dentro de la caja de cartón, cuando se logre eso se movería el empaque en la segunda banda transportadora para finalmente sellar la caja con la selladora semiautomatizada y así obtener el producto empaquetado final.

6.2.4. Simulación del sistema con las máquinas y piezas

Al tener ya establecido las tareas en el sistema, únicamente se colocan representaciones en 2D para que sea más claro cómo sería el funcionamiento del sistema de empaquetado. Para observa a más detalle ver Anexo 5.

Figura 9. Estructura del sistema de empaquetado utilizando símbolos en 2D

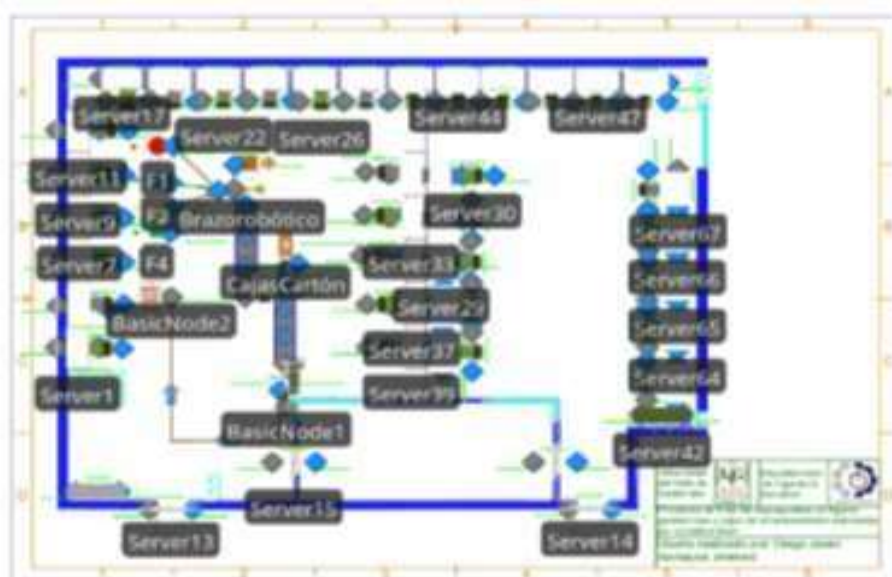


Fuente: elaboración propia

6.2.5. Sistema de empaquetado distribuido en el área del departamento de Ingeniería Industrial.

Posteriormente se coloca el diseño previamente realizado en AutoCAD en el fondo, ya que éste será útil para realizar la simulación en 3D.

Figura 10. Estructura del sistema de empaquetado utilizando símbolos en 2D y el diseño de AutoCAD



Fuente: elaboración propia

6.2.6. Sistema de empaquetado en 3D

Posteriormente se utilizan las herramientas que el programa simio posee para elevar las paredes y colocar el equipo para asemejar al laboratorio de ingeniería industrial, obteniendo así un resultado que muestra cómo estaba distribuida la línea de empaquetado en el área de trabajo. Para complementar detalle ver Anexo 6.

Figura 11. Estructura del sistema de empaquetado en 3D



Fuente: elaboración propia

Al evaluar la simulación del sistema también es necesario determinar las holguras que pueden presentar nuestros colaboradores por lo que es necesario evaluar estas para determinar si son altas o que acciones se podrían implementar para buscar la mejora continua dentro del sistema de trabajo.

Finalmente se crea el modelo en 3D, el siguiente paso es colocar y verificar los valores en cada elemento importante de la simulación y correr el modelo durante un cierto tiempo específico para determinar si datos mediante la simulación y poder analizar si el sistema podría funcionar en el mundo real y generar valor para los estudiantes de Ingeniería Industrial.

6.2.7. Resultados de la simulación

Al analizar toda la simulación se obtienen los siguientes resultados, los cuales tienen su análisis correspondiente:

Cuadro 5. Resultados de la simulación en Simio

Objetos de la simulación	Descripción de lo que sucede en el sistema	Valor de la operación del sistema e interpretación de lo sucedido en la simulación
<i>Source</i> Cajas de cartón	La cantidad de <i>entities</i> (cajas) que el trabajador 1 coloca en la banda transportadora) que entraron y salieron del sistema de empaquetado.	Se procesaron 15 cajas de cartón, sin embargo, finalizadas exitosamente fueron 14 cajas, demostrando que 1 caja se quedó a la mitad del proceso de empaquetado al finalizar la hora de simulación.
<i>Source</i> Figuras	La cantidad de <i>entities</i> (figuras) que se entraron y salieron del sistema de empaquetado y que se colocaron en todas las cajas de madera.	En cada caja de madera se colocaron 4 figuras, por lo que se utilizaron 480 figuras en total. Sin embargo, al solo concluir de empaquetador 14 cajas se determina que 448 figuras fueron utilizadas en producto empaquetado.
<i>Source</i> Cajas de madera	La cantidad de <i>entities</i> (cajas de madera) que entraron y salieron del sistema de empaquetado.	120 cajas de madera se empezaron, sin embargo, únicamente 14 cajas fueron empaquetadas exitosamente con 112 productos terminados.
<i>Server</i> Brazo robótico de 6 grados de libertad	Se analiza el <i>Holding Time</i> , específicamente el <i>Time in Station</i> hace referencia al tiempo que demora realizar una actividad del aparato que es parte del sistema.	Se tarda 0.00166667 horas, es decir 6 segundos se tarda el aparato en hacer un movimiento, sin embargo, para completar el producto debe realizar 5 movimientos por lo que para completar el producto se tarda 30 segundos, para posteriormente ser transportado por la banda
<i>Server</i> Brazo robótico de 6 grados de libertad	<i>Processing</i> hace referencia a la actividad de procesamiento / producción, esto se refiere la cantidad de <i>entities</i> que entraron y salieron del procesamiento.	120 unidades de 4 figuras se fabricaron, creándose y saliendo de la estación, para posteriormente ser colocadas en la banda transportadora.

<i>Server</i> Brazo Robótico de 6 grados de libertad	El <i>Scheduled Utilization</i> se utiliza para mostrar el porcentaje que se utilizó esta máquina.	El porcentaje de utilidad de la máquina es del 20 %, mostrando así que el tiempo muerto que tiene esta máquina durante el proceso de empaquetado es del 80 %.
Banda transportadora de 2.78 metros	El <i>Throughput</i> nos ayuda a identificar cuantas piezas entran a la banda transportadora y salen de la misma.	Mediante el análisis de la banda transportadora se muestra que entraron 120 productos terminados sin embargo únicamente pasaron a la siguiente estación 119 productos terminados, mostrando así que únicamente se pudieron empaquetar 14 cajas con 8 unidades.
<i>Server</i> Brazo Delta	Se analiza el <i> Holding Time</i> , específicamente el <i>Time in Station</i> hace referencia al tiempo que demora realizar una actividad del aparato que es parte del sistema.	En 0.3 segundos reacciona este brazo automatizado recogiendo el producto terminado y colocándolo dentro de las cajas de cartón, para posteriormente ser transportado por la segunda banda transportadora.
<i>Server</i> Brazo Delta	<i>Processing</i> hace referencia a la actividad de procesamiento / producción, esto se refiere la cantidad de <i>entities</i> que entraron y salieron del procesamiento.	15 cajas iniciaron el proceso de empaquetar la materia prima, sin embargo, únicamente 14 cajas se terminaron de procesar exitosamente, conteniendo así 112 unidades en sus interiores.
<i>Server</i> Brazo Delta	El <i>Scheduled Utilization</i> se utiliza para mostrar el porcentaje que se utilizó esta máquina.	El tiempo de utilidad de esta máquina es del 0.12 %, mostrando así que el tiempo muerto es de 99.88 %.
Banda transportadora de 1.39 metros	El <i>Throughput</i> nos ayuda a identificar cuantas piezas entran a la banda transportadora y salen de la misma.	Mediante el análisis de la banda transportadora se muestra que entraron 14 cajas con el producto terminado y salieron la misma cantidad.
<i>Server</i> Selladora Semiautomatizada de Cajas	Se analiza el <i> Holding Time</i> , específicamente el <i>Time in Station</i> hace referencia al tiempo que demora realizar una actividad del aparato que es parte del sistema.	En 3 segundos la selladora pudo realizar su función, generando así que la caja estuviera sellada y el sistema de empaquetado se finalizara.

<i>Server Brazo Robotico de 6 grados de libertad</i>	<i>Processing</i> hace referencia a la actividad de producción, esto se refiere la cantidad de <i>entities</i> que entraron y salieron del procesamiento.	Las 14 unidades que entraron en la estación se procesaron exitosamente, obteniendo así 14 cajas selladas con 112 productos terminados.
<i>Server Brazo Robotico de 6 grados de libertad</i>	El <i>Scheduled Utilization</i> se utiliza para mostrar el porcentaje que se utilizó esta máquina.	El porcentaje de utilidad de la máquina es del 1.23 %, mostrando así que el tiempo muerto que tiene esta máquina durante el proceso de empaquetado es del 98.77 %.
Individuo 1 (Colocar la caja)	Tiempo en el que el trabajador debe colocar las cajas.	El tiempo que el trabajador debe colocar las cajas para que la máquina delta coloque cada producto en el interior de las cajas de cartón debe cumplir con una distribución uniforme de mínimo 240 segundos y máximo de 250 segundos. Destacando que al ser una tarea humana el proceso no puede presentar variaciones por lo que se usa la distribución donde el individuo pueda actuar a tiempo o se tarde en realizar la tarea.
<i>Worker Individuo 2</i>	El porcentaje de utilidad del trabajador 2, que su tarea será colocar toda la materia prima en su lugar respectivo.	El porcentaje de utilidad del trabajador 2 es del 12.90 %. Además, es importante resaltar que al ser una tarea realizada por un humano el tiempo de realizarla puede variar, sin embargo, este debe estar atento a estar presente para recibir la siguiente caja con el producto terminado.
<i>Worker Individuo 2</i>	Distancia que recorre la persona en la simulación para volver a colocar todo en su lugar.	Según la simulación el operario caminaría aproximadamente 213.69 metros, aunque esto variará de la distribución final de la línea de empaquetado.

Fuente: elaboración propia

En la línea de empaquetado, el brazo robótico de 6 grados de libertad genera 120 unidades las cuales son transportadas por la banda logrando llegar 119 productos terminados en la hora de la simulación, para luego en la segunda estación el brazo delta será el encargado de colocar el producto terminado en las cajas las cuales previamente fueron colocados por el individuo logrando obtener 14 cajas con 112 unidades y la última caja con 7 unidades la cual no se completó en la hora de la simulación.

La tercera y última estación las 14 cajas de cartón se sellaron por el sellador semiautomatizado de cajas y se obtendría así que durante la hora el sistema logra empaquetar exitosamente 14 cajas que contengan 112 unidades del producto creado a base de la cortadora láser. Es importante destacar que al utilizar factor humano estos deben estar pendiente a sus tareas para no atrasar el sistema de trabajo o afectar el mismo y genere una disminución de empaques finalizados exitosamente.

Finalmente, los tiempos muertos en las máquinas son altos dado a que en la automatización se busca que todo sea más ágil, sin embargo, si se aumenta la velocidad de las bandas transportadoras la utilidad de las máquinas puede aumentar. Es importante recalcar que la línea tiene fines de mostrar la automatización por lo que se coloca una velocidad considerable para que los alumnos puedan ver el proceso perfectamente.

Cuadro 6. Máquinas

Máquinas	Tiempo estandarizado
Brazo robótico	Cada movimiento se tarda 6 segundos, en total 30 segundos por producto
Brazo delta	Por cada producto para colocarlo en el empaque es de 0.3 segundos
Sellador semiautomatizado de cajas	En sellar la caja se tarda 3 segundos

Fuente: elaboración propia

Cuadro 7. Bandas transportadoras

Bandas transportadoras	Tiempo Estandarizado
Banda transportadora de 2.78 metros	28 segundos
Banda transportadora de 1.39 metros	14 segundos

Fuente: elaboración propia

Cuadro 8. Personal

Estudiantes	Tiempo para realizar la tarea
Estudiante 1	El tiempo en que actúa la persona su tarea es de 240 a 250 segundo
Estudiante 2	La persona debe realizar su tarea en un máximo de 30 segundos

Fuente: elaboración propia

6.2.8. Holguras que van a presentar los trabajadores

Las holguras siempre se deben de tomar en cuenta cuando se trabaja con personas dado a que estas por diferentes factores pueden presentar complicaciones para realizar su trabajo, por lo que es recomendable analizar el porcentaje de holguras que se puede presentar cada trabajador para buscar mejorar el espacio de trabajo, reducir las demoras evitables o inevitables y promover mejores resultados a nivel de productividad.

6.2.8.1. Holgura constante

La holgura constante es igual a 9 %, la cual se divide en las necesidades personales que es equivalente al 5 % y la de fatiga básica que representa el 4 %. Es importante destacar que esta holgura siempre se va a presentar en todos los trabajadores que realice un humano sin importar qué tarea está realizando el individuo.

6.2.8.2. Holgura variable

Analizando la propuesta, es posible que los 2 trabajadores puedan presentar los siguientes porcentajes de fatigas en estos aspectos. Los datos que se utilizan para evaluar las holguras variables se determinaron por información de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) (Niebel & Freivalds, 2009).

Cuadro 9. Holguras de fatiga para los dos estudiantes

Fatigas que puede presentar el trabajador	Individuo 1	Individuo 2
El trabajador está de pie la mayoría del tiempo, por lo que presenta una posición anormal y puede generar incomodidad.	2 %	2 %
Peso que el individuo carga, en el caso del trabajador 1 esta carga una caja vacía que presenta menos de 5 libras. En el caso del trabajador 2 aunque su carga es mayor que el primero no supera las 5 libras por lo que su holgura es similar. Aunque tiene más tendencia al cansancio.	0 %	0 %
Buena iluminación en el área de trabajo	0 %	0 %
Condición atmosférica favorable	0 %	0 %
Trabajo poco fino	0 %	0 %
Nivel de ruido bajo	0 %	0 %
Esfuerzo mental bajo	0 %	0 %
Monotonía en el trabajo	4 %	4 %
Trabajo tedioso	5 %	5 %
Fatiga que presenta los trabajadores	11 %	11 %

Fuente: elaboración propia

6.2.8.3. Holgura especial

En este trabajo al tener un factor considerable de automatización se espera que no se presenten problemas en la línea de empaquetado por lo que la holgura especial será de 0 %. Algunas problemáticas que se puedan presentar en el sistema es que se detenga repentinamente o que exista un accidente lo cual genera retraso en la producción del empaquetado del producto terminado.

6.2.8.4. Total de holguras por trabajador en la línea de empaquetado

Cuadro 10. Holgura total que presentan los dos trabajadores en la línea de empaquetado

Holguras	Trabajador 1	Trabajador 2
Constante	9 %	9 %
Fatiga	11 %	11 %
Especial	0 %	0 %
Total holgura por trabajador	20 %	20 %

Fuente: elaboración propia

Analizando las holguras de determina que la holgura del trabajador 1 y 2 es igual, ya que es del 20 %, determinando así que principalmente el proceso podría generar complicaciones porque las tareas son tediosas y monótonas. Se debe destacar que este proceso lo realizan durante 1 hora, diferentes a una jornada normal de 8 horas por lo que no se mostraría un impacto significativo en los trabajadores.

6.3. Etapa 3: plan de seguridad industrial para determinar riesgos y consecuencias, para luego proponer barreras y medidas de seguridad

La seguridad industrial es algo fundamental de analizar en todo trabajo independientemente de qué tan complejo sea el proyecto, ya que los riesgos siempre están presentes y son latentes y si estos no son analizados pueden generar incidentes o accidentes que atenten contra diferentes componentes o incluso vidas.

Adicionalmente es importante que toda industria analice qué tipo de riesgo se puede presentar y tratarlo de la forma correcta. Además, es fundamental que se mide qué tan probable puede ser el riesgo y que tan grave puede ser, es por esto que se utiliza las matrices de riesgo las cuales indican que tan rápido y urgente deben actuar las instituciones para tratar estas problemáticas.

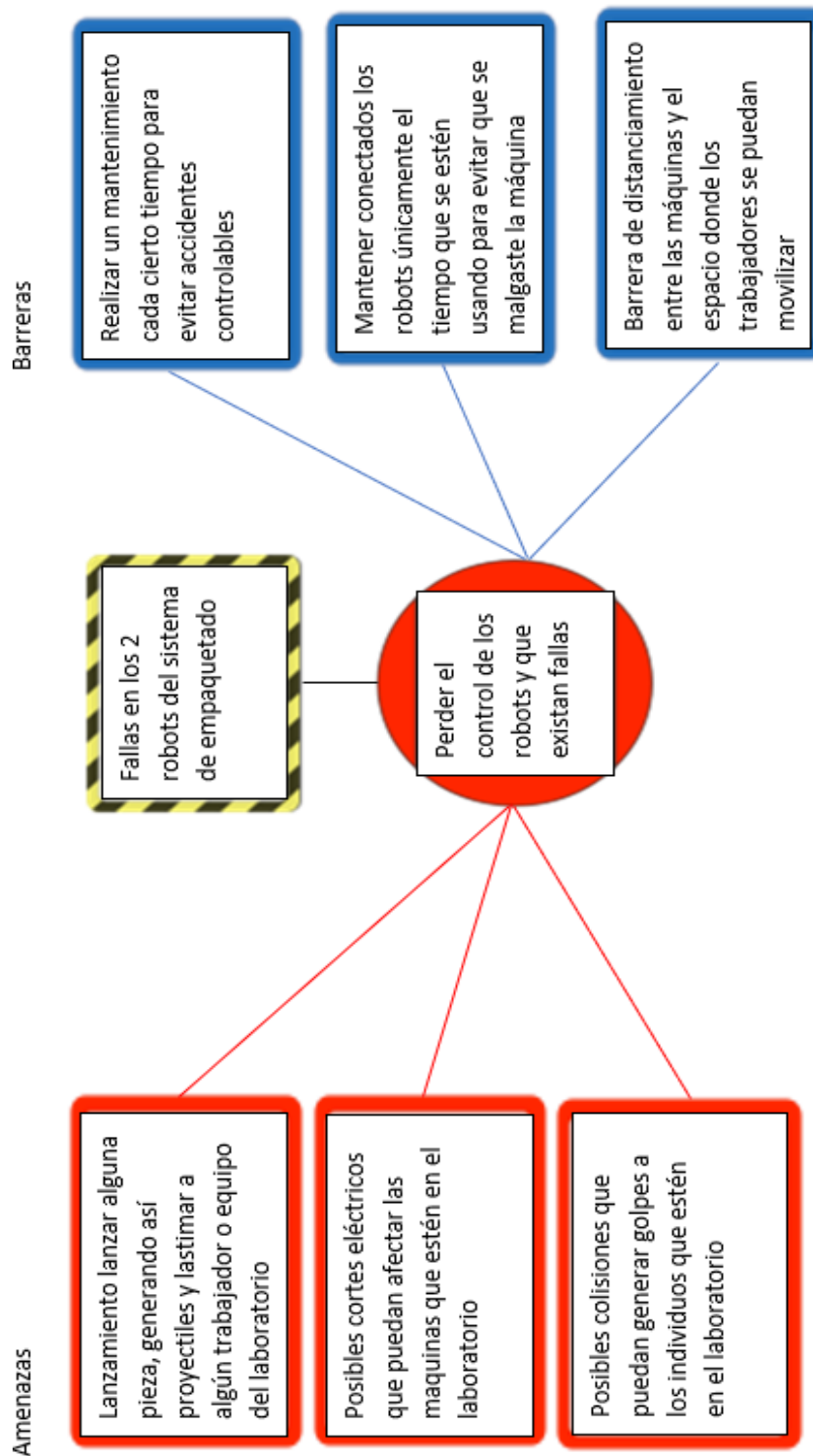
Al recolectar esta información se puede implementar un plan de seguridad el cual tendrá el objetivo de analizar el panorama y determinar acciones o herramientas para actuar ante alguno de estos males que pueden existir. Es importante destacar que los riesgos siempre van a existir y que surjan están fuera de nuestras manos, pero si está en nuestro control buscar disminuir su posible impacto.

6.3.1. Plan de seguridad para línea de empaquetado de cajas y figuras geométricas y cajas de almacenamiento elaboradas con cortadoras láser

En este plan de seguridad para el sistema de trabajo se buscará identificar posibles riesgos que puedan existir a la hora de llevar a cabo la línea de trabajo proponer barrera que puedan ser eficientes para reducir los riesgos y finalmente proponer el equipo de seguridad necesario y el reglamento que los trabajadores deberán seguir para resguardar el equipo del área de trabajo y la integridad suya y de los demás. Por lo que el fin de esta parte es identificar riesgos por partes de todo el sistema de trabajo y proponer barreras que se puedan aplicar.

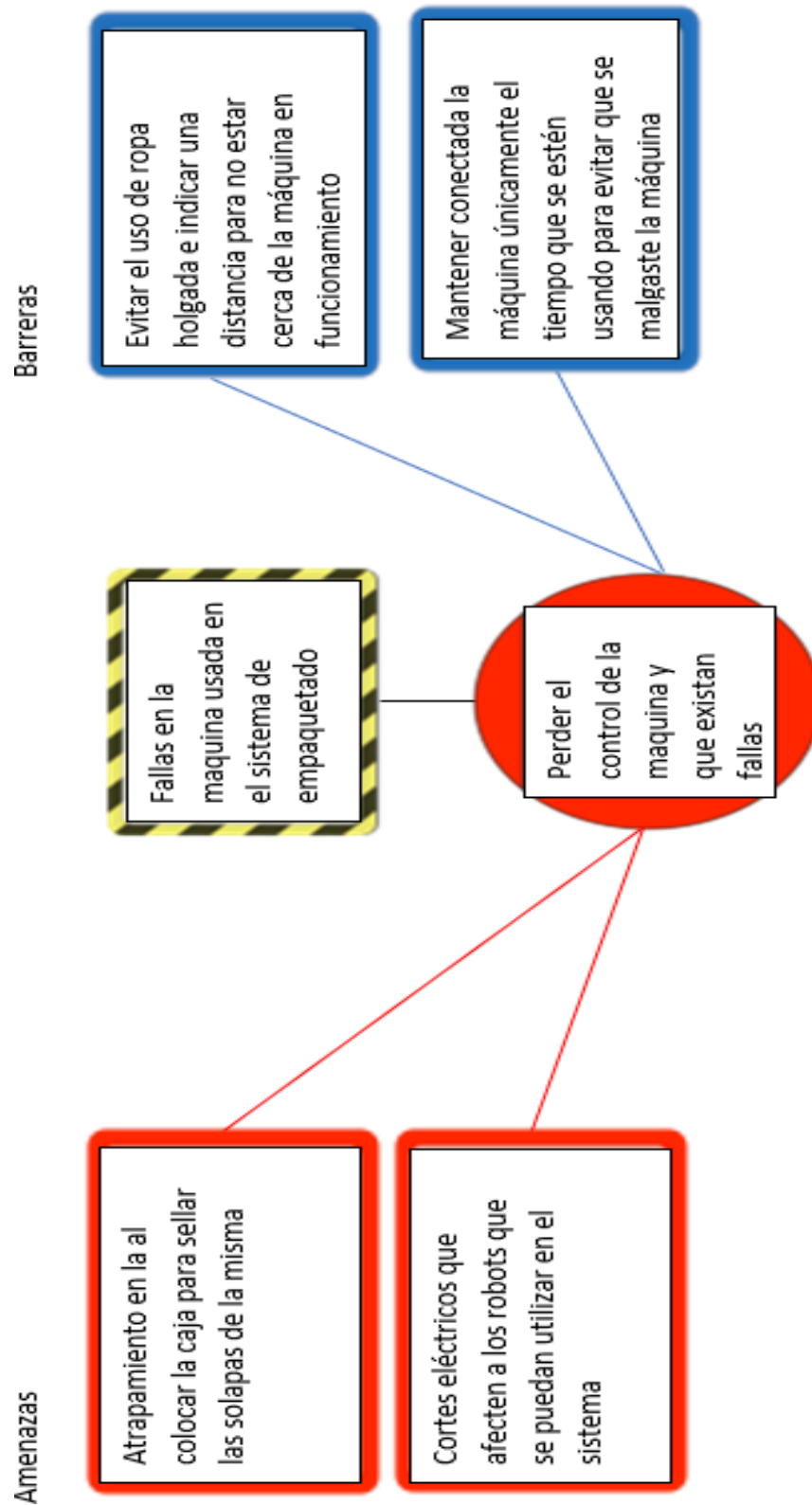
6.3.1.1. Diagrama Bow-Tie

Figura 12. Diagrama Bow-Tie de la estación 1 y 2 del sistema automatizado (brazos robóticos)



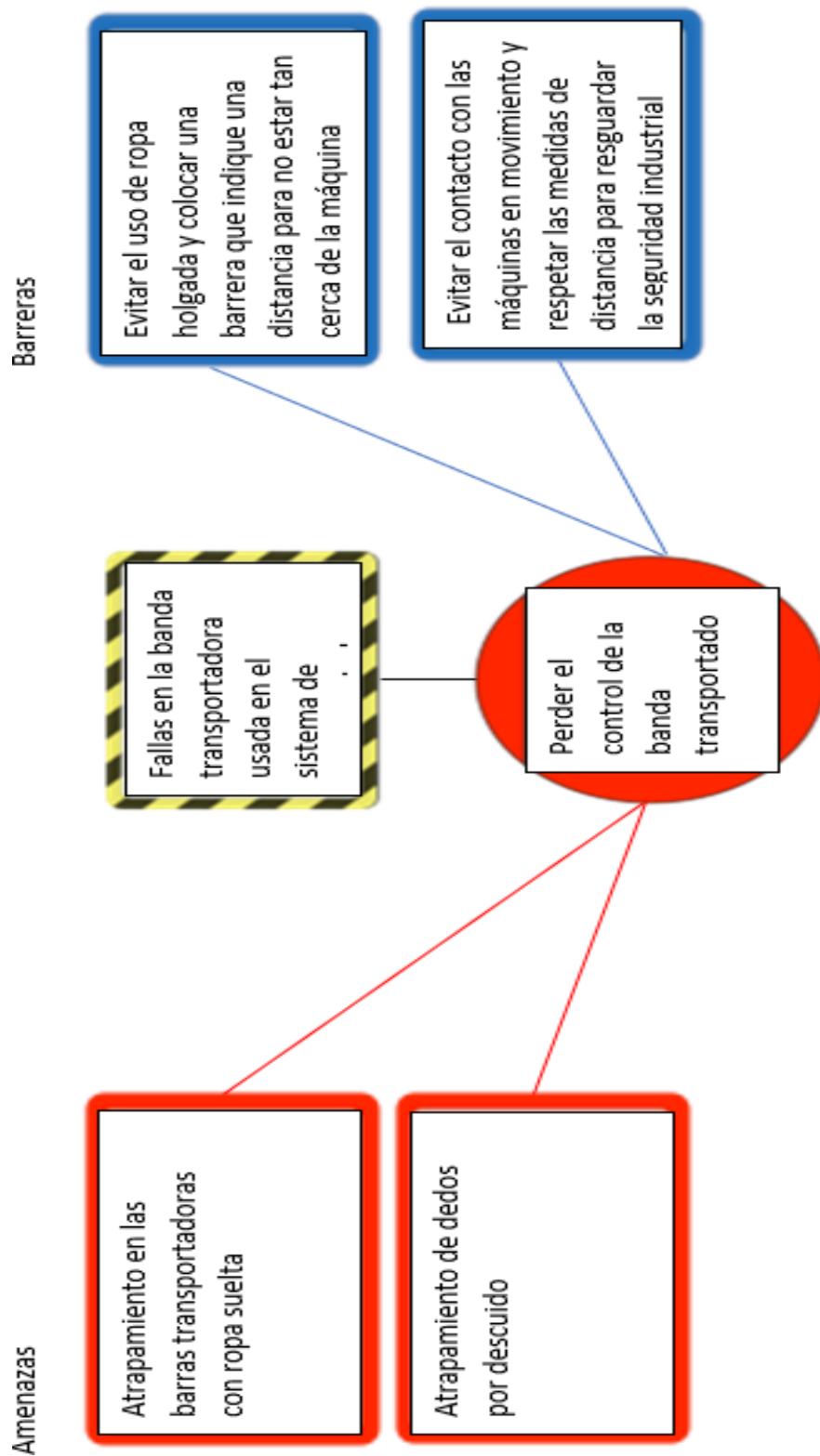
Fuente: elaboración propia

Figura 13. Diagrama Bow-Tie de la estación 3 (selladora semiautomatizada)



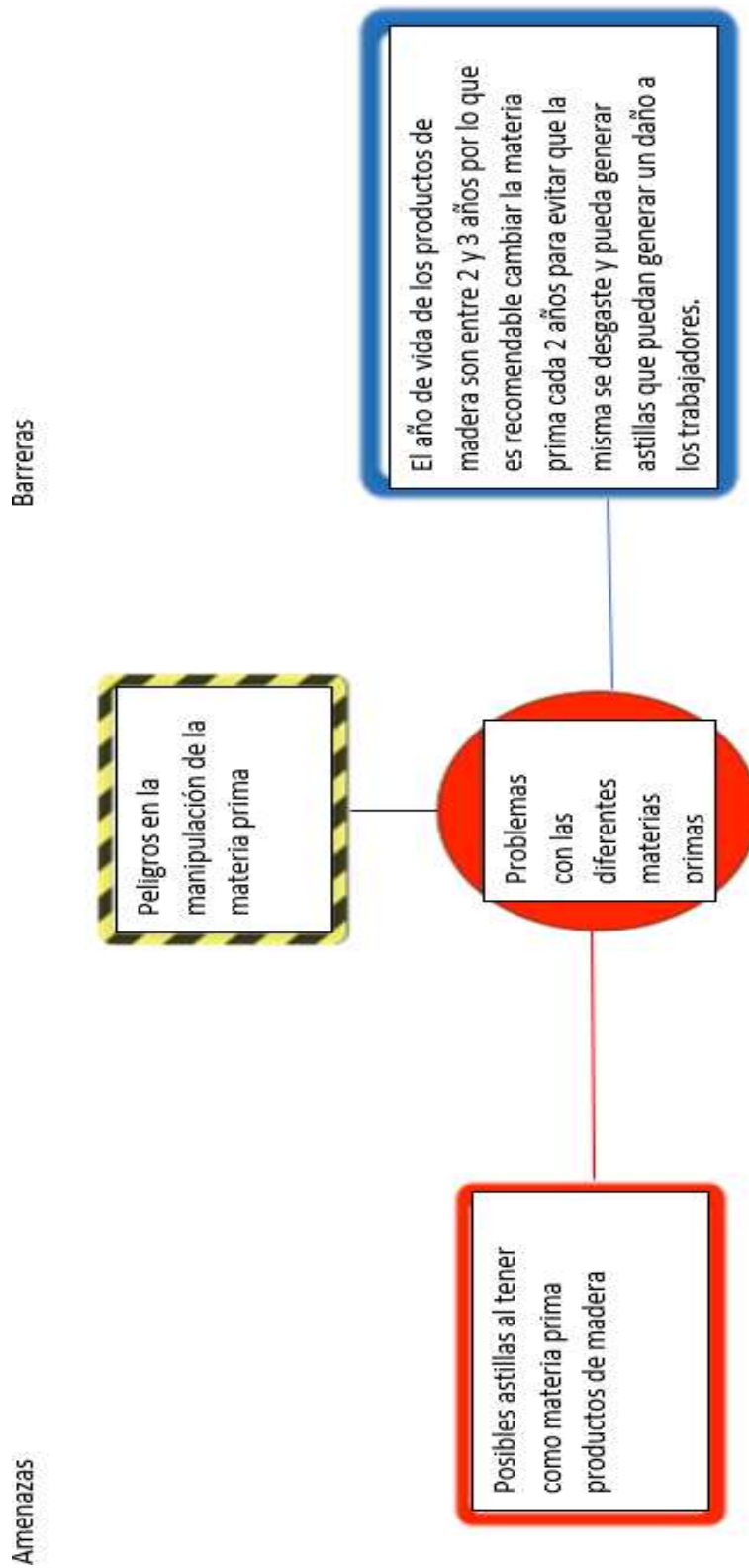
Fuente: elaboración propia

Figura 14. Diagrama Bow-Tie de la banda transportadora



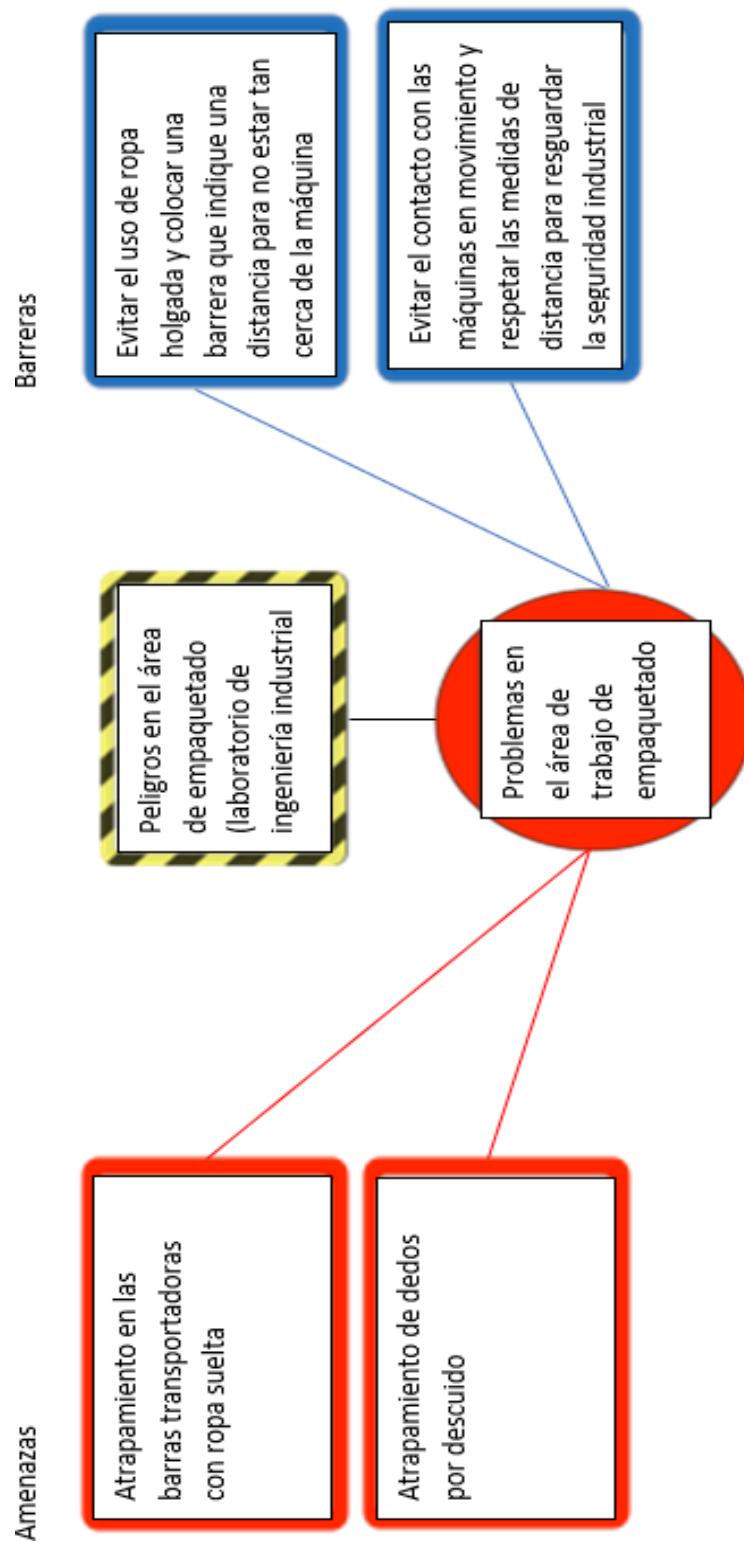
Fuente: elaboración propia

Figura 15. Diagrama Bow-Tie de la materia prima (figuras y cajas de madera)



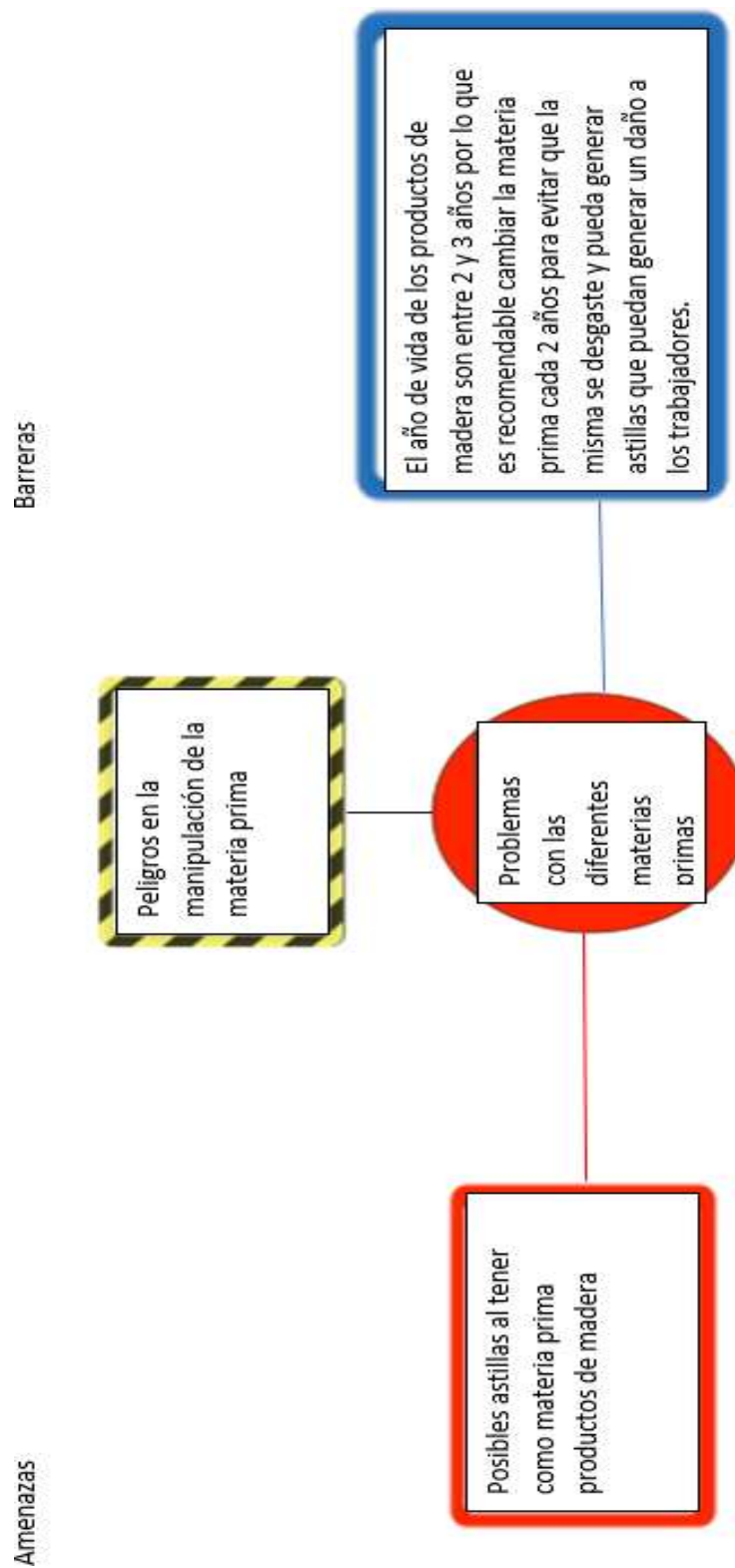
Fuente: elaboración propia

Figura 16. Diagrama Bow-Tie del espacio de trabajo



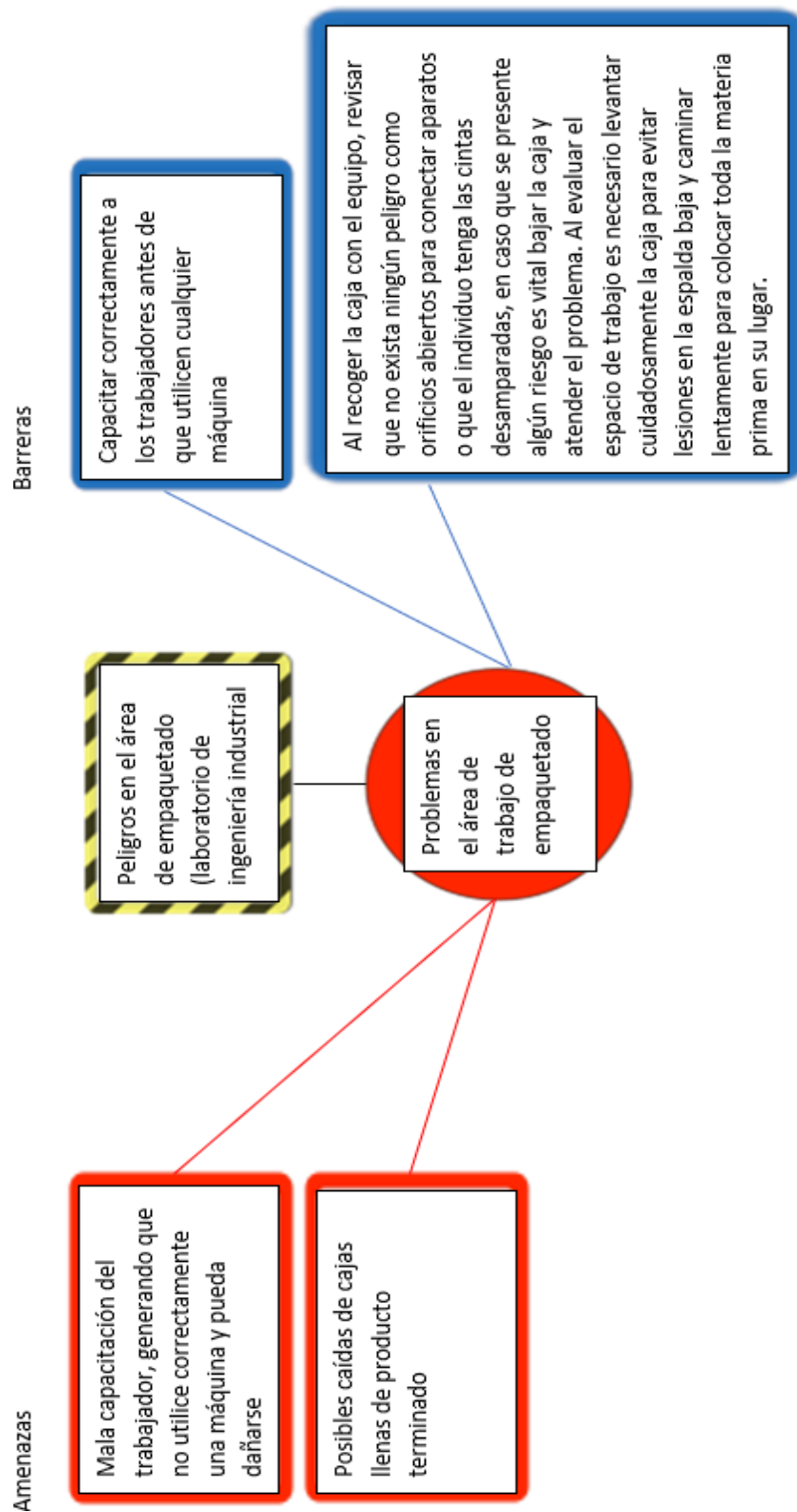
Fuente: elaboración propia

Figura 17. Diagrama Bow-Tie de los operarios



Fuente: elaboración propia

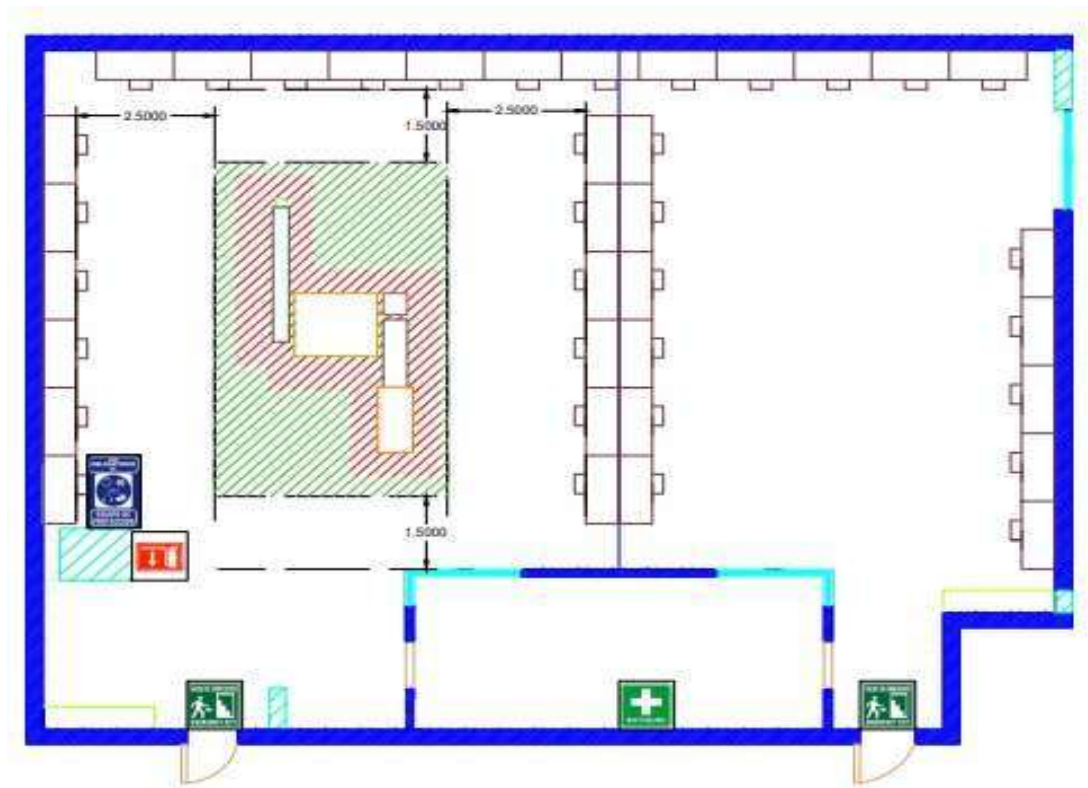
Figura 18. Diagrama Bow-Tie del área de trabajo



Fuente: elaboración propia



6.3.1.2. Espacio de trabajo recomendable para trabajar

Figura 19. Mapa de seguridad industrial del laboratorio de Ingeniería Industrial



Fuente: elaboración propia

Cuadro 11. Leyenda sobre la señalización y aspectos a considerar para resguardar la seguridad industrial

Simbología	Descripción
	Espacio donde colocar la línea de trabajo para que no esté cerca del equipo del laboratorio de Ingeniería Industrial.
	Barrera para que cualquier individuo esté lejos de la línea de empaquetado en funcionamiento para evitar errores

	<p>Extintores PQS, los cuales serán usados por si se presentara un incendio</p>
	<p>Señalización del botiquín del laboratorio para que los estudiantes sepan ubicarlo por cualquier emergencia</p>
	<p>Señalización de salidas de emergencia, en este caso serian 2</p>
	<p>Señalización para recordarle a todos los jóvenes de que usen su equipo necesario</p>

Fuente: elaboración propia

Esta leyenda nos ayudará a orientar el espacio y el correcto funcionamiento dentro del área de trabajo, además de velar que siempre exista una distancia considerable entre el equipo disponible en el laboratorio como las mesas, computadoras y pantallas. Para complementar a detalle el dibujo ver Anexo 8.

6.3.2. Medidas de seguridad ocupacional que debe respetar el segundo operario para evitar accidentes.

Según el Acuerdo Gubernativo número 229-2014 y sus reformas 33-2016, una persona puede cargar un peso máximo dependiendo su edad y su sexo, respetando ciertos límites que no perjudicar su salud a un corto o largo plazo (Reglamento de salud y seguridad ocupacional, 2016).

Cuadro 12. Capacidad máxima de carga dependiendo de la edad y sexo del trabajador

Sexo y edad	Peso máximo
Hombres de 16-18 años	15 kilogramos
Hombres de 18-21 años	20 kilogramos
Hombres adultos mayores a 21 años	50-55 kilogramos
Mujeres de 16 a 18 años	10 kilogramos
Mujeres mayores de 18 años	15 kilogramos
Mujeres adultas mayores de 21 años	37.5 kilogramos

Fuente: elaboración propia

- Destacando que está prohibido obligar a una mujer que compruebe que esté embarazada o haya dado a luz durante de las 10 semanas después del parto.
- Es recomendable que si un trabajador levanta una cantidad mayor a 50 kilogramos y menor a 55 kilogramos que únicamente realice 3 movimientos por hora.
- La cantidad que puede cargar la mujer representa el 75 % de capacidad que puede cargar el hombre.

Indicando que si el peso es mayor a esta cantidad de kilogramos será obligatorio el uso adicional de equipo como montacargas, grúas, apiladores, cintas transportadoras, entre otras maquinarias o el apoyo de otro trabajador para realizar la tarea de transportar la materia. Sin embargo, es fundamental que todo trabajador sepa cómo levantar una caja adecuadamente. Por lo que a continuación se explicará la forma correcta en realizar esta tarea (MedlinePlus, 2023).

Pasos para levantar un objeto:

- Colocarse frente al objeto.
- Flexionar las rodillas, buscando mantener la espalda recta.
- Apoyar los 2 pies en el suelo, elevarse y mantener el objeto (en este caso la caja) cerca del pecho.
- Subir lentamente el objeto usando los músculos de la cadera y rodillas, mantener el mismo cerca del pecho.
- Acomodar el peso, buscando que este no se incline hacia adelante.
- Caminar lentamente repitiendo los mismos pasos para no lastimar la espalda.

Figura 20. Forma correcta de levantar carga



Fuente: (FISALIA, s. f.)

Figura 21. Forma correcta e incorrecta de levantar objetos



Fuente: (FISALIA, s. f.)

6.3.2.1. Proponer el equipo de seguridad que los jóvenes necesitan

Cuadro 13. Equipo de seguridad industrial que todos los trabajadores deben de considerar

Equipo	Descripción
Cascos Industriales	Protegen la cabeza ante cualquier golpe posible, en este caso se utilizarían 2 cascos de color amarillo tipo I para los operarios del sistema
Guante	Los guantes se utilizarían para colocar las piezas de madera en su lugar esto para evitar el contacto con la madera y evitar incidentes de astillas.
Botas industriales	Las botas industriales se utilizarán para proteger los pies de posibles caídas y proteger los mismos.

Fuente: (CEK, 2024)

6.3.2.2. Propuesta del reglamento para evitar riesgos y reducir accidentes o incidentes en el área de trabajo

Este reglamento se diseñó analizando todos los posibles riesgos, proponiendo barreras que ayudarán al sistema a funcionar de la forma más adecuada. Por lo que al examinar lo previo es importante analizarlo e identificar reglas que puedan ayudar a mejorar el ambiente de trabajo y reducir riesgos tanto hacia el factor humano como con la maquinaria de la institución. Por lo que la propuesta del reglamento sería la siguiente:

Propuesta del reglamento

- Utilizar el equipo de protección necesario cuando el sistema esté en funcionamiento.
- Trabajar en orden y limpieza mientras se esté en el laboratorio.
- Respetar el distanciómetro de las máquinas cuando estas estén en funcionamiento para evitar accidentes.
- Capacitarse sobre el uso correcto de las diferentes maquinarias antes de iniciar el sistema de empaquetado.
- Velar por que el espacio de trabajo no presente ningún objeto o espacio del enchufe.
- Velar por que el equipo de seguridad industrial como el kit de emergencia o el extintor está en constante revisión para que no falte ante la presencia de alguna emergencia.
- Cumplir con las normativas existentes del laboratorio como no fumar, no ingerir alimentos ni bebidas, no hablar muy fuerte o gritar y respetar el equipo de la instalación.
- Fomentar el continuo mantenimiento del mismo y desconectar el equipo cada vez que no sea necesario.
- Cuidar la maquinaria y no tocarla cuando esté en funcionamiento o esté en reposo para evitar accidentes o incidentes.
- Cuidar la materia prima y el material de empaque y si alguna pieza presenta alguna falla notificar lo antes posible

6.4. Etapa 4: análisis económico y viabilidad del sistema de empaquetado

En esta etapa se realizará un análisis económico analizando la inversión que este proyecto costaría para el departamento de Ingeniería Industrial, tomado en cuenta el equipo con el que cuentan y con la fabricación de la materia prima, al recolectar todo esto se analizará si el proyecto es rentable y si se podrá aplicar en un futuro. Aspectos a tomar en cuenta:

- El laboratorio ya cuenta con las bandas transportadoras por lo que esto se restará al total ya que esta inversión ya se realizó
- La materia prima como las cajas de madera y las figuras de madera se realizarán en el D-Hive, su costo de fabricación se tomará en cuenta para determinar la inversión final.

- El análisis de costos utilizara cotizaciones de máquinas existentes en el mercado, sin embargo, en el momento de emplear el sistema automatizado en el laboratorio de Ingeniería Industrial, las máquinas que se utilizaran se pretenden que sean diseñadas por talento de la Universidad de Valle de Guatemala tomando como referencia las maquinas propuestas en este presente trabajo para mejorar los costos finales del proyecto.

6.4.1. Análisis de costos

En esta etapa del trabajo se evaluará la inversión que se deberá realizar el departamento para tener una línea de empaquetado dentro del departamento de Ingeniería Industrial, por lo que es necesario que se evalúe la cotización de la materia prima como de las máquinas automatizadas que se emplearán y generar un registro para determinar así el valor final, buscando en todo momento que el costo total sea accesible para su elaboración.

Para el desarrollo de la línea de empaquetado es importante destacar que existe materia existente en el laboratorio que servirá para el desarrollo del sistema de trabajo como la banda transportadora la cual ya es parte del equipo del laboratorio de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala. Por lo que se tendrá que analizar el costo y el flujo de efectivo será de las maquinarias como el brazo robótico de 6 grados de libertad, el sensor de color, el brazo delta y el sellador de cajas industrial. Por lo que a continuación se dará la cotización de las máquinas para evaluar su costo actual.

6.4.1.1. Cotización de máquinas

Cuadro 14. Cotizaciones de las máquinas

Inversión de máquina								
Máquinas automatizadas	Robots o maquinaria a utilizar en la línea de empaquetado							
	Proveedor de maquinas a utilizar en el sistema empaquetado de la UVG	Nombre de a máquina a utilizar	Imagen	Tota de la máquina a utilizar				
Brazo robótico de 6 grados de libertad	MADE-IN-CHINA - Foshan Zekeep Technology Co., Ltd	ZKBOT-3086		\$ 1.384,00				
Brazo delta	MADE-IN-CHINA - Foshan Zekeep Technology Co., Ltd	R1100		\$ 15.800,00				
Sellador semi-automatizado	MADE-IN-CHINA - Qingdao Goldtec Machinery Co.,Ltd	TZ		\$ 1.800,00				
Total				<table border="1"> <tr> <td>Dolares</td> <td>\$ 18.984,00</td> </tr> <tr> <td>Quetzales</td> <td>\$ 148.075,20</td> </tr> </table>	Dolares	\$ 18.984,00	Quetzales	\$ 148.075,20
Dolares	\$ 18.984,00							
Quetzales	\$ 148.075,20							

Fuente: elaboración propia

Es importante destacar que el precio de la maquinaria como robots y máquinas automatizadas se encontró en dólares americanos por lo que se realizó la conversión a quetzales, siendo el precio original \$18,984.00. Es importante resaltar que el análisis de costo del equipo comercial se basa en cotizaciones y no en costos reales de construcción.






Una alternativa que se podría generar una variabilidad en los costos de la maquinaria es integrar un equipo multidisciplinario el cual este compuesto por miembros de la Universidad del Valle de Guatemala, los cuales estén capacitados para desarrollar y construir la maquinaria con la finalidad de que se pueda reducir costos y crear una línea de empaquetado cien por ciento por talento UVG, mostrando así la capacidad que adquieren los estudiantes y la excelente guía que brindan los catedrático de tan prestigiosa institución educativa.

Adicionalmente, es fundamental que analicen si cuentan con el tiempo para fabricar el equipo, el costo de todos los componentes de la maquinaria automatizada y si existe una suficiente mano de obra; por lo que es vital que se analicen estos factores antes de comparar ambas alternativas. No obstante, aunque existan alternativas de menor costo, o incluso su fabricación puede simbolizar un costo menor, es importante considerar que el equipo debe ser completamente seguro, algo que la mayoría de máquinas que se venden en el mercado brindan un respaldo de calidad, además que al adquirir esta maquinaria su envío simbolizaría una reducción de tiempo a comparación de fabricar desde cero con todos los componentes.

Finalmente, las máquinas que se seleccionaron se contemplaron como alternativas económicamente viables, en el mercado se cuentan con máquinas de marcas con mayor distinción a nivel industrial; sin embargo, su precio es alto y generaría que el proyecto fuera poco rentable. Entre algunas de las empresas más reconocidas en brazos robóticos y maquinarias industriales están: KUKA, ABB, FUNAC y YASUKAWA Electronic; y al ser empresas tan reconocidas sus productos no son rentables para fabricar una línea de producción con fines académicos.

6.4.1.2. Materia prima

Cuadro 15. Cotizaciones de la materia prima

Materia prima					
Componente	Material	Cantidad de plancha requeridas	Costo unitario	Imagen de referencia	Costo total
Cuadrado	Plancha MDF	1	Q 15,00		Q 15,00
Triangulo		1			Q 15,00
Circulo		1			Q 15,00
Heptagono		1			Q 15,00
Caja con 4 divisiones		48			Q 720,00
				Total	Q 780,00

Fuente: elaboración propia

Para la realización de la materia prima como las figuras y los elementos para construir la caja se elaborarán en el programa Inkscape. Adicional en tablas de madera MDF de 30cm * 40cm se pueden desarrollar 63 piezas, por lo que es solo necesario una plancha por pieza y para el desarrollo de las cajas se necesitan 1 plancha por pieza. Por lo que una acción a realizar es que el espacio restante puede ser útil para crear piezas y disminuir posibles costos.

Cuadro 16. Precios de posibles materiales para pintar las piezas para la línea de empaquetado

Pinturas para pintar las figuras	
Tipos de pinturas	Precio
PINTURA EN SPRAY ARCOIRIS D0037 400ML VERDE	Q20.00
PINTURA EN SPRAY ARCOIRIS D0041 400ML AMARILLO	Q20.00
PINTURA EN SPRAY ARCOIRIS D0006 400ML ROJO	Q20.00
PINTURA EN SPRAY ARCOIRIS D0021 400ML AZUL	Q20.00
Total	Q80.00

Fuente: (Platino, s. f.)

Se utilizará 4 pinturas en spray para pintar las figuras, el color verde se utilizará para los cuadrados, el color amarillo se utilizará para la figura del triángulo, el círculo se utilizará la pintura roja y el pentágono se utilizará la pintura azul. Por lo que es vital pintarlos para que el robot de 6 grados de libertad pueda detectar fácilmente la figura para colocar las figuras respectivas en los espacios de las cajas de madera, con el fin de obtener ya el producto terminado.

6.4.1.3. Material de empaque

Cuadro 17. Cotizaciones de la materia prima

Material de empaque				
Material	Dimensiones	Cantidad	Imagen	Precio
Cajas Regulares de cartón	35*20.5*16.5	16 unidades		Q 160,00
			Total	Quetzales Q 160,00

Fuente: (PackingBox, s. f.)

El costo unitario sería de Q10.00. Se utilizarán 16 cajas para que siempre exista stock para empaquetar el producto terminado. Además, que se utilizan estas medidas para que no exista ningún problema para colocar las cajas en las bandas transportadoras, y dentro de las mismas se puedan colocar 8 unidades de producto terminado, sin embargo, una desventaja que presenta esta propuesta de cajas es que presenta un poco de espacio de más.

Es importante resaltar que las medidas idóneas para las cajas serían las siguientes: 32 centímetros de ancho, 15.5 centímetros de largo y 13.5 de altura, esto con el fin de que no exista espacio muerto dentro de la caja. Sin embargo, este modelo es funcional para la línea ya que se pueden colocar la cantidad deseada de producto terminado.

6.4.1.4. Equipo de seguridad

Cuadro 18. Cotizaciones de las materias primas

Material de seguridad				
Material	Proveedor	Cantidad	Imagen	Precio
Cascos industriales	Cemaco	2 unidades		Q 99,99
Guantes industriales	Cemaco	2 pares		Q 92,99
Botas industriales	CAT	2 pares		Q 1.199,99
Extintor PQS	EPA	1 unidad		Q 849,00
			Total	Q 2.241,97

Fuente: (CEMACO, s. f.), (CAT, s. f.), (EPA, s. f.)

El equipo de seguridad necesario que se debe comprar para resguardar la seguridad del equipo del laboratorio y de los operarios sería dos cascos industriales tipo 2, guantes para manipular los productos sin que se sufra algún riesgo de que alguna astilla lastime al individuo, botas industriales para resguardar los pies de algún objeto que caiga en el pie del colaborador y un extintor por si se presentara alguna falla que genere fuego dentro de las instalaciones. Los cascos, los guantes y el extintor siempre debe estar en el laboratorio de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala, y las botas las debe traer el estudiante para colaborar como operario.

6.4.1.5. Costos totales de la inversión para la línea de empaquetado

Cuadro 19. Costo total de la línea de empaquetado

Costos totales que la universidad debe realizar para realizar el sistema de empaquetado	
Inversión de máquina	Q 148,075.20
Materia prima	Q 780.00
Pintura	Q 80.00
Material de empaque	Q 160.00
Material de seguridad	Q 1,041.98
Total	Q 150,137.18

Fuente: elaboración propia

Tomando en cuenta los costos de lo necesario para llevar a cabo la línea de empaquetado, se tendría que realizar una inversión total de Q 150,137.18. Esto con el fin de que la línea de empaquetado pueda funcionar adecuadamente y sea de beneficio para los estudiantes de Ingeniería Industrial.

En estos costos no se toman en cuenta el costo de las botas industriales, las cuales cada estudiante debe traer el día que utilicen el sistema de empaquetado, ni la inversión de las bandas transportadoras las cuales ya conformaban parte del laboratorio antes de la implementación del sistema automatizado de empaquetado.

6.4.2 Definir la TMAR

Cuadro 20. Cálculo del TMAR

TMAR	
Tasa de inflación del banco de Guatemala para enero del 2025	4.47%
Premio al riesgo	10%
TMAR para el proyecto	14.47%

Fuente: (Banco de Guatemala,2024)

La TMAR es importante para analizar todo proyecto, ya que si esta es mayor que la TIR es un indicador que el proyecto no es rentable sin embargo la TIR es mayor a la TMAR establecida el proyecto es viable financieramente. Adicionalmente, según una encuesta de expectativas económicas al panel de análisis privado se pronostica que la tasa de inflación del banco para enero del 2025 será de 4.47 %, al tener este dato y el premio al riesgo se deben sumar y así determinar la tasa mínima aceptable de retorno.

6.4.2. Definir costo de cada unidad

Cuadro 21. Costo de cada unidad

Costo de trabajo				
Materiales directo				
Material	Uso	Costo	Producto utilizado	Costo unidad
Planchas de 30*40	se obtienen 70 piezas de 4cm	Q 0.11	4 figuras	Q 0.43
Planchas de 40*30	piezas para pegar la caja	Q 7.50	13 piezas	Q 5.25
Pegamento de 60ml	se utiliza aproximadamente 0.5ml	Q 20.00	0.50ml	Q 0.17
Costo final de producción				Q 5.85

Fuente: elaboración propia

En la plancha de 30 cm * 40 cm se pueden cortar 70 piezas por lo que el costo de caja pieza tomando en cuenta que la plancha cuenta Q 7.50 cada pieza saldría a Q 0.11. Al evaluar el espacio para desarrollar la caja se determinó que el espacio utilizado no sería los 30*40 centímetros por lo que en el espacio restante se podrían crear 21 piezas determinando que el costo únicamente para desarrollar las cajas de madera sería de Q 5.25. Finalmente se agrega lo que se usó de pegamento. Determinando los costos para producir cada unidad los cuales serían de Q 5.85.

6.4.3. Definir variables de estado de flujo de efectivo

Cuadro 22. Costos fijos

Costos fijos		
Costos a considerar	Mes	Año
Suministro de energía por la hora	Q123.68	Q1,484.22
Mantenimiento mes	Q1,480.75	Q14,807.52
Costo fijo	Q1,604.44	Q16,291.74

Fuente: elaboración propia

El mantenimiento representa el 10 % del valor de cada máquina y este se realizará cada año para corroborar que todo funcione correctamente. El pago del suministro de energía dependerá del proveedor de está siendo EEGSA el responsable de proporcionar este recurso base para que todo funcione correctamente.

Cuadro 23. Suministro de energía

Suministro de electricidad							
Elementos	Potencia	Duración	Consumo de energía	Dias de trabajo	Consumo de energía total	Tarifa de energía BTSA	Total
Brazo robotico de 6 grados de libertad	0.1	1	0.1	20	2.00	1.39	2.77
Brazo Delta automatizada de cajas	4	1	4	20	80.00	1.39	110.93
	kW	horas	kWh	días	kWh	Q	
	0.24	1	0.24	20	4.80	1.39	6.66
Banda transportadora	0.12	1	0.12	20	2.40	1.39	3.33
Total	Q123.68						

Fuente: elaboración propia

Al final por el funcionamiento de la máquina por un cierto tiempo se tendrá que pagar Q 123.68, considerando también que la electricidad se le pagaría a EEGSA, teniendo una tarifa de baja tensión auto productores BTSA.

Cuadro 24. Costos variables

Posibles costos variables	
256 Figuras geometricas	Q 27.43
Piezas para construir 48 cajas	Q 252.00
16 cajas de empaque	160
2 envases de pegamento	40
Total	Q 479.43

Fuente: elaboración propia

6.4.4. Evaluación de la viabilidad de costos

Cuadro 25. Evaluación de costos de la línea de empaquetado

Viabilidad del proyecto	Años					
	0	1	2	3	4	5
Saldo inicial del año	-Q 150,137.18	-Q 150,137.18	-Q 166,908.35	-Q 183,679.51	-Q 200,450.68	-Q 217,221.84
Inversion inicial	-Q 150,137.18					
Salvamiento					Q	-
Costos fijos	-Q 16,291.74	-Q 16,291.74	-Q 16,291.74	-Q 16,291.74	-Q 16,291.74	-Q 16,291.74
Costos Variables	-Q 479.43	-Q 479.43	-Q 479.43	-Q 479.43	-Q 479.43	-Q 479.43
Costos totales	-Q 16,771.17	-Q 16,771.17	-Q 16,771.17	-Q 16,771.17	-Q 16,771.17	-Q 16,771.17
Flujo neto acumulado	-Q 150,137.18	-Q 166,908.35	-Q 183,679.51	-Q 200,450.68	-Q 217,221.84	-Q 233,993.01
VPN	-Q 848,233.48					

Fuente: elaboración propia

Al analizar la inversión y los costos para producir la línea de empaquetado se determinó que el VPN sería de Q -848,233.48, esto al analizar la tasa de descuento, el flujo de efectivo y los años evaluados, dando un resultado negativo al no tener ingresos y solo evaluar toda la inversión que se tendría que hacer durante 5 años.

6.4.4.1. Escenario 1 de la evaluación de costos de la línea de empaquetado

Variacion costos fijos	-1%
Variacion costos variables	1%

Viabilidad del proyecto	Años									
	0	1	2	3	4	5				
Saldo inicial del año	-Q	150,137.18	-Q	166,750.22	-Q	183,363.26	-Q	199,976.31	-Q	216,589.35
Inversion inicial	-Q	150,137.18								
Salvamiento									Q	.
Costos fijos	-Q	16,128.82	-Q	16,128.82	-Q	16,128.82	-Q	16,128.82	-Q	16,128.82
Costos Variables	-Q	484.22	-Q	484.22	-Q	484.22	-Q	484.22	-Q	484.22
Costos totales	-Q	16,613.04	-Q	16,613.04	-Q	16,613.04	-Q	16,613.04	-Q	16,613.04
Flujo neto acumulado	-Q	150,137.18	-Q	166,750.22	-Q	183,363.26	-Q	199,976.31	-Q	216,589.35
VPN	-Q	846,680.61								

Fuente: elaboración propia

Al mostrar un aumento en los costos fijos y una disminución en los costos variables se determinó que el VPN sería de Q -846,680.61.

		costos fijos										
		-1.00%	-2.00%	-3.00%	-4.00%	-5.00%	-6.00%	-7.00%	-8.00%	-9.00%	-10.00%	
	-0846,680.61											
1.00%	-846680.61	-845080.66	-843480.71	-841880.76	-840280.81	-838680.86	-837080.91	-835480.96	-833881.01	-832281.05		
2.00%	-846727.69	-845127.74	-843527.79	-841927.84	-840327.89	-838727.94	-837127.99	-835528.04	-833928.09	-832328.14		
3.00%	-846774.77	-845174.82	-843574.87	-841974.92	-840374.97	-838775.02	-837175.07	-835575.12	-833975.17	-832375.22		
4.00%	-846821.85	-845221.91	-843621.96	-842022.01	-840422.06	-838822.11	-837222.15	-835622.20	-834022.25	-832422.30		
5.00%	-846868.94	-845268.99	-843669.04	-842069.09	-840469.14	-838869.19	-837269.24	-835669.29	-834069.34	-832469.39		
6.00%	-846916.02	-845316.07	-843716.12	-842116.17	-840516.22	-838916.27	-837316.32	-835716.37	-834116.42	-832516.47		
7.00%	-846963.11	-845363.16	-843763.20	-842163.25	-840563.30	-838963.35	-837363.40	-835763.45	-834163.50	-832563.55		
8.00%	-847010.19	-845410.24	-843810.29	-842210.34	-840610.39	-839010.44	-837410.49	-835810.54	-834210.59	-832610.64		
9.00%	-847057.27	-845457.32	-843857.37	-842257.42	-840657.47	-839057.52	-837457.57	-835857.62	-834257.67	-832657.72		
10.00%	-847104.35	-845504.40	-843904.45	-842304.50	-840704.55	-839104.60	-837504.65	-835904.70	-834304.75	-832704.80		
11.00%	-847151.44	-845551.49	-843951.54	-842351.59	-840751.64	-839151.69	-837551.73	-835951.78	-834351.83	-832751.88		
12.00%	-847198.52	-845598.57	-843998.62	-842398.67	-840798.72	-839198.77	-837598.82	-835998.87	-834398.92	-832798.97		
13.00%	-847245.60	-845645.65	-844045.70	-842445.75	-840845.80	-839245.85	-837645.90	-836045.95	-834446.00	-832846.05		
14.00%	-847292.69	-845692.74	-844092.79	-842492.83	-840892.88	-839292.93	-837692.98	-836093.03	-834493.08	-832893.13		
15.00%	-847339.77	-845739.82	-844139.87	-842539.92	-840939.97	-839340.02	-837740.07	-836140.12	-834540.17	-832940.22		
16.00%	-847386.85	-845786.90	-844186.95	-842587.00	-840987.05	-839387.10	-837787.15	-836187.20	-834587.25	-832987.30		
17.00%	-847433.93	-845833.98	-844234.03	-842634.08	-841034.13	-839434.18	-837834.23	-836234.28	-834634.33	-833034.38		
18.00%	-847481.02	-845881.07	-844281.12	-842681.17	-841081.22	-839481.27	-837881.32	-836281.36	-834681.41	-833081.46		
19.00%	-847528.10	-845928.15	-844328.20	-842728.25	-841128.30	-839528.35	-837928.40	-836328.45	-834728.50	-833128.55		
20.00%	-847575.18	-845975.23	-844375.28	-842775.33	-841175.38	-839575.43	-837975.48	-836375.53	-834775.58	-833175.63		
Costo variables												

Fuente: elaboración propia

Al analizar el escenario se determina que los valores del VPN serian todavía negativos sin importar el incremento o la disminucion de los diferentes costos.

6.4.4.2. Escenario 2 de la evaluación de costos de la línea de empaquetado

Variacion costos fijos	1%
Variacion costos variables	-1%

Viabilidad del proyecto	Años					
	0	1	2	3	4	5
Saldo inicial del año	-Q	150,137.18 -Q	167,066.47 -Q	183,995.76 -Q	200,925.04 -Q	217,854.33
Inversion inicial	-Q					
Salvamiento					Q	-
Costos fijos	-Q	16,454.65 -Q	16,454.65 -Q	16,454.65 -Q	16,454.65 -Q	16,454.65
Costos Variables	-Q	474.63 -Q	474.63 -Q	474.63 -Q	474.63 -Q	474.63
Costos totales	-Q	16,929.29 -Q	16,929.29 -Q	16,929.29 -Q	16,929.29 -Q	16,929.29
Flujo neto acumulado	-Q	150,137.18 -Q	183,995.76 -Q	200,925.04 -Q	217,854.33 -Q	234,783.62
VPN	-Q	849,786.34				

Fuente: elaboración propia

El valor VPN sería de Q -849,786.34, esto al analizar el aumento y reducción de costos, además este valor se obtiene al analizar la tasa de descuento, el flujo de efectivo y los años analizados

		costos fijos											
		1.00%	2.00%	3.00%	4.00%	5.00%	6.00%	7.00%	8.00%	9.00%	10.00%		
	-0849,786.34												
	-1.00%	-849786.34	-851386.29	-852986.24	-854586.19	-856186.14	-857786.10	-859386.05	-860986.00	-862585.95	-864185.90		
	-2.00%	-849739.26	-851339.21	-852939.16	-854539.11	-856139.06	-857739.01	-859338.96	-860938.91	-862538.86	-864138.81		
	-3.00%	-849692.18	-851292.13	-852892.08	-854492.03	-856091.98	-857691.93	-859291.88	-860891.83	-862491.78	-864091.73		
	-4.00%	-849645.09	-851245.05	-852845.00	-854444.95	-856044.90	-857644.85	-859244.80	-860844.75	-862444.70	-864044.65		
	-5.00%	-849598.01	-851197.96	-852797.91	-854397.86	-855997.81	-857597.76	-859197.71	-860797.66	-862397.61	-863997.57		
	-6.00%	-849550.93	-851150.88	-852750.83	-854350.78	-855950.73	-857550.68	-859150.63	-860750.58	-862350.53	-863950.48		
	-7.00%	-849503.85	-851103.80	-852703.75	-854303.70	-855903.65	-857503.60	-859103.55	-860703.50	-862303.45	-863903.40		
	-8.00%	-849456.76	-851056.71	-852656.66	-854256.61	-855856.56	-857456.52	-859056.47	-860656.42	-862256.37	-863856.32		
	-9.00%	-849409.68	-851009.63	-852609.58	-854209.53	-855809.48	-857409.43	-859009.38	-860609.33	-862209.28	-863809.23		
	-10.00%	-849362.60	-850962.55	-852562.50	-854162.45	-855762.40	-857362.35	-858962.30	-860562.25	-862162.20	-863762.15		
	-11.00%	-849315.51	-850915.46	-852515.42	-854115.37	-855715.32	-857315.27	-858915.22	-860515.17	-862115.12	-863715.07		
	-12.00%	-849268.43	-850868.38	-852468.33	-854068.28	-855668.23	-857268.18	-858868.13	-860468.08	-862068.03	-863667.99		
	-13.00%	-849221.35	-850821.30	-852421.25	-854021.20	-855621.15	-857221.10	-858821.05	-860421.00	-862020.95	-863620.90		
	-14.00%	-849174.27	-850774.22	-852374.17	-853974.12	-855574.07	-857174.02	-858773.97	-860373.92	-861973.87	-863573.82		
	-15.00%	-849127.18	-850727.13	-852327.08	-853927.03	-855526.98	-857126.93	-858726.89	-860326.84	-861926.79	-863526.74		
	-16.00%	-849080.10	-850680.05	-852280.00	-853879.95	-855479.90	-857079.85	-858679.80	-860279.75	-861879.70	-863479.65		
	-17.00%	-849033.02	-850632.97	-852232.92	-853832.87	-855432.82	-857032.77	-858632.72	-860232.67	-861832.62	-863432.57		
	-18.00%	-848985.93	-850585.88	-852185.84	-853785.79	-855385.74	-856985.69	-858585.64	-860185.59	-861785.54	-863385.49		
	-19.00%	-848938.85	-850538.80	-852138.75	-853738.70	-855338.65	-856938.60	-858538.55	-860138.50	-861738.45	-863338.40		
	-20.00%	-848891.77	-850491.72	-852091.67	-853691.62	-855291.57	-856891.52	-858491.47	-860091.42	-861691.37	-863291.32		
Costo variables													

Fuente: elaboración propia

Al analizar los costos se determinó que al disminuir y aumentar algunos costos el VPN sigue siendo negativo. Por lo que al analizar los dos casos de escenario se demuestra que el proyecto necesita una propuesta de cómo se podría generar ingresos para sustentar la inversión que se tendría que hacer en el departamento de Ingeniería Industrial.

6.4.5. Propuesta de posibles ingresos evaluando el flujo de efectivo de la propuesta de la línea de empaquetado automatizada

Supuestos para analizar la propuesta

- Para evaluar la rentabilidad de la línea de empaquetado automatizada se analizarán los primeros 5 años
- La línea de empaquetado estará funcionando únicamente 1 hora y la banda transportadora será utilizada por 3 secciones, mostrando un aumento en el número de secciones al aumentar el interés de jóvenes en ser ingenieros industriales, por la mejora en el pensum de la carrera.
- En el primer año el precio de utilizar la maquinaria para diferentes actividades será de Q 160.00 y tras el paso de los años existirá un aumento de Q 10.00

Cuadro 26. Análisis de rentabilidad de la propuesta para el proyecto

Viabilidad del proyecto	Años					
	0	1	2	3	4	5
Saldo inicial del año	-Q 150,137.18	-Q 150,137.18	-Q 82,908.35	10,429.51 Q	67,299.32 Q	150,278.16
Inversion inicial	-Q 150,137.18					
Salvamiento					Q	-
Ingresos	Q 84,000.00	Q 89,250.00	Q 89,250.00	Q 94,500.00	Q 99,750.00	Q 105,000.00
Costos fijos	-Q 16,291.74	-Q 16,291.74	-Q 16,291.74	-Q 16,291.74	-Q 16,291.74	-Q 16,291.74
Costos Variables	-Q 479.43	-Q 479.43	-Q 479.43	-Q 479.43	-Q 479.43	-Q 479.43
Costos totales	-Q 16,771.17	-Q 16,771.17	-Q 16,771.17	-Q 16,771.17	-Q 16,771.17	-Q 16,771.17
Utilidad	Q 67,228.83	Q 72,478.83	Q 72,478.83	Q 77,728.83	Q 82,978.83	Q 88,228.83
Flujo neto acumulado	-Q 150,137.18	-Q 82,908.35	Q 10,429.51	Q 67,299.32	Q 150,278.16	Q 238,506.99

Fuente: elaboración propia

Cuadro 27. Indicadores para identificar si el proyecto es viable

VPN	Q 40,495.78
TIR	17.31%
B/C	1.27

Fuente: elaboración propia

Al realizar el flujo de efectivo se determinó que el VPN sería de Q 40,495.78 y la TIR de 17.31 %, la cual al compararla con la TMAR la TIR es mayor por lo que se puede concluir que el proyecto es rentable. Adicionalmente, se analiza el beneficio/costo y este es mayor a uno, específicamente 1.27, siendo otro indicador que el proyecto es rentable.

Cuadro 28. Tabla comparativa entre TIR y TMAR

TIR = 17.31 %	>	TMAR = 14.47 %
----------------------	-------------	-----------------------

Fuente: elaboración propia

6.4.5.1 Escenario 1 del análisis de rentabilidad de la propuesta para el proyecto

Variacion ingresos	-1%
Variacion costos	1%

Viabilidad del proyecto	Años					
	0	1	2	3	4	5
Saldo inicial del año	-Q 150,137.18	-Q 150,137.18	-Q 83,916.06	12,519.08 Q	64,052.79 Q	145,798.53 Q
Inversion inicial	-Q 150,137.18					
Salvamiento					Q	-
Ingresos	Q 83,160.00	Q 88,357.50	Q 93,555.00	Q 98,752.50	Q 103,950.00	
Costos fijos	-Q 16,291.74	-Q 16,291.74	-Q 16,291.74	-Q 16,291.74	-Q 16,291.74	16,291.74
Costos Variables	-Q 479.43	-Q 500.86	-Q 523.25	-Q 546.64	-Q 571.07	
Costos totales	-Q 16,938.88	-Q 16,960.52	-Q 16,983.13	-Q 17,006.76	-Q 17,031.44	
Utilidad	Q 66,221.12	Q 71,396.98	Q 76,571.87	Q 81,745.74	Q 86,918.56	
Flujo neto acumulado	-Q 150,137.18	-Q 83,916.06	12,519.08 Q	64,052.79 Q	145,798.53 Q	232,717.09 Q

Fuente: elaboración propia

		Costos									
		1.00%	2.00%	3.00%	4.00%	5.00%	6.00%	7.00%	8.00%	9.00%	10.00%
		0,29,961.46									
		-1.00%	29961.46	28314.43	26667.39	25020.36	23373.33	21726.29	20079.26	18432.23	16785.19
		-2.00%	21074.17	19427.13	17780.10	16133.07	14486.03	12839.00	11191.97	9544.93	7897.90
		-3.00%	12186.87	10539.84	8892.81	7245.77	5598.74	3951.71	2304.67	657.64	-989.39
		-4.00%	3299.58	1652.55	5.51	-1641.52	-3288.55	-4935.59	-6582.62	-8229.65	-9676.69
		-5.00%	-5587.71	-7234.74	-8881.78	-10528.81	-12175.84	-13822.88	-15469.91	-17116.94	-18763.98
		-6.00%	-14475.00	-16122.04	-17769.07	-19416.10	-21063.14	-22710.17	-24357.20	-26004.24	-27651.27
		-7.00%	-23362.30	-25009.33	-26656.36	-28303.40	-29950.43	-31597.46	-33244.50	-34891.53	-36538.56
		-8.00%	-32249.59	-33896.62	-35543.66	-37190.69	-38837.72	-40484.76	-42131.79	-43778.82	-45425.86
		-9.00%	-41136.88	-42783.92	-44430.95	-46077.98	-47725.02	-49372.05	-51019.08	-52666.11	-54313.15
		-10.00%	-50024.17	-51671.21	-53318.24	-54965.27	-56612.31	-58259.34	-59906.37	-61553.41	-63200.44
	Ingresos	-11.00%	-58911.47	-60558.50	-62205.53	-63852.57	-65499.60	-67146.63	-68793.67	-70440.70	-72087.73
		-12.00%	-67798.76	-69445.79	-71092.83	-72739.86	-74386.89	-76033.93	-77680.96	-79327.99	-80975.03
		-13.00%	-76686.05	-78333.09	-79980.12	-81627.15	-83274.19	-84921.22	-86568.25	-88215.29	-89862.32
		-14.00%	-85573.35	-87220.38	-88867.41	-90514.44	-92161.48	-93808.51	-95455.54	-97102.58	-98749.61
		-15.00%	-94460.64	-96107.67	-97754.70	-99401.74	-101048.77	-102695.80	-104342.84	-105989.87	-107636.90
		-16.00%	-103347.93	-104994.96	-106642.00	-108289.03	-109936.06	-111583.10	-113230.13	-114877.16	-116524.20
		-17.00%	-112235.22	-113882.26	-115529.29	-117176.32	-118823.36	-120470.39	-122117.42	-123764.46	-125411.49
		-18.00%	-121122.52	-122769.55	-124416.58	-126063.62	-127710.65	-129357.68	-131004.72	-132651.75	-134298.78
		-19.00%	-130009.81	-131656.84	-133303.87	-134950.91	-136597.94	-138244.97	-139892.01	-141539.04	-143186.07
		-20.00%	-138897.10	-140544.13	-142191.17	-143838.20	-145485.23	-147132.27	-148779.30	-150426.33	-152073.37
											-153720.40

Fuente: elaboración propia

Cuadro 29. Indicadores para identificar si el proyecto es viable

VPN	Q 29,961.46
TIR	16.10%
B/C	1.20

Fuente: elaboración propia

Una reducción del 4 % de los ingresos y un aumento de costos del 10 % aun representan que el VPN sigue siendo positivo, aunque menor al original. Además de que se muestra una reducción del valor presente neto, tasa interna de retorno y relación beneficio costo. Considerando que existe una reducción en los ingresos y un aumento en los costos totales. Es importante resaltar que el VPN muestra una disminución de Q 29,961.46 aunque sigue siendo positivo, la TIR de 16.10 % sigue siendo mayor a la TMAR establecida y el B/C sigue siendo mayor

6.4.5.2 Escenario 2 del análisis de rentabilidad de la propuesta para el proyecto

Variacion ingresos	1%
Variacion costos	-1%

Viabilidad del proyecto	Años					
	0	1	2	3	4	5
Saldo inicial del año	-Q 150,137.18	-Q 150,137.18	81,900.63	-Q 8,382.80	Q 70,415.36	Q 154,492.87
Inversion inicial	-Q 150,137.18					
Salvamiento					Q	.
Ingresos	Q 84,840.00	Q 90,142.50	Q 95,445.00	Q 100,747.50	Q 106,050.00	
Costos fijos	-Q 16,291.74	-Q 16,291.74	-Q 16,291.74	-Q 16,291.74	-Q 16,291.74	16,291.74
Costos Variables	-Q 479.43	-Q 500.86	-Q 523.25	-Q 546.64	-Q 571.07	
Costos totales	-Q 16,603.45	-Q 16,624.67	-Q 16,646.83	-Q 16,669.99	-Q 16,694.18	
Utilidad	Q 68,236.55	Q 73,517.83	Q 78,798.17	Q 84,077.51	Q 89,355.82	
Flujo neto acumulado	-Q 150,137.18	-Q 81,900.63	Q 8,382.80	Q 70,415.36	Q 154,492.87	Q 243,848.69

Fuente: elaboracion propia

		Costos												
		-1.00%	-2.00%	-3.00%	-4.00%	-5.00%	-6.00%	-7.00%	-8.00%	-9.00%	-10.00%			
	051,030.11	51030.11	52677.14	54324.18	55971.21	57618.24	59265.28	60912.31	62559.34	64206.38	65853.41			
	1.00%	59917.40	61564.44	63211.47	64858.50	66505.54	68152.57	69799.60	71446.64	73093.67	74740.70			
	2.00%	68804.70	70451.73	72098.76	73745.80	75392.83	77039.86	78686.90	80333.93	81980.96	83628.00			
	3.00%	77691.99	79339.02	80986.05	82633.09	84280.12	85927.15	87574.19	89221.22	90868.25	92515.29			
	4.00%	86579.28	88226.31	89873.35	91520.38	93167.41	94814.45	96461.48	98108.51	99755.55	101402.58			
	5.00%	95466.57	97113.61	98760.64	100407.67	102054.71	103701.74	105348.77	106995.81	108642.84	110289.87			
	6.00%	104353.87	106000.90	107647.93	109294.97	110942.00	112589.03	114236.07	115883.10	117530.13	119177.17			
	7.00%	113241.16	114888.19	116535.23	118182.26	119829.29	121476.33	123123.36	124770.39	126417.42	128064.46			
	8.00%	122128.45	123775.48	125422.52	127069.55	128716.58	130363.62	132010.65	133657.68	135304.72	136951.75			
	9.00%	131015.74	132662.78	134309.81	135956.84	137603.88	139250.91	140897.94	142544.98	144192.01	145839.04			
	10.00%	139903.04	141550.07	143197.10	144844.14	146491.17	148138.20	149785.24	151432.27	153079.30	154726.34			
	11.00%	148790.33	150437.36	152084.40	153731.43	155378.46	157025.50	158672.53	160319.56	161966.60	163613.63			
	12.00%	157677.62	159324.66	160971.69	162618.72	164265.75	165912.79	167559.82	169206.85	170853.89	172500.92			
	13.00%	166564.91	168211.95	169858.98	171506.01	173153.05	174800.08	176447.11	178094.15	179741.18	181388.21			
	14.00%	175452.21	177099.24	178746.27	180393.31	182040.34	183687.37	185334.41	186981.44	188628.47	190275.51			
	15.00%	184339.50	185986.53	187633.57	189280.60	190927.63	192574.67	194221.70	195868.73	197515.77	199162.80			
	16.00%	193226.79	194873.83	196520.86	198167.89	199814.93	201461.96	203108.99	204756.03	206403.06	208050.09			
	17.00%	202114.08	203761.12	205408.15	207055.18	208702.22	210349.25	211996.28	213643.32	215290.35	216937.38			
	18.00%	211001.38	212648.41	214295.44	215942.48	217589.51	219236.54	220883.58	222530.61	224177.64	225824.68			
	19.00%	219888.67	221535.70	223182.74	224829.77	226476.80	228123.84	229770.87	231417.90	233064.94	234711.97			
	20.00%													

Ingresos

Fuente: elaboración propia

Cuadro 30. Indicadores para identificar si el proyecto es viable

VPN	Q 51,030.11
TIR	18.50%
B/C	1.34

Fuente: elaboración propia

Al analizar el aumento de los ingresos y la reducción de los costos se determinó que esta tendencia genera un aumento del valor presente neto generando aumentar el valor presente neto a Q 51,030.11, la tasa interna de retorno a 18.50 % y la relación beneficio costo a 1.34.

7. Discusión de resultados

En la etapa 1 se analizó el espacio de trabajo del salón CIT-212, determinando que la línea de empaquetado tendrá un número limitado de estaciones por las dimensiones del área. Por lo que se definió que la línea de empaquetado tendría tres estaciones, las cuales funcionan para crear el producto terminado, y el uso de bandas transportadoras, disponibles en el laboratorio, y se analizó si se utilizará factor humano.

Al tener estos factores, se definió una propuesta para la línea de empaquetado. Se establecieron los prototipos para la materia prima, los cuales fueron creados en AUTOCAD, para su diseño 2D, y en la cortadora láser y el programa INKSCAPE, para su construcción y tener el prototipo final. Posteriormente, se desarrolló el diagrama de recorrido de operaciones para la línea de empaquetado de piezas y cajas creadas con cortadora láser, estableciendo así el número y tiempo de las diferentes operaciones y del transporte en proceso de empaquetado, con el fin de tener una representación gráfica del funcionamiento de las diferentes tareas en el sistema.

Finalmente, en esta etapa del trabajo, se analizó si el sistema sería 100 % automatizado, se determinó que sería vital el elemento humano en la línea, porque se puede ahorrar en la cotización y desarrollo de máquinas para tareas sencillas. En la línea se propone utilizar a 2 individuos para que realicen tareas de baja holgura, definiendo que la línea de empaquetado sería semiautomatizada. Sin embargo, el trabajo sigue cumpliendo con demostrar cómo la implementación de robots automatizados y maquinaria industrial puede mejorar y estandarizar ciertas tareas, generando un impacto positivo en tareas industriales.

En la etapa 2, al ya tener la información sobre las posibles máquinas y robots a utilizar, se utilizó el programa de Simio para desarrollar una simulación y analizar cada tarea que realizará cada componente automatizado, las bandas transportadoras y el personal que apoyará en el sistema. Por lo que se construyó el modelo en el programa Simio utilizando diferentes componentes en su librería como *entities*, *source*, *sink*, *server combiner*, *worker*, *path*, *conector*, entre otras herramientas. Al construir la línea de empaquetado en 2D, se utilizan las herramientas del mismo programa para realizar el modelo 3D.

Finalmente, se analizaron los datos obtenidos de la simulación y se interpretó en dónde posiblemente existan cuellos de botella, el tiempo de cada estación, cuántas unidades de generación en un tiempo determinado, el porcentaje de utilidad de cada estación o involucrado en el sistema de trabajo.

En la etapa 3, se evaluaron las medidas básicas para que no existan accidentes ni incidentes que puedan poner en peligro la integridad de las personas dentro del laboratorio, por lo que se buscará desarrollar un plan de seguridad industrial para tratar estos males analizando mediante un diagrama Bow-Tie de cada problemática y proponiendo una barrera que sea efectiva y apoye a solucionar problemática que se detecte.

Además, se diseñará un mapa de seguridad industrial señalando el espacio donde los estudiantes pueden estar mientras las máquinas y robots estén en funcionamiento y la señalización puntual de artefactos para resguardar la seguridad, como extintores, botiquín, salida de emergencia y la señalización para indicar el equipo obligatorio de protección.

En este espacio se brindará información que será útil para algún operario que tenga que realizar cargas de productos terminados para que no sufra un accidente. Finalmente, se realizó un listado de todo el equipo de seguridad necesario que debe de utilizar los operarios mientras la línea de empaquetado este prendida y en funcionamiento, para proponer un reglamento que los estudiantes deberán cumplir para resguardar su integridad y cuidar el equipo del laboratorio.

En la etapa 4, se realizó un análisis de costo, por lo que se realizaron diferentes cotizaciones de máquinas y robots, de la materia prima, material de empaque, equipo de seguridad. Se obtuvo un costo total de la línea de empaquetado para proponer al Departamento de Ingeniería Industrial.

Posteriormente se evaluó la viabilidad del proyecto, se analizaron los costos variables y fijos, y cómo el cambio de variantes en el escenario podía afectar el trabajo tras el paso del tiempo. Sin embargo, en todo proyecto se debe analizar cómo este puede generar el retorno económico al inversionista, por lo que se realizó una propuesta para analizar la viabilidad, y se determinó la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR) y los posibles ingresos que generaría este proyecto para la Universidad del Valle de Guatemala. Al realizar el flujo de efectivo se analizó la información obteniendo el valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR) y la relación beneficio costo (B/C), donde se mostró que el proyecto sería aceptable, siempre y cuando se cumpla con los supuestos propuestos.

8. Conclusiones

- Los resultados obtenidos muestran que la secuencia de trabajo consistió de 3 estaciones de trabajo con maquinaria y 2 estaciones de trabajo donde se involucran 2 individuos. Las 3 máquinas que se utilizarían un brazo robótico de 6 grados de libertad, un robot delta y una selladora semiautomatizada. Teniendo esto en cuenta, se creó el diseño de la línea de empaquetado semiautomatizada con las medidas del salón CIT- 212, de la banda transportadora y de las máquinas propuestas, usando el programa de AutoCAD. Además de proponer la materia prima que se utilizaría la cual es creada por el programa Inkscape, tableros MDF y con la manipulación de la cortadora láser.
- Se ha demostrado, con la simulación en el programa SIMIO, que la línea de trabajo creó 112 unidades de producto terminado y se generaron 14 cajas empaquetadas que contengan 8 unidades del producto terminado. Se identificó que el tiempo muerto se da por causas de velocidad de la banda transportadora por lo que, si se aumenta la velocidad, se podrá generar una mayor cantidad de producto y empaques terminados.
- Se concluyó que los riesgos pueden presentarse en toda línea automatizada. Se identificaron posibles riesgos y se propusieron barreras para evitar accidentes o incidentes, utilizando diagramas Bow-Tie. Además, se identificó el equipo que los individuos que apoyen en la línea automatizada deben utilizar equipo de seguridad como cascos industriales, botas industriales y lentes de seguridad. Asimismo, de señalar todas las señalizaciones para resguardar la seguridad en el área de trabajo y que se vele por cumplir con el reglamento propuesto.
- De acuerdo con los datos de las cotizaciones, la línea automatizada de empaquetado tuvo un costo de Q 150,137.18 y, al analizar la viabilidad de los costos, se determinó que el proyecto es viable. Es fundamental que este genere ingresos, por lo que se contempló la creación de una propuesta para generar ingresos al proyecto para que este sea viable para el Departamento de Ingeniería Industrial, tomando en cuenta el valor presente neto de Q 40,495.78, la relación de beneficio costo de 1.27 y la tasa interna de retorno de 17.31 %, la cual es mayor a la tasa mínima aceptable de rendimiento la cual es de 14.47 %.

9. Recomendaciones

- Al contemplar continuar con la propuesta, es necesario que, si se realiza la compra de las máquinas, se debe volver a medir las dimensiones de los aparatos para verificar que las medidas dadas por el proveedor sean correctas y distribuir la maquinaria y las bandas transportadoras correctamente para no afectar el paso de individuos en el área de trabajo.
- Comunicarse con el departamento de D-Hive para indicar que se necesitaría de la maquinaria de cortadora láser para realizar toda la materia prima y que ellos les indiquen si no existiría costo por la materia prima o se realizaría un cargo adicional por el uso de las máquinas, contemplando el presupuesto del proyecto.
- Considerar que al realizar una simulación puede existir variabilidad entre lo realizado con lo que suceda en el mundo real, por lo que es vital realizar pruebas previas si el proyecto se lleva a cabo y verificar que el tiempo de producción es similar al propuesto.
- Capacitar correctamente a los individuos que van a apoyar para que la tarea no genere cuellos de botella o atrasos innecesarios.
- Analizar que en todo trabajo existen riesgos y que estos pueden ser impredecibles, pero sí controlables. Por lo que es importante evaluar todos los factores posibles, proponer medidas de seguridad y barreras necesarias para prevenir sucesos que puedan atentar contra la integridad humana o material.
- En caso este proyecto se aplica en el laboratorio siempre es importante cumplir con las medidas propuestas y si consideran que es necesario enriquecer las medidas es vital hacerlo, ya que se pueden presentar posibles riesgos que no se analizaron previamente y por lo que se debe proponer barreras para evitar posibles accidentes o incidentes.
- Al realizar las compras de los robots, maquinaria y materia prima, verificar que no existan costos adicionales que puedan afectar el presupuesto pactado originalmente.
- En caso invertir en todos los competentes de la línea automatizada de empaque, es necesario analizar si el plan de inversión es realista en el mundo real, para así poder generar ingresos y retornar lo invertido en la línea de empaquetado y, si este no fuera el caso, tomar medidas para que la rentabilidad y viabilidad del proyecto no se miren perjudicados a futuro.
- Así mismo, una ventaja que tendrá la implementación de esta línea de empaquetado automatizada es que la podrán utilizar diferentes cursos de la carrera de ingeniería industrial, para que los jóvenes puedan fortalecer sus conocimientos y capacidades adquiridas durante su carrera universitaria. Por lo tanto, se podrá generar diferentes guías y prácticas como análisis de datos y simulación utilizando Simio, estudio de movimientos y tiempo, análisis de medidas básicas de seguridad industrial, evaluación de costos de producción, evaluación de proyectos utilizando herramientas de la ingeniería económica, analizar la producción de la línea de trabajo, entre otras actividades.

- Adicionalmente, en este trabajo profesional no se realizó un plan de aprendizaje, pero se recomienda que se analicen los cursos de la carrera y se implemente material donde los jóvenes puedan fortalecer los conocimientos adquiridos durante la carrera y así mejorar el conocimiento sobre la automatización, porque los ingenieros industriales deben tener la capacidad de adaptación y adecuarse a los nuevos requerimientos de las industrias modernas, fortaleciendo el área cognitiva del alumnado y así mejorar las competencias en el mundo actual.

10. Referencias

- Amazon. (s. f.). *INTSUPERMAI Sistemas de cinta transportadora plana de PVC de velocidad ajustable Transportador de correa de PVC para transporte industrial con doble barandilla 53 pulgadas de longitud 15.7 pulgadas de*. Obtenido de https://www.amazon.com/dp/B08PNPRMHS/ref=sspa_dk_hqp_detail_aax_0?psc=1&sp_csd=d2lkZ2V0TmFtZT1zcF9ocXBfc2hhcmVk
- Arch. (11 de Octubre de 2023). *Análisis de Sensibilidad: Qué Es y Cómo Hacerlo*. Obtenido de <https://www.arch.finance/blogs/analisis-de-sensibilidad-que-es>
- Autmix. (24 de julio de 2023). *¿Qué es la simulación de procesos industriales y cómo funciona?* Obtenido de <https://autmix.com/blog/que-es-la-simulacion-de-procesos>
- AUTODESK. (s. f.). *AutoCAD: 2D and 3D CAD software trusted by millions to draft, engineer, and automate designs anywhere, anytime*. Obtenido de <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- Banco de Guatemala. (enero de 2024). *ENCUESTA DE EXPECTATIVAS ECONÓMICAS AL PANEL DE ANALISTAS PRIVADOS*. Obtenido de <https://banguat.gob.gt/sites/default/files/banguat/Publica/EEL/archivos/ENEXI2313.pdf>
- Blank, L., & Tarquin, A. (2006). *Ingeniería Económica*. Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S. A. DE C. V.
- CAT. (s. f.). *Botas Industrial Resorption WP para Hombre*. Obtenido de <https://caterpillargt.com/products/30054791-botas-industrial-resorption-wp-para-hombre>
- CEK, C. (16 de marzo de 2024). Obtenido de <https://corporacioncek.com/clasificacion-de-los-equipos-de-proteccion-personal/>
- CEMACO. (s. f.). *Casco Con Visera Tipo I Amarillo - Bullard*. Obtenido de <https://www.cemaco.com/casco-con-visera-tipo-i-amarillo-bullard-1103048/p>
- CEMACO. (s. f.). *Guantes De Látex Para Uso Industrial - Truper*. Obtenido de <https://www.cemaco.com/guantes-de-latex-para-uso-industrial-truper-731808/p>
- CERTUS. (15 de Junio de 2021). *¿Qué es el estado de flujos de efectivo para una empresa?* Obtenido de <https://www.certus.edu.pe/blog/estado-flujos-efectivo/>
- DSIC. (s. f.). *Simio*. Obtenido de https://dsic.pucv.cl/?page_id=3119
- EPA. (s. f.). *Extintor de pqs 4.5kg, c005f01 ,extin flam*. Obtenido de https://gt.epaenlinea.com/extinguidor-de-pqs-4-5kg-c005f01-extin-flam.html?srsltid=AfmBOoqQDxP87gT07YcTntck9cmD6OAHlvY7UsZZtLgM3V_kGrQ3KUwC
- Euroinnova. (s. f.). *¿Qué es seguridad industrial?* Obtenido de <https://www.euroinnova.com/blog/que-es-seguridad-industrial>
- EVS. (s. f.). *¿Qué es el grado de libertad en robótica?* Obtenido de <https://www.evsint.com/es/degrees-of-freedom-in-robotic-arms/#:~:text=Brazo%20rob%C3%B3tico%20de%204%20grados,el%20brazo%20rob%C3%B3tico%20funcione%20correctamente>
- Finance, L. (s. f.). *¿Deseas saber si una inversión será rentable para tu startup? Calcula el valor presente neto*. Obtenido de <https://leanfinance.es/valor-presente-neto/>
- FISALIA. (s. f.). *Higiene postural, mejórala con estos sencillos ejercicios*. Obtenido de <https://fisalia.es/higiene-postural/>

- Hegel, I. d. (30 de enero de 2023). *Estructura de un plan de seguridad*. Obtenido de <https://hegel.edu.pe/blog/estructura-de-un-plan-de-segurida-actualizado-2023/>
- IBM. (s. f.). *¿Qué es la Industria 4.0?* Obtenido de <https://www.ibm.com/mx-es/topics/industry-4-0>
- Inkscape. (s. f.). *¿Qué es Inkscape?* Obtenido de <https://inkscape.org/es/acerca-de/>
- Innovation, A. (25 de Octubre de 2019). *Industria 4.0 ¿Qué implica?* Obtenido de <https://www.atriainnovation.com/industria-4-0-que-implica/>
- Made-in-China. (s. f.). *3086 Paso 6 Industrial del eje brazo robótico para la manipulación con CE*. Obtenido de https://es.made-in-china.com/co_zekeep/product_3086-Step-6-Axis-Industrial-Robotic-Arm-for-Handling-with-CE_ysguegugog.html
- Made-in-China. (s. f.). *En paralelo automática de brazo robot Robot Delta de la industria de la carga de apilamiento de galletas en la bandeja o caja de fábrica de maquinaria de embalaje Direct*. Obtenido de https://es.made-in-china.com/co_tefude2018/product_Automatic-Parallel-Robot-Arm-Industry-Delta-Robot-for-Biscuit-Stacking-Loading-in-The-Tray-or-Box-Packaging-Machinery-Factory-Direct_uouinsngiu.html?pv_id=1idm98sre83c&faw_id=1idm99g7284e
- Made-in-China. (s. f.). *Fácil de controlar el funcionamiento de manera constante Semi-Auto sellado de la Caja de cartón Caja de cartón Máquina selladora*. Obtenido de https://es.made-in-china.com/co_taizymachinery/product_Easy-to-Control-Operate-Steadily-Semi-Auto-Carton-Box-Sealing-Machine-Carton-Box-Sealer_ysnhngheig.html?pv_id=1idm9dvbjc8d&faw_id=1idm9h97133_e
- Máquinas y Herramientas Online. (28 de Mayo de 2021). *Qué es un distanciómetro laser y cómo se usa*. Obtenido de <https://www.maquinasyherramientasonline.com/blog/que-es-un-distanciometro-laser-y-como-se-usa/>
- Máquinas y Herramientas Online. (28 de Mayo de 2021). *Qué es un distanciómetro laser y cómo se usa*. Obtenido de <https://www.maquinasyherramientasonline.com/blog/que-es-un-distanciometro-laser-y-como-se-usa/>
- Medline Plus. (8 de diciembre de 2023). *Agacharse y levantar un objeto correctamente*. Obtenido de <https://medlineplus.gov/spanish/ency/patientinstructions/000414.htm>
- Niebel, B., & Freivalds, A. (2009). *Ingeniería Industrial: Métodos estándares y diseño de trabajo*. Mexico, D.F.: Mc Graw Hill Education. Obtenido de https://students.aiu.edu/submissions/profiles/resources/onlineBook/a9p7r9_Metodos%20estandares%20y%20diseño%20del%20trabajo.pdf
- PackingBox. (s. f.). *Caja de 35 x 20.5 x 16.5 cm*. Obtenido de <https://packingboxgt.com/products/caja-de-35-x-20-5-x-16-5-cm?variant=44543976014051>
- Pearson. (s. f.). *Aplicaciones de selladoras de cajas*. Obtenido de <https://pearsonpkg.com/es/equipment/seal/case-sealer/#:~:text=Las%20selladoras%20autom%C3%A1ticas%20de%20cajas,son%20marcas%20de%20calidad%20importantes.>
- Piqueras, V. Y. (7 de junio de 2021). *Diagramas de proceso de operaciones como herramienta en el estudio de métodos*. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2021/06/07/diagramas-de-proceso/>

- Platino, L. (s. f.). Obtenido de <https://platino.com.gt/index.php?route=product/search&search=Pintura+en+spray&description=true&page=3>
- Project, L. (s. f.). ¿Para qué sirve una cortadora láser MDF? Obtenido de <https://www.laserproject.es/para-que-sirve-cortadora-laser-mdf/>
- Protecciones, T. (s. f.). *Medidas básicas de seguridad en una empresa industrial*. Obtenido de <https://termiserprotecciones.com/medidas-seguridad-una-empresa-industrial/>
- Prysmex. (26 de diciembre de 2023). *Análisis bow tie: sus aportes a la gestión de riesgos*. Obtenido de <https://www.prysmex.com/blog/analisis-bow-tie-gestion-riesgos>
- REGLAMENTO DE SALUD Y SEGURIDAD OCUPACIONAL. (2016). Obtenido de REGLAMENTO DE SALUD Y SEGURIDAD OCUPACIONAL
- rental, U. (s. f.). PLS 4.75. Obtenido de <https://utility.rentals/product/pls-4-75/>
- Rioja, U. I. (29 de Febrero de 2024). *Seguridad industrial: en qué consiste, importancia y normativa vigente*. Obtenido de <https://www.unir.net/ingenieria/revista/seguridad-industrial/>
- RIPIPSA. (2019). Brazos robóticos ¿Qué son, cómo funcionan y qué tipos existen? Obtenido de <https://ripipsacobots.com/brazos-roboticos-industriales/>
- SDI. (s. f.). ¿Qué es una línea de producción? Obtenido de <https://sdindustrial.com.mx/blog/linea-de-produccion/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20una%20l%C3%ADnea%20de,de%20trabajo%20de%20la%20f%C3%A1brica>
- SIDECO. (s. f.). ¿QUÉ ES UNA CORTADORA LÁSER? Obtenido de <https://sideco.com.mx/que-es-una-cortadora-laser/>
- SIIGO. (4 de diciembre de 2018). ¿Qué es un centro de costos? Obtenido de <https://www.siigo.com/sistema-de-costos/que-es-un-centro-de-costos/>
- Solutions, I. d. (s. f.). ¿Qué es la Industria 4.0? Obtenido de <https://www.lisdatasolutions.com/es/blog/que-es-la-industria-4-0/>
- SYDLE. (22 de septiembre de 2022). *Automatización de procesos: ¿cómo funciona? ¿Cuáles son los beneficios?* Obtenido de <https://www.sydle.com/es/blog/automatizacion-de-procesos-6070ae4c9b901904c4349dcb>
- Torres, G. (13 de abril de 2022). *Robots Delta... ¿qué, cómo, cuándo y por qué?* Obtenido de <https://urany.net/blog/robots-delta-qu%C3%A9-c%C3%B3mo-cu%C3%A1ndo-y-por-qu%C3%A9>
- Vipond, T. (s. f.). *Análisis de escenarios*. Obtenido de <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/financial-modeling/scenario-analysis/>

11. Anexos

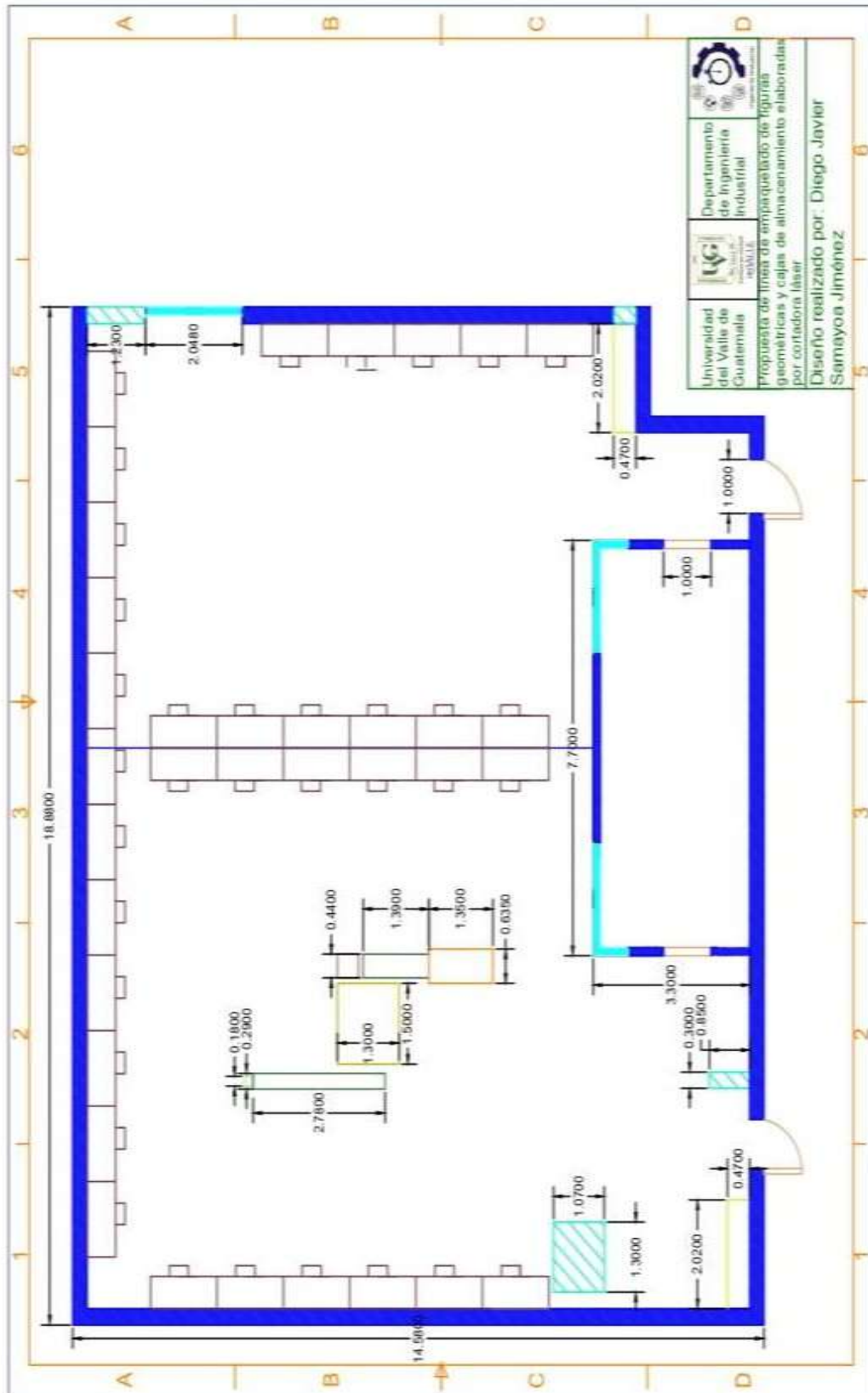
Anexo 1. Espacio de trabajo



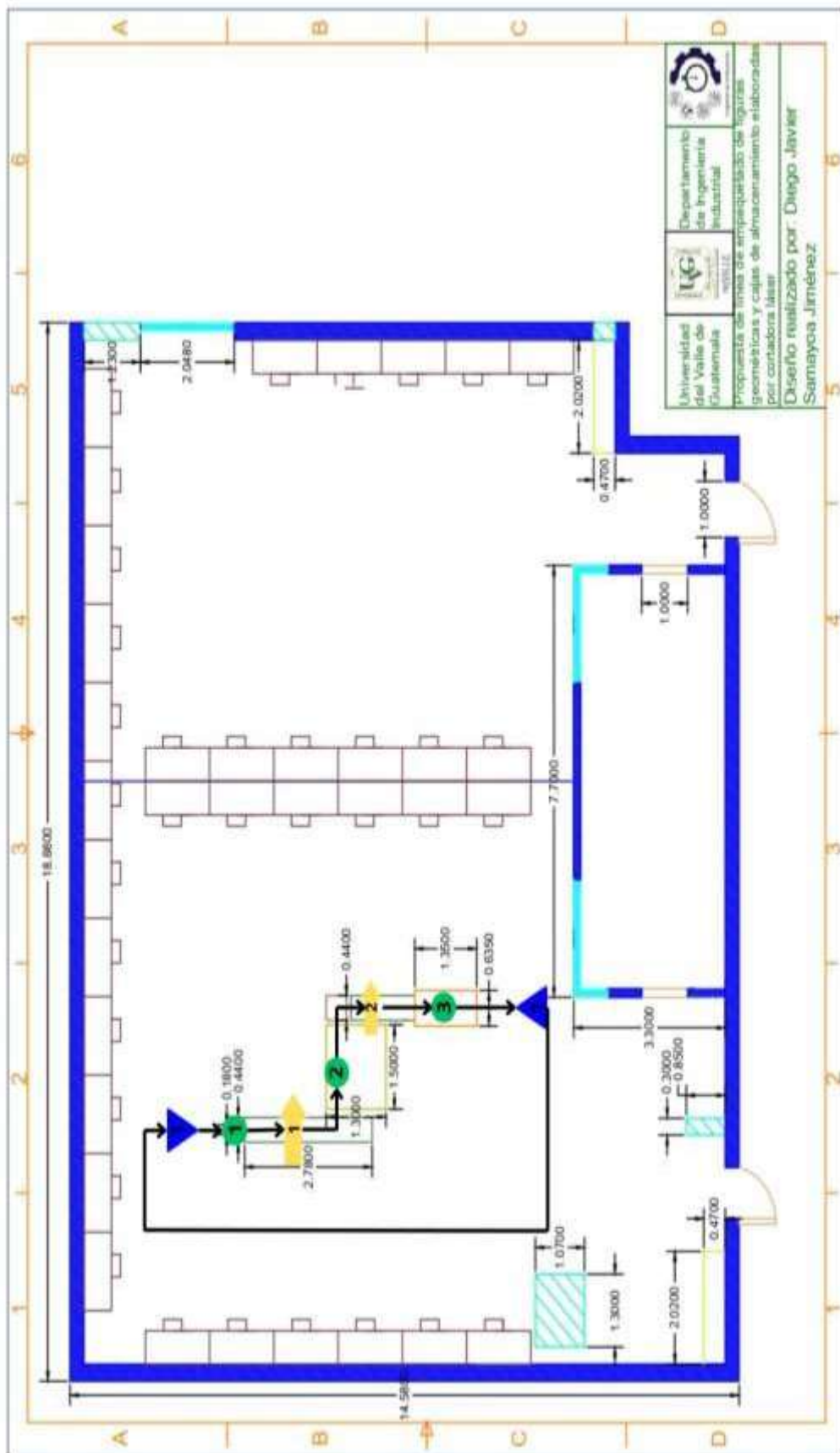
Anexo 2. Banda transportadora existente



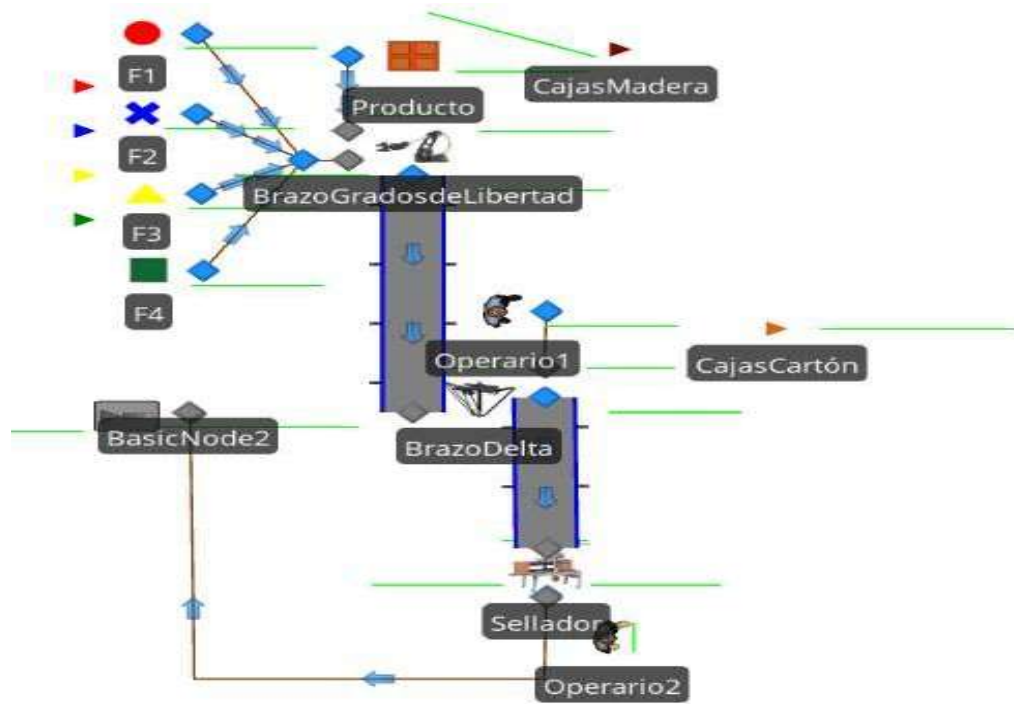
Anexo 3. Distribución del espacio para el sistema de empaquetado



Anexo 4. Diagrama de recorrido



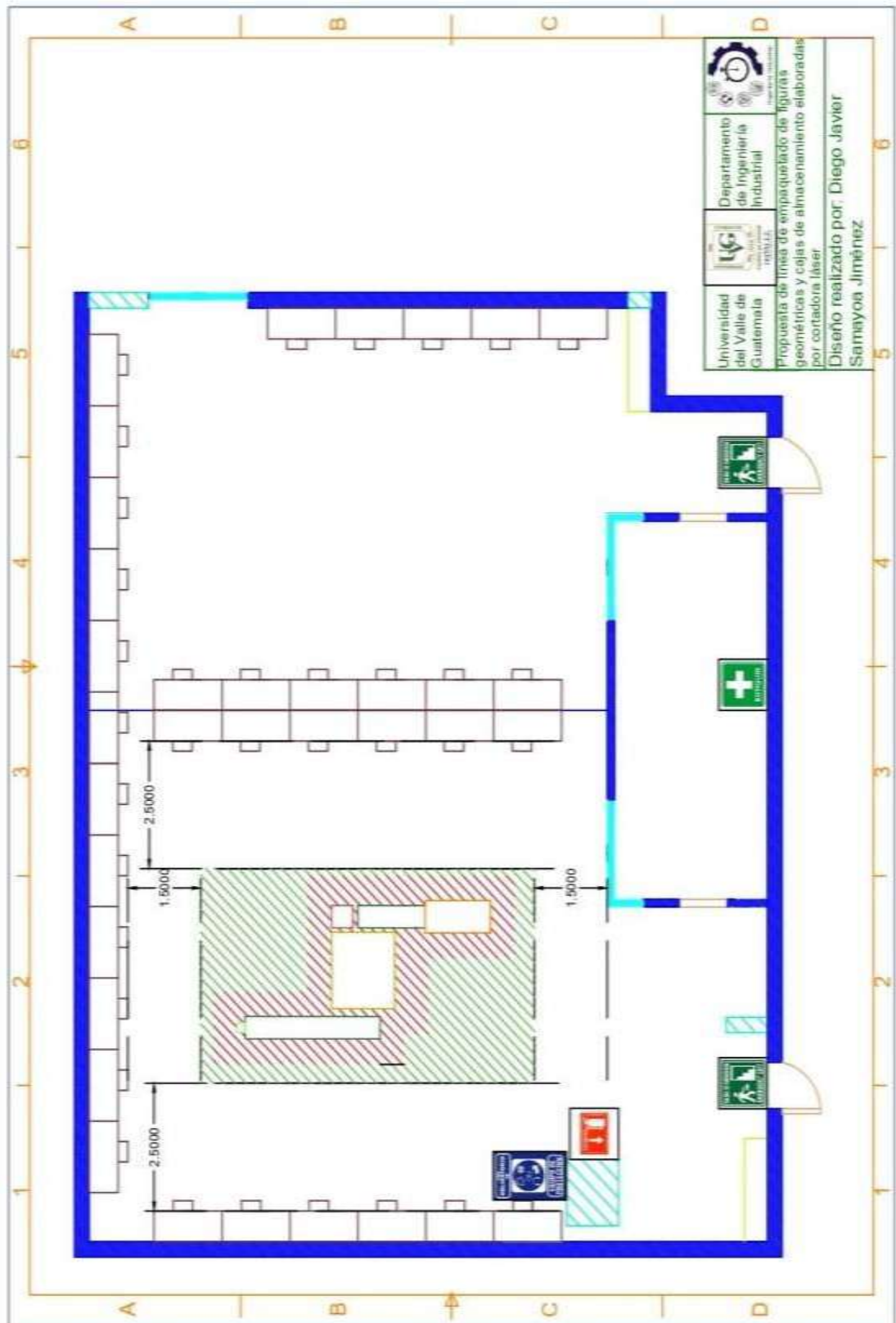
Anexo 5. Simulación en 2D del sistema de empaquetado







Anexo 6. Simulación en 3D del sistema de empaquetado



Anexo 7. Mapa para resguardar la seguridad industrial del área



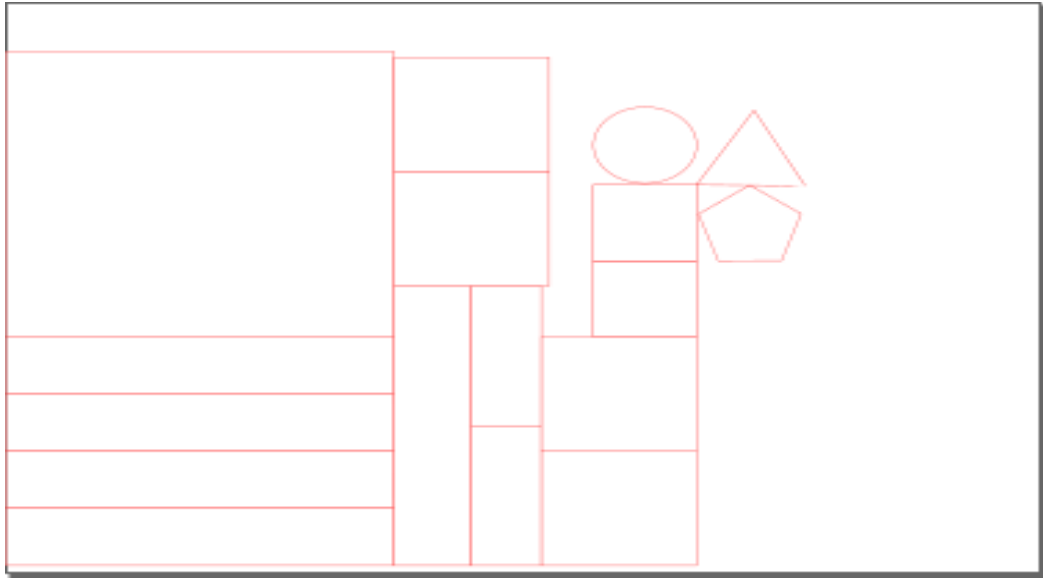
Anexo 8. Prototipo de la materia prima

	
Círculo-Rojo	Cuadrado-Verde
	
Triángulo-Amarrillo	Pentágono-Azul

Anexo 9. Prototipo del producto terminado

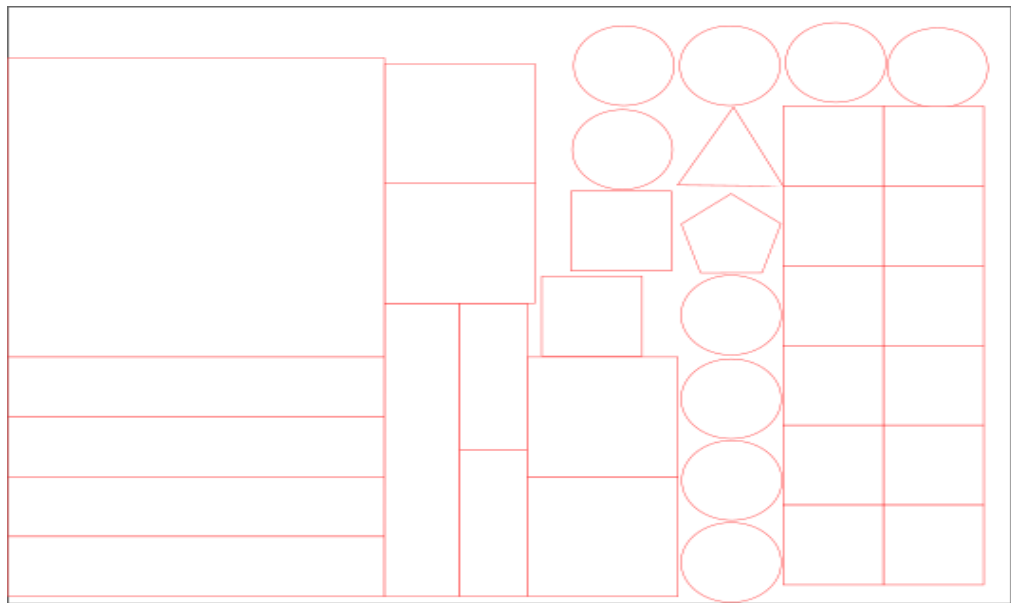


Anexo 10. Partes de la caja y figuras geométricas realizadas en Inkscape en un espacio total de 30 cm* 40 cm



El espacio que no se utiliza para la elaboración de la materia prima se puede utilizar para diseñar más piezas geométricas, logrando ahorrar MDF.

Anexo 11. Cantidad de piezas adicionales que se pueden crear con el excedente de material de las cajas



Aprovechando el espacio sobrante en la elaboración de las piezas de la caja, se pueden cortar 21 piezas, con el fin de aprovechar la materia prima.