

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Industrial



Análisis de una línea de producción de cajas troqueladas para realizar una mejora que aumente la capacidad de producción mediante la evaluación de diversas alternativas en una planta de producción de cartón corrugado en Escuintla, Guatemala

Trabajo de graduación presentado por José Felipe Orellana Gutiérrez para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Industrial

Guatemala,

2024

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Departamento de Ingeniería Industrial

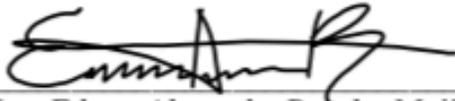


Análisis de una línea de producción de cajas troqueladas para realizar una mejora que aumente la capacidad de producción mediante la evaluación de diversas alternativas en una planta de producción de cartón corrugado en Escuintla, Guatemala

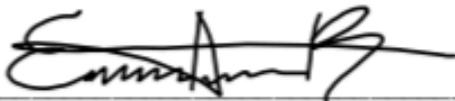
Trabajo de graduación presentado por José Felipe Orellana Gutiérrez para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Industrial

Guatemala,
2024

Vo. Bo.

(f) 
Ing. Edwar Alexander Rosales Mejía

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Edwar Alexander Rosales Mejía

(f) 
Inga. María Del Carmen Rodríguez Flores

(f) 
Inga. Vivian Judith Sigüenza Tobías

Fecha de aprobación del trabajo de graduación:
Guatemala, 16 de enero de 2024

Prefacio

En el marco del estudio y análisis de una línea de producción de cajas troqueladas con el objetivo de mejorar su capacidad de producción, me complace introducir este trabajo que representa un paso significativo en mi vida estudiantil y profesional.

Este proyecto no habría sido posible sin el apoyo inquebrantable de mi familia. A mi querida hermana Genoveva Orellana, que siempre ha sido un faro de inspiración y motivación en mi vida, gracias por alentarme a perseguir mis metas y desafiar los límites. A mi mamá Berta Alicia Gutiérrez y a mi papá Felipe Orellana, cuyo amor y apoyo incondicional han sido el motor que impulsa mis logros, les agradezco profundamente. También quiero extender mi gratitud a todos los miembros de mi familia, cuyo aliento y comprensión constante han sido un pilar fundamental en este camino. Por último, agradecer a la empresa y al project manager por brindarme todo su apoyo en la realización del trabajo de graduación.

Este trabajo representa el esfuerzo de muchas horas de investigación, análisis y evaluación de alternativas, y estoy emocionado de compartir los resultados con la comunidad académica y la industria. Espero que este estudio contribuya de manera significativa al mejoramiento continuo de la producción de cajas troqueladas.

Índice

Contenido

Prefacio	i
Lista de tablas	v
Lista de gráficas	vii
Lista de imágenes.....	viii
Resumen.....	x
Abstract.....	xii
I. Introducción	1
II. Objetivos	3
A. General	3
B. Específicos	3
III. Justificación	4
IV. Marco teórico	5
A. Cartón corrugado.....	5
1. Historia.....	5
2. Definición	5
3. Industria	6
4. Tipos y grosores.....	7
5. Proceso de fabricación	9
B. Caja impresa regular comercial.....	11
1. Definición	11
2. Industria	11
3. Propiedades.....	12
4. Proceso de fabricación	13
C. Caja troquelada.....	14
1. Definición	14
2. Industria	15
3. Propiedades.....	15
4. Proceso de fabricación	17

V. Metodología	18
VI. Recopilación de datos históricos de los departamentos de producción y ventas	20
A. Método de recopilación.....	20
B. Entrevista al director de ventas	20
VII. Indicadores de producción	21
A. Planificación.....	21
B. Disponibilidad.....	21
C. Rendimiento	26
D. Calidad	26
E. Eficiencia Total de los Equipos (ETE).....	27
VIII. Diagrama de Operaciones de Procesos de las líneas de producción de cajas troqueladas	29
IX. Resultados y análisis de datos históricos de demanda y producción real	31
A. Análisis estadístico de distribución normal en la demanda	31
diaria	31
B. Análisis estadístico de distribución normal en la producción real diaria.....	34
C. Análisis estadístico de comparación de medias (demanda vs producción real).....	37
X. Evaluación de posibles soluciones.....	40
A. Mejora de eficiencia de línea de producción.....	40
B. Comprar una máquina nueva	44
C. Comprar una máquina usada.....	45
D. Comparación de presupuestos.....	46
E. Ponderación de criterios de la compra de una máquina usada y	46
una máquina nueva	46
XI. Análisis de simulación en SIMIO	48
A. Análisis de datos para simulación.....	48
B. Resultados de la simulación	49
XII. Selección de la mejor solución	52

XIII. Planificación del proyecto (presupuesto y planificación de desembolsos).....	53
A. Ficha del proyecto	53
B. Presupuesto	59
C. Cronograma.....	60
D. Planificación de desembolsos	63
XIV. Implementación de la solución	65
A. Lugar de instalación	65
B. Proceso de instalación.....	68
XV. Gestión logística.....	71
A. Fletes marítimos	71
B. Seguros.....	73
XVI. Avances semanales	75
XVII. Resultados y análisis de la implementación de la solución	76
XVIII. Conclusiones	78
XIX. Recomendaciones	80
XX. Bibliografía	81
XXI. Glosario.....	84
XXII. Anexos.....	85

Lista de tablas

1. Proceso de fabricación de cartón corrugado	9
2. Proceso de fabricación de caja impresa regular	13
3. Proceso de fabricación de cajas troquelada.....	17
4. Análisis de paros de máquina del 1 de enero al 28 de enero del 2023 de la máquina ward4.....	22
5. Análisis de paros de máquina del 1 de enero al 28 de enero de la máquina UNITED ..	23
6. ETE de las máquinas Ward4 y UNITED	27
7. Resumen del DOP de troqueladora UNITED	29
8. Resumen del DOP de troqueladora Ward4.....	30
9. Clases del histograma de demanda diaria de m2 de cartón corrugado en cajas troqueladas	31
10. Estadísticas descriptivas de demanda diaria de m2 de cartón corrugado en cajas troqueladas	32
11. Clases histograma de producción real diaria de m2 de cartón corrugado en cajas troqueladas	34
12. Estadísticas descriptivas de producción real diaria de m2 de cartón corrugado en cajas troqueladas	35
13. Mejora de eficiencia en la disponibilidad de la troqueladora Ward4	41
14. Mejora de eficiencia en la disponibilidad de la troqueladora UNITED	42
15. Mejora de la efectividad total de los equipos.....	43
16. Proyección de metros producidos con aumento de eficiencia de la troqueladora Ward4	43
17. Proyección de metros producidos con aumento de eficiencia de la troqueladora UNITED.....	43
18. Comparación demanda diaria actual vs producción diaria con la mejora de eficiencia	43

19. Datos de una máquina nueva	44
20. Comparación demanda diaria y producción diaria comprando una máquina nueva ...	44
21. Datos de una máquina usada.....	45
22. Comparación demanda diaria y producción diaria comprando una máquina usada....	45
23. Comparación de presupuestos.....	46
24. Ponderación de criterios de decisión.....	46
25. Evaluación de criterios.....	47
26. Resumen de producción de máquina usada vs máquina nueva	50
27. Resumen de características y criterios de las tres alternativas.....	52
28. Ficha general del proyecto	53
29. Cotización en ficha del proyecto.....	53
30. Presupuesto en ficha del proyecto.....	54
31. Desembolsos en ficha del proyecto.....	54
32. Cronograma en ficha del proyecto	54
33. Logística en ficha del proyecto	54
34. Técnico en ficha del proyecto	55
35. Producción en ficha del proyecto.....	56
36. Aspecto legal en ficha del proyecto	56
37. Seguros en ficha del proyecto	57
38. Compras en ficha del proyecto	57
39. Responsabilidades en ficha del proyecto	58
40. Presupuesto	59
41. Cronograma del proyecto.....	60
42. Planificación de desembolsos	64
43. Seguro del transporte de la máquina.....	73
44. Clases del histograma de troqueladora instalada en m2	76
45. Estadísticas descriptivas de producción de troqueladora instalada.....	77
46. Comparación de producción anterior vs producción con la mejora implementada.....	77

Lista de gráficas

1. Disponibilidad de las máquinas	24
2. Rendimiento de las máquinas	26
3. Calidad de las máquinas.....	27
4. ETE de las máquinas Ward4 y UNITED	28
5. probabilidad normal de la demanda diaria de m2 de cartón corrugado en cajas troqueladas	33
6. Probabilidad normal de la producción real diaria de m2 de cartón corrugado en cajas troqueladas	36
7. Demanda y producción diaria total de m2 de cartón corrugado en cajas troqueladas...	38
8. Demanda vs producción real por día de m2 de cartón corrugado en cajas troqueladas	39
9. Distribución de la troqueladora Ward4.....	48
10. Distribución de la troqueladora UNITED.....	49
11. distribución de la máquina usada	49
12. Histograma de la demanda diaria de de cartón corrugado en cajas troqueladas.....	85
13. Histograma de la producción real diaria de de cartón corrugado en cajas troqueladas	85
14. Histograma de la producción real diaria de troqueladora instalada	86

Lista de imágenes

1. Producción mundial m2 de cartón ondulado 2018.....	6
2. Cartón corrugado single face	8
3. Tipos de flautas	8
4. Cartón corrugado doble pared.....	9
5. Caja impresa regular	11
6. Caja troquelada	14
7. Diagrama Ishikawa del efecto de la baja disponibilidad de las máquinas	25
8. DOP de troqueladora UNITED.....	29
9. DOP de troqueladora Ward4.....	30
10. Resultados de simulación máquina Ward4, máquina UNITED y máquina usada.....	50
11. Resultados de simulación de máquina nueva.....	50
12. Lugar de instalación	65
13. Partes de la máquina	66
14. Señalización del proceso de la máquina	67
15. Máquina desarmada	68
16. Plataforma de instalación de la máquina	68
17. Inicio de instalación de la máquina.....	68
18. Instalación de drenajes	69
19. Instalación del cuerpo de la máquina.....	69
20. Línea de desechos	69
21. Instalación de sistema eléctrico	69
22. Instalación de Stacker	69
23. Instalación de protectores	69
24. Alimentador instalado	70
25. Máquina instalada	70
26. Máquina instalada (vista trasera)	70

27. Flete marítimo	72
28. Detalles técnicos de troqueladora nueva.....	86
29. Precio de troqueladora usada	87
30. Protección de la máquina	87
31. Aireadores de la máquina.....	88
32. Stacker de la máquina	89
33. Fajas transportadoras instaladas.....	90
34. Avances semana 5.....	90
35. Avances semana 6.....	91
36. Avances semana 7.....	91
37. Avances semana 8.....	92
39. Avances semana 10.....	92
40. Avances semana 12.....	93
41. Avances semana 15.....	93

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo analizar una línea de producción de cajas troqueladas para realizar una mejora que aumente la capacidad de producción mediante diversas alternativas en una planta de producción de cartón corrugado en Escuintla, Guatemala.

La empresa se caracteriza por tener el mejor tiempo de entrega del mercado, esto es una ventaja competitiva y estratégica. Sin embargo, las dos líneas de producción de cajas troqueladas existentes no eran suficientes para abastecer la alta demanda. Esto estaba ocasionando problemas en los tiempos de entrega, es por ello que se necesitó implementar una solución en el proceso de troquelado de cartón corrugado, dado a que dichos tiempos aumentaron en noviembre y diciembre del 2022 y en enero del 2023.

De esta forma, se realizaron cuatro fases para resolver la problemática. La primer fase se basó en un análisis estadístico de distribución normal y estadísticas descriptivas (medidas de tendencia central y medidas de variabilidad) de la producción real diaria y la demanda diaria histórica de la empresa. Dicho proceso se complementó con un análisis cualitativo para evaluar los efectos con los clientes y depurar el problema central.

La segunda fase se basó en identificar tres posibles soluciones; mejorar la eficiencia total de los equipos, comprar una máquina nueva o comprar una máquina usada. También se elaboró una matriz de ponderación de criterios que incluyó costo y tiempos de entrega para evaluar las alternativas. Además se modeló en Simio con ayuda de Input Analyzer para proyectar el impacto de las mismas en el proceso productivo. Al concluir la fase, se presentaron los resultados a la empresa.

En la tercera fase se seleccionó la propuesta más efectiva y se continuó a planificar la implementación. Dicho plan incluye cuatro herramientas específicas. Con esto en mente, se llevó a cabo una ficha del proyecto para definir el objetivo, alcance, actividades, recursos necesarios y resultados esperados. También se estimó un presupuesto para detallar los costos de todas las actividades, recursos y elementos necesarios para poner en marcha el proyecto. Así mismo, se realizó un cronograma para visualizar la secuencia de todas las actividad, y por último, se hizo la planificación de desembolsos para la programación de los pagos o desembolsos de fondos necesarios para financiar el proyecto.

La última fase se centró en evaluar los resultados obtenidos de un mes de operación mediante un análisis estadístico. Con esto se pudo comprobar si los resultados fueron los esperados en la nueva línea de producción de cajas troqueladas.

La duración de todas las fases del proyecto fue aproximadamente de ocho meses, desde el análisis del problema que inició el 23 de enero de 2023 hasta la implementación y seguimiento en septiembre del presente año. Finalmente, se aplicaron profundamente 2 áreas de excelencia de Ingeniería Industrial: Procesos y Producción, y Análisis de Datos Para la Toma de Decisiones.

Abstract

The present project aims to analyze a die-cut box production line in order to make an improvement that increases production capacity through various alternatives in a corrugated cardboard production plant in Escuintla, Guatemala.

The company is characterized by having the best delivery time in the market, which is a competitive and strategic advantage. However, the two existing die-cut box production lines were not sufficient to meet the high demand. This was causing issues with delivery times, which is why a solution in the corrugated cardboard die-cutting process was needed, as these times increased in November and December of 2022 and in January of 2023.

In this way, four phases were carried out to address the issue. The first phase was based on a statistical analysis of normal distribution and descriptive statistics (measures of central tendency and measures of variability) of the actual daily production and historical daily demand of the company. This process was complemented with a qualitative analysis to assess the effects on customers and refine the central problem.

The second phase was focused on identifying three possible solutions: improving the overall efficiency of the equipment, buying a new machine, or buying a used machine. A criteria weighting matrix was also developed, including cost and delivery times, to evaluate the alternatives. Additionally, Simio modeling with the help of Input Analyzer was used to project their impact on the production process. At the end of this phase, the results were presented to the company.

In the third phase, the most effective proposal was selected, and planning for implementation continued. This plan includes four specific tools. With this in mind, a project charter was created to define the objective, scope, activities, necessary resources,

and expected results. A budget was also estimated to detail the costs of all activities, resources, and elements needed to launch the project. Likewise, a schedule was created to visualize the sequence of all activities, and finally, disbursement planning was done to schedule the payments or disbursements of funds necessary to finance the project.

The last phase focused on evaluating the results obtained from one month of operation through statistical analysis. This allowed verifying whether the results met expectations in the new die-cut box production line.

The duration of all project phases was approximately 8 months, from the analysis of the problem that began on January 23, 2023, to implementation and monitoring in September of the current year. Finally, 2 areas of Industrial Engineering excellence were deeply applied: Processes and Production, and Data Analysis for Decision Making.

I. Introducción

La industria del cartón corrugado desempeña un papel importante en el sector manufacturero y en el sector agrícola en Guatemala. Este tipo de cartón se utiliza para la fabricación de cajas y embalajes de alta resistencia. En el país, dicho sector ha experimentado un crecimiento constante debido al aumento de la demanda de productos envasados y embalados de manera segura y eficiente. En la actualidad, existen empresas fuertemente competitivas, tanto nacionales como internacionales, que se encargan de la producción de cajas regulares y cajas troqueladas.

Una empresa guatemalteca dedicada a la producción de cartón corrugado se enfrenta a desafíos significativos relacionados con la puntualidad en las entregas. Estos desafíos generan la necesidad de llevar a cabo una investigación exhaustiva para identificar la etapa del proceso donde se originan los problemas. Dicho esto, se puede afirmar que la alta demanda y la congestión de las máquinas son factores determinantes en esta problemática.

En este contexto, el estudio se centra en el análisis y resolución del problema a través de la formulación de un proyecto que presenta tres posibles soluciones. Estas propuestas se evalúan para determinar la más efectiva para la empresa. Posteriormente, se lleva a cabo una planificación estratégica en colaboración con los departamentos de finanzas, producción, logística y el gerente de proyectos para asegurar una implementación eficaz de la solución seleccionada.

Finalmente, se realiza un seguimiento de la implementación de la solución propuesta con el objetivo de evaluar su desempeño y verificar si los resultados obtenidos se alinean con las expectativas previas. Esta investigación contribuye a mejorar la eficiencia

operativa de la empresa y su capacidad para satisfacer las demandas del mercado en un sector tan competitivo como la producción de cartón corrugado en Guatemala.

El alcance del proyecto tiene un impacto directo en la oportunidad de crecimiento y en la satisfacción de los clientes. De esta forma, la implementación de dicha solución tiene como principio fortalecer la competitividad de la empresa.

Por lo anteriormente mencionado, el siguiente estudio presenta la importancia de la realización de este trabajo, así como una breve explicación de los objetivos alcanzados. De igual manera, se presentan una serie de conceptos teóricos que apoyan los principios de la metodología a implementar. Con base en esto, se realiza un análisis de la línea de producción actual, de las posibles soluciones y de la implementación de la propuesta más eficiente. Por último, se presentan las conclusiones obtenidas y distintas recomendaciones que apoyan los resultados.

II. Objetivos

A. General

Analizar una línea de producción de cajas troqueladas para realizar una mejora que aumente la capacidad de producción mediante la evaluación de diversas alternativas en una planta de producción de cartón corrugado en Escuintla, Guatemala.

B. Específicos

1. Analizar y evaluar el proceso de producción de cajas troqueladas mediante un análisis de indicadores de producción para determinar puntos de mejora.
2. Proponer alternativas para determinar la más adecuada mediante una matriz de evaluación de múltiples atributos.
3. Planificar la implementación de la alternativa seleccionada mediante una ficha del proyecto, cronograma, presupuesto y planificación de desembolsos.
4. Evaluar el desempeño de la alternativa implementada para determinar el aumento de la capacidad de producción mediante la comparación de indicadores de producción.

III. Justificación

La empresa de cartón corrugado guatemalteca ha sido reconocida históricamente por ofrecer los mejores tiempos de entrega en el mercado, lo que significa una ventaja ante sus competidores. Sin embargo, con la aparición de una nueva demanda es necesario cumplir con las entregas de los pedidos en las fechas establecidas por el cliente, por ende, se debe de cumplir con las metas de producción en cada etapa del proceso de elaboración del producto.

Se ha observado que en el proceso de cajas troqueladas, la demanda diaria superaba la producción diaria real. Para abordar esta problemática, se hizo necesario implementar una solución con el objetivo de satisfacer la demanda actual y restaurar la posición de la empresa como líder en cuanto a los mejores tiempos de entrega del mercado. Esta estrategia era esencial para mantener su ventaja competitiva y continuar destacándose en la industria.

Los beneficios del proyecto se centran en un impacto directo en la oportunidad de crecimiento y en la satisfacción de los clientes. La implementación de dicha solución tiene como principio fortalecer el posicionamiento dentro de la industria. Dentro del estudio se decidió analizar tres posibles soluciones y optar por la más efectiva de acuerdo a las necesidades internas y externas de la empresa.

IV. Marco teórico

A. Cartón corrugado

1. Historia

“Todo comenzó en 1856, en Inglaterra, cuando Edward G. Healy y Edward E. Allen patentaron un proceso con el que plisaban papel, dándole una forma ondulada. El objetivo era introducir este papel en el interior de los sombreros de copa para hacerlos más duraderos y cómodos de usar, 20 años más tarde cuando se le comenzó a dar un uso más aproximado al que conocemos hoy en día, el de utilizarlo para proteger mercancía debido a su gran resistencia y su capacidad de absorción de los golpes.” (DSSmith, 2018)

“En 1871 Albert L. Jones fue el primero en utilizar papel corrugado como embalaje protector. Lo utilizó para envolver botellas de vidrio y chimeneas de lámparas de queroseno. Las primeras cajas fabricadas con papel ondulado se produjeron en Estados Unidos en 1894 de la mano de Henry Norris y Robert Thompson. Un año después se las vendían a Wells Fargo para propósitos de envío. Estas cajas de cartón no solo eran más baratas y ligeras, frente a las tradicionales de madera; sino que, además, eran más fáciles de almacenar. Su popularidad fue creciendo a principios del siglo XX y ha llegado intacta hasta nuestros días, donde son sinónimo de confianza y sostenibilidad.” (DSSmith, 2018)

2. Definición

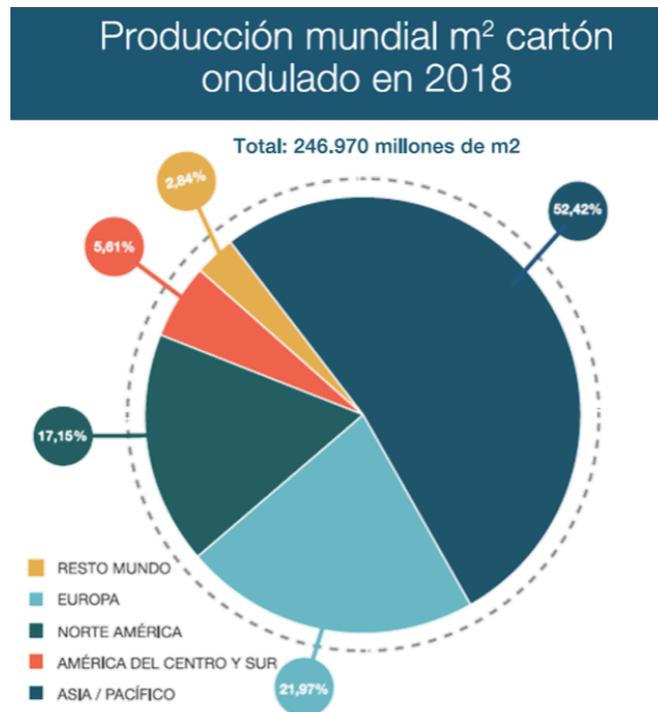
“El cartón corrugado se fabrica a partir de papel fabricado con fibras de celulosa virgen o reciclada y es un material utilizado para fabricar embalajes o envases para diferentes productos como frutas, verduras, entre otros productos que se necesitan almacenar o transportar. Se compone de una combinación de dos hojas de papel llamadas capas pegadas a una hoja de cartón ondulado. Estas tres capas de papel se ensamblan de tal manera que proporcionan una mejor estructura global que la de cada capa separada. Esta

estructura confiere al cartón corrugado una gran rigidez y resistencia al desgaste por su resistencia. El aire que circula en las flautas también sirve como aislante, lo que proporciona un excelente aislamiento térmico y protección contra las fluctuaciones de temperatura. Algunos de los productos que se pueden realizar con cartón corrugado son caja impresa regular y caja troquelada.”(Gonzalez, 2022)

3. Industria

La industrial del cartón corrugado a nivel mundial es muy importante, ya que es el método más barato, eficiente y fácil de utilizar en el sector de empaques y embalajes, ya que se puede usar en cualquier sector de productos como: alimentos, bebidas, farmacéuticos, textil, agrícola, entre otros.

Imagen 1: Producción mundial m^2 de cartón ondulado 2018



“Estados Unidos es uno de los productores más grandes del mundo de la fabricación de cartón corrugado. Ya que en 2021, la industria del cartón corrugado fabricó un récord de 416 000 millones de pies cuadrados (más de 38 500 millones de metros cuadrados) de material utilizado para fabricar cajas, expositores y otros envases de cartón corrugado. Esto equivalía a 40 000 millones de paquetes enviados a los clientes. Al mismo tiempo, la industria del cartón corrugado consumió 34 millones de toneladas de cartón para contenedores. La tasa de utilización de fibra reciclada de cartón para contenedores fue del 52,1 % en 2021. La tasa de reciclaje de envases de cartón corrugado viejos (OCC) fue del 91,4 % en 2021, y el promedio de tres años fue del 90,5%. Hay 1145 plantas de fabricación de cartón corrugado con aproximadamente 100 000 empleados en casi 1000 ciudades y pueblos de los EE. UU.” (G, 2022)

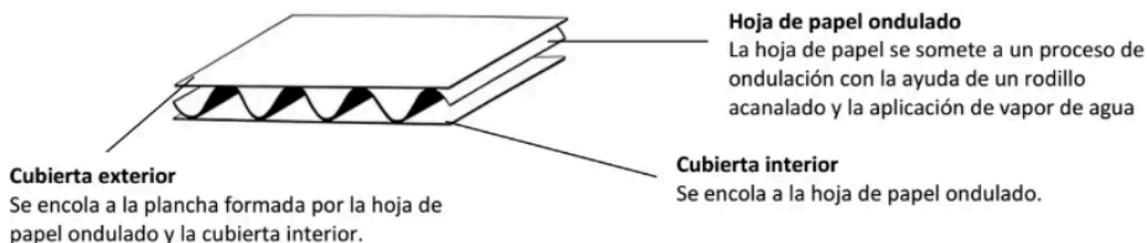
La industria del cartón corrugado en Guatemala es importante, dado que es el producto más utilizado para empaques y embalajes por empresas de diversos sectores de diferentes productos. Algunas de las empresas de elaboración de cartón corrugado y sus subproductos en Guatemala son: SigmaQ, Corrugadora de Guatemala S.A, Cartones de Guatemala S.A, entre otras. Las empresas antes mencionadas son proveedoras en Guatemala y todo Centroamérica.

4. Tipos y grosores

Algunos de los tipo de cartón corrugado son:

- Single face: este tipo de cartón está conformado por una lámina de papel ondulado en el centro y dos planchas de cartón liso, una en la parte inferior y otra en la parte superior.

Imagen 2: Cartón corrugado single face

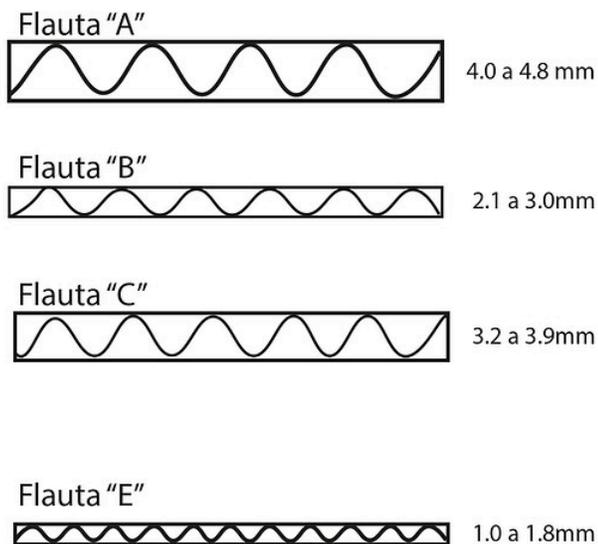


(Gonzales, 2022)

El grosor o calibre del cartón corrugado se denomina por “Flauta”:

- Flauta “A”: grosor entre 4.0 a 4.8mm
- Flauta “B”: grosor entre 2.1 a 3.0mm
- Flauta “C”: grosor entre 3.2 a 3.9mm
- Flauta “E” (micro corrugado): grosor entre 1.0 a 1.8mm

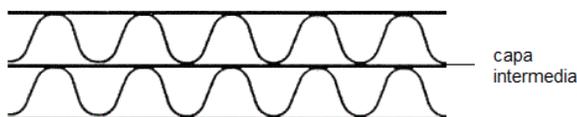
Imagen 3: Tipos de flautas



(Reybal, 2022)

- Doble pared: este tipo de cartón está conformado por dos láminas de papel ondulado divididas por una plancha de cartón liso en el centro y tiene dos planchas de cartón liso en los extremos, una en la parte inferior y otra en la parte superior. El grosor o calibre del cartón corrugado se denomina por “Flauta”:
 - Flauta “BC”: grosor total entre 5.3 a 6.9mm
 - Flauta “CE”: grosor total entre 4.2 a 5.7mm
 - Flauta “BE”: grosor total entre 3.1 a 4.8mm

Imagen 4: Cartón corrugado doble pared



(Arkiplus, 2020)

5. Proceso de fabricación

Tabla 1: Proceso de fabricación de cartón corrugado

Proceso	Descripción	Tipo de operación
Papel onda	Ingreso de rollos de papel onda.	Operador y máquina
Papel liner	Ingreso de rollos de papel liner.	Operador y máquina
Precaentado	En este proceso el papel liner pasa por unos rodillos donde se calienta el papel para que se adhiera de manera eficiente el adhesivo.	Máquina 1
Corrugador	Cuando ingresa el papel onda, pasa por rodillos corrugadores.	Máquina 2

Continuacion de tabla 1: Proceso de fabricación de cartón corrugado

Proceso	Descripción	Tipo de operación
Adhesivo (almidón) parte superior	El papel corrugado pasa por un proceso donde se añade adhesivo de almidón los bordes de las ondas.	Máquina 2
Pegado de papel lines en la parte superior del papel corrugado	Después de añadir adhesivo, el papel liner y el papel corrugado para por rodillos donde se pega la primer capa.	Máquina 2
Adhesivo (almidón) parte superior	El papel corrugado pasa por un proceso donde se añade adhesivo de almidón los bordes de las ondas.	Máquina 2
Pegado de papel liner en la parte inferior del papel corrugado	Después de añadir adhesivo, el papel liner y el papel corrugado para por rodillos donde se pega la segunda capa.	Máquina 2
Mesa de secado	En este proceso pasa el papel corrugado ya con las dos capas de soporte en la parte inferior y la parte superior por unas planchas calientes que ejercen presión para el secado y mejorar el pegado de las capas.	Máquina 3
Slitter y rayadores	Después de la mesa de secado, se corta el papel corrugado a lo ancho.	Máquina 4
Corte a lo largo	Después del rayador, se realizan cortes a lo largo según los pedidos solicitados por los clientes.	Máquina 4
Transporte al bufer de cortado e impresión de cajas	Por último se transporta al bufer para ingresar a las máquinas de impresión de cajas regulares y de cajas troqueladas.	Máquina y operador

B. Caja impresa regular comercial

1. Definición

- Caja impresa regular: este tipo de producto es una caja normal impresa que lleva dos paredes pegadas, la cual se puede imprimir con un estampado y tamaño personalizado.

Imagen 5: Caja impresa regular



(Del Centro, 2022)

2. Industria

Las cajas regulares son uno de los elementos de empaque y transporte más económicos comparados con los que son fabricados a base de madera, plástico o metal. Además, estas logran proteger óptimamente el contenido que en ella se guarda de golpes, arañazos, polvo, etc. Por otra parte, las cajas regulares se convierten en una herramienta de publicidad y promoción de los artículos y del negocio. Esto se debe a que en su superficie o costados, pueden colocarse imágenes o frases corporativas y cualquier tipo de información.

“A lo largo de los años, las industrias se han visto en la necesidad de implementar distintas estrategias y herramientas que les permitan mejorar sus procesos de producción; es por esto que las cajas regulares o ranuradas, han sido una de las creaciones que más han ayudado a ejecutar las labores de embalaje, almacenaje, transporte, publicidad de los

artículos y al posicionamiento corporativo en el mercado. Hoy en día, las cajas regulares son uno de los elementos más versátiles. Estas poseen una alta resistencia si se necesita apilarlas, además, pueden ser modificadas con el fin de facilitar su manipulación y su funcionalidad. Por otro lado, este tipo de cajas funcionan para las tareas de empaque y exhibición, ya que se les puede adicionar precortes y pueden contener accesorios o particiones. Cabe resaltar que, estos objetos de cartón ofrecen compartimentos internos, los cuales son ideales si se desea separar los productos que se guardan en su interior.” (Andina, 2023)

3. Propiedades

Algunas de las propiedades de las cajas impresas regulares son:

- Resistentes: “Esto se debe gracias a que el cartón con el que son fabricadas, está hecho con un tipo de fibras altamente resistentes. Adicionalmente, estas cajas pueden ser modificadas dependiendo de la carga que se quiera transportar o almacenar.” (Andina, 2023)
- Ligeras: “Las cajas regulares se caracterizan no solo porque aseguran los productos al momento de moverlos o exhibirlos, sino también por ser ligeras y fáciles de manipular. Su peso permite que las tareas de almacenamiento y distribución (en cantidades industriales) se realicen rápidamente.” (Andina, 2023)
- Rígidas: “Las cajas ranuradas o regulares se destacan porque logran mantener su forma de manera efectiva, sin embargo; es fundamental tener en cuenta los elementos que se van a empacar, junto con la dureza y gramaje del cartón, para que así se pueda evitar dobleces o daños en la caja debido al peso del producto.” (Andina, 2023)
- Adaptables: “Este tipo de cajas pueden ser modificadas; las dimensiones, el tamaño y el estilo puede ajustarse según las necesidades de la empresa. Por esta razón, muchas industrias llegan a utilizarlas como elementos de publicidad y presentación.” (Andina, 2023)

- Eco- amigables: “El cartón es un material 100% reciclable, esto vuelve a las cajas regulares una de las mejores opciones para los negocios que están buscando alternativas de empaque amigables con el medio ambiente y disminuir al tiempo la contaminación en el planeta.” (Andina, 2023)

4. Proceso de fabricación

Tabla 2: Proceso de fabricación de caja impresa regular

Proceso	Descripción	Tipo de operación
Ingreso de papel corrugado	El papel corrugado ingresa desde el bufer de almacenamiento del papel corrugado ya cortado en planchas que viene del corrugador.	Operador
Impresión con sello personalizado	Cada pedido de cada empresa tiene un sello personalizado, por lo que la plancha es sellada según el pedido de la empresa.	Máquina 1
Adhesivo	En esta etapa del proceso, se añade adhesivo de almidón a una parte de la pared de la caja.	Máquina 1
Pegado de dos paredes de la caja	Después de añadir adhesivo, se pegan dos paredes de la caja.	Máquina 1
Inspección de cajas	En este proceso se observa si la caja tiene defectos de dobleces, de impresión o de pegado.	Operador
Apilado y amarrado	En el apilado, hay un operador que esta ordenando el apilado que realiza la flexor, luego el apilado pasa por una faja para llegar a la máquina de amarrado.	Máquina y operador
Almacenamiento	Después del amarrado, el producto terminado se almacena.	Operador

C. Caja troquelada

1. Definición

En comparación con la caja impresa regular, la caja troquelada se puede armar y no lleva pegamento, por lo que es fabricada utilizando una matriz o un molde, también se puede imprimir con un estampado personalizado. “Las cajas troqueladas son todas aquellas cajas que han sido fabricadas mediante una matriz o molde que está insertado en una máquina troqueladora. Gracias a este proceso se pueden crear distintos modelos según las distintas necesidades. Estas cajas son consideradas una de las opciones más prácticas y útiles a la hora de realizar diseños específicos o particulares, además, su material liso crea la posibilidad de personalizarlas de acuerdo a los requerimientos del producto y el cliente. De la misma forma, estas cajas se caracterizan por ser de sola una pieza, por ser automontables y por no tener (en la mayoría de casos) un material complementario para su cierre como pegamentos o cintas.”(Andina, 2023)

Imagen 6: Caja troquelada



(Cartón fast, 2022)

2. Industria

El mercado del empaque o embalaje es un mundo que nos permite escoger una gran variedad de formas para solucionar las necesidades de empaquetado, presentación de productos, imagen corporativa y de transporte que se llegue a presentar en nuestra compañía. No importa el sector o industria en el que se encuentre nuestro producto, siempre habrá la posibilidad de encontrar y diseñar un tipo de empaque a la medida.

Este tipo de cajas en Guatemala suelen tener mercado en el sector agrícola, ya que permite obtener una mejor frescura y facilidad de uso para el almacenamiento y transporte de las frutas y verduras.

3. Propiedades

Algunas de las propiedades de las cajas troqueladas son:

- Ecoamigables: “hoy en día, se ha estado promoviendo el cuidado del medio ambiente y se ha tratado de concientizar a la población acerca del uso de materiales biodegradables y amigables con el medioambiente. Al usar cajas troqueladas, (que están hechas de cartón) no sólo estaremos ayudando al planeta, sino que también estaremos dando una buena imagen de nuestro servicio y negocio. Es importante destacar que este tipo de cajas son biodegradables y tienden a contaminar hasta un 60% menos que otros métodos de envase, siendo uno de los embalajes troquelados más ecológicos del mercado.” (Andina, 2022)
- Fácil armado: “muchas compañías o personas tienen problemas al momento de armar las cajas para la comercialización de su producto, actividad que resulta difícil y tediosa, esto no suele suceder con las cajas troqueladas. Estas están fabricadas, como lo habíamos mencionado con anterioridad, por medio de una matriz que corta la caja de una sola pieza autoarmable, esto hace que las cajas sean fáciles de armar y prácticas a la hora de almacenarlas.” (Andina, 2022)

- Pueden estar personalizadas: “las cajas troqueladas personalizadas son una de las mejores opciones si deseas cambiar el tamaño y las medidas convencionales a una caja, estas se adaptan a las necesidades de tu empresa o negocio. Puedes cambiar el color, tamaño, dimensión y hasta imprimirle los logos, etiquetas o calcomanías que desees, siendo una opción de publicidad y promoción de tu empresa.” (Andina, 2022)
- Buena calidad: “las cajas troqueladas a parte de tener un precio asequible, gracias al material con las que son fabricadas, son duraderas y resisten golpes fuertes. En ellas puedes llevar productos frágiles (como huevos, envases de vidrio, platos etc.) hasta productos de alto peso (herramientas de construcción, computadores etc.). Cabe resaltar que a parte de su calidad, son consideradas seguras por sus sistemas de cierre.” (Andina, 2022)

4. Proceso de fabricación

Tabla 3: Proceso de fabricación de cajas troquelada

Proceso	Descripción	Tipo de operación
Ingreso de papel corrugado	El papel corrugado ingresa desde el bufer de almacenamiento del papel corrugado ya cortado en planchas que viene del corrugador.	Operador
Impresión con sello y troquelado personalizado	<p>Cada pedido de cada empresa tiene un sello personalizado, por lo que la plancha es sellada según el pedido de la empresa.</p> <p>Cada empresa tiene un molde para el troquelador, por lo que la plancha se troquelela según el requerimiento de la empresa. En este proceso ya se le puede llamar “caja” al producto. Este proceso es realizado por la misma máquina que realiza la impresión.</p>	Máquina
Inspección de troquelado	En este proceso se observa si la caja troquelada tiene defectos de dobleces o de impresión.	Operador
Almacenamiento	Después del amarrado, el producto terminado se almacena.	Operador

V. Metodología

La planta de producción de cartón corrugado guatemalteca tenía 2 máquinas de producción de cajas troqueladas y 3 máquinas de producción de cajas impresas regulares. Se ha observado que la línea de producción de cajas troqueladas tiene problemas con las metas diarias de producción. Se esperaba encontrar que el problema de esta línea de producción sea que la cantidad de metros cuadrados de demanda diaria fuera superior a la cantidad de metros cuadrados producidos diariamente en la línea de producción de cajas troqueladas.

Se utilizó la investigación cuantitativa para este proyecto, ya que fue necesario realizar un análisis estadístico para la comparación de las cantidades de metros cuadrados producidos diariamente y cantidades de metros cuadrados de demanda diaria. A continuación se presenta la metodología que se utilizó en este proyecto para cada fase del análisis, propuesta, implementación y resultados:

- Fase 1: situación actual de la Línea de producción.

Se elaboraron indicadores de producción a partir de diagramas de operaciones de la línea de producción de cartón corrugado, cajas troqueladas y cajas impresas regulares con sus tiempos para identificar cuellos de botella. Asimismo, se modeló en Simio el proceso productivo actual, lo que permitió evaluar las líneas de producción actuales con precisión.

El análisis se complementó evaluando de forma estadística los datos históricos de la producción diaria y la demanda diaria proporcionados por la empresa de los últimos 3 meses, mediante la distribución normal y estadísticas descriptivas. Se entrevistó al departamento de ventas sobre el comportamiento de los tiempos de entrega y sus efectos con los clientes, para determinar aspectos cualitativos. A partir de ellos, se identificaron los

problemas principales encontrados en la línea de producción y se propusieron soluciones con fundamentos sólidos.

- Fase 2: propuesta de soluciones

Para la propuesta de alternativas, se evaluaron las diferentes opciones para los problemas identificados. Se tuvieron en cuenta los recursos necesarios, como maquinaria adicional y personal nuevo, que podrían resolver la problemática detectada. Se elaboró una matriz de ponderación de criterios que incluyó los resultados de la simulación, el costo y los tiempos de entrega para evaluar las alternativas. A partir de esto, se presentaron las opciones a la empresa y se definió cuál se implementaría en la siguiente etapa.

- Fase 3: plan de implementación

Se continuó con la planificación de la implementación de la solución seleccionada, lo que implicó la elaboración de una ficha del proyecto para definir el objetivo, el alcance, las actividades, los recursos necesarios y los resultados esperados. Se llevó a cabo un presupuesto detallado que incluyó los costos y gastos estimados de todas las actividades, recursos y elementos necesarios para ejecutar el proyecto. Se elaboró un cronograma para visualizar la secuencia de todas las actividades y, por último, se planificaron los desembolsos de fondos necesarios para financiar el proyecto.

- Fase 4: evaluación de resultados

En la etapa de implementación, se tomaron datos de un mes de operación con las modificaciones realizadas y se evaluaron los indicadores de producción para determinar el impacto obtenido en el proceso de mejora. Además, se realizó un análisis estadístico para comprobar si los resultados fueron los esperados.

VI. Recopilación de datos históricos de los departamentos de producción y ventas

A. Método de recopilación

La empresa de producción de cartón corrugado guatemalteca tiene una base de datos, donde se encuentran los tiempos de producción, cantidad de metros cuadrados realizados en un tiempo específico, finanzas, ventas, entre otros. Por lo que se recopilaron y analizaron los siguientes datos:

- Tiempos de producción
- Eficiencia de cada máquina
- Cantidad de metros cuadrados producidos por día de los últimos 3 meses
- Cantidad de metros cuadrados de demanda por día de los últimos 3 meses
- Datos necesarios de la logística del proyecto (cotizaciones y tiempos)

B. Entrevista al director de ventas

La planta de producción de cartón corrugado ha tenido los mejores tiempos de entrega del mercado, por lo que se necesitó realizar una retroalimentación de la satisfacción de los clientes. “La retroalimentación de los clientes se realiza una vez al mes, dentro del área comercial, la cual está a cargo del departamento de ventas, el departamento del servicio al cliente y el departamento de investigación y desarrollo.” Comentó el director de ventas.

“El canal de la comunicación con los clientes siempre es el vendedor como atención a la cuenta, la idea es que el vendedor haga el servicio pre y post venta” mencionó el director. La planta tiene departamentos de producción, logística, proyectos, compra, entre otros. Por lo que “Ventas tiene relación directa con producción, logística y finanzas por tema de facturación” agregó.

VII. Indicadores de producción

Los indicadores de producción son los elementos medibles dentro de un proceso de manufactura, a partir de los cuales es posible identificar el cumplimiento de los objetivos planteados por una organización, por lo que también ayuda a identificar problemas y a tomar decisiones basadas en la producción. La eficiencia general de los equipos es una medición basada en el porcentaje de productividad de una línea de producción. A continuación, se presentan los indicadores que conforman la Eficiencia Total de los Equipos (ETE) dados por el sistema utilizado por la empresa:

A. Planificación

La planificación hace referencia al tiempo de producción planificado diario, en este caso el tiempo planificado en la planta de producción de cartón corrugado es de 11 horas por turno, por lo que se realizan 2 turnos diarios.

B. Disponibilidad

La disponibilidad de una línea de producción es resultado del tiempo productivo dividido el tiempo planificado de producción (Calcular OEE, 2019). Por lo tanto, el tiempo productivo se resta el tiempo de comida, cambio de orden, ajuste operativo, Final de turno, material defectuoso del corrugador, falta de material, tinta, mantenimiento correctivo mecánico, Preprensa-sellos, Preprensa-troquel, Falla en el sistema, Falta de material, falta de personal, entre otros paros. A continuación se presenta un estimado de paros de la máquina Ward4 y UNITED desde el 1 de enero hasta el 28 de enero del presente año:

Tabla 4: Análisis de paros de máquina del 1 de enero al 28 de enero del 2023 de la máquina ward4.

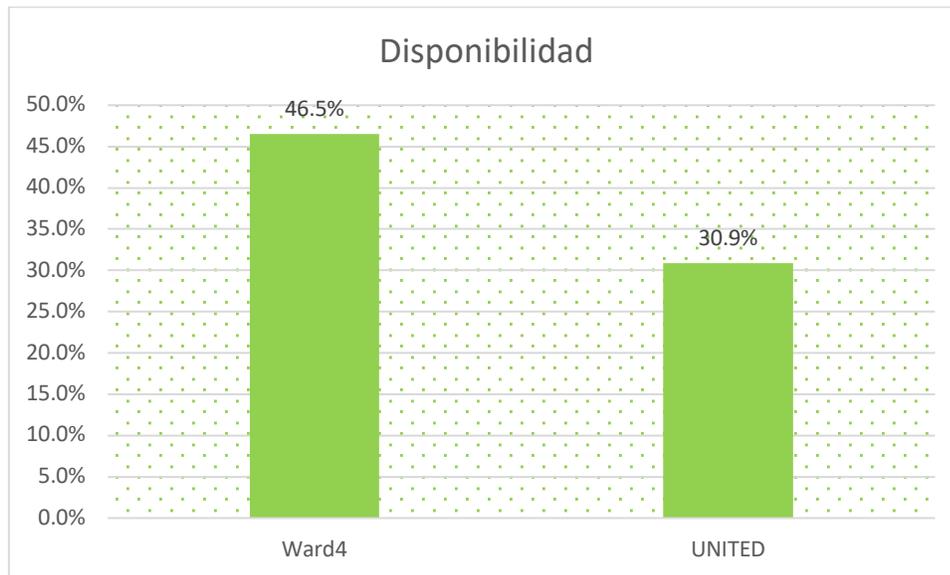
Descripción Causa	Horas paro	Suma de tiempo abierto (Hora)	% de paro
Ajuste operativo	54.70	517.4833333	10.60%
Cambio de op	68.18		13.20%
Comida	68.35		13.20%
Falla en sistema	2.24		0.40%
Falta de material	2.00		0.40%
Falta de personal	0.67		0.10%
Final de turno	21.17		4.10%
Mantenimiento correctivo eléctrico	4.85		0.90%
Mantenimiento correctivo mecánico	10.03		1.90%
Material defectuoso del corrugador	14.02		2.70%
Preprensa-sellos	7.63		1.50%
Preprensa-troquel	11.38		2.20%
Tinta	8.99		1.70%
Energía Eléctrica	0.45		0.10%
Falta de op por falla en el corrugador	0.08		0.00%
Falta de op	1.29		0.20%
Sellos externos	0.62		0.10%
Total	276.65		517.48

Tabla 5: Análisis de paros de máquina del 1 de enero al 28 de enero de la máquina UNITED

Descripción Causa	Horas paro	Suma de tiempo abierto (Hora)	% de paro	
Ajuste operativo	77.45	500.72	15.47%	
Cambio de op	62.48		12.48%	
Comida	74.32		14.84%	
Falla en sistema	8.09		1.62%	
Falta de material	3.70		0.74%	
Final de turno	25.65		5.12%	
Mantenimiento correctivo eléctrico	3.30		0.66%	
Mantenimiento correctivo mecánico	7.59		1.52%	
Material defectuoso del corrugador	13.55		2.71%	
Preprensa-sellos	8.63		1.72%	
Preprensa-troquel	16.59		3.31%	
Tinta	16.11		3.22%	
Energía eléctrica	0.43		0.09%	
Falta de op por falla en el corrugador	6.02		1.20%	
Mantenimiento programado	5.32		1.06%	
Falta de op	14.83		2.96%	
Paro por cambio de fleje	0.09		0.02%	
Sellos externos	2.05		0.41%	
Total	346.21		500.72	69.14%

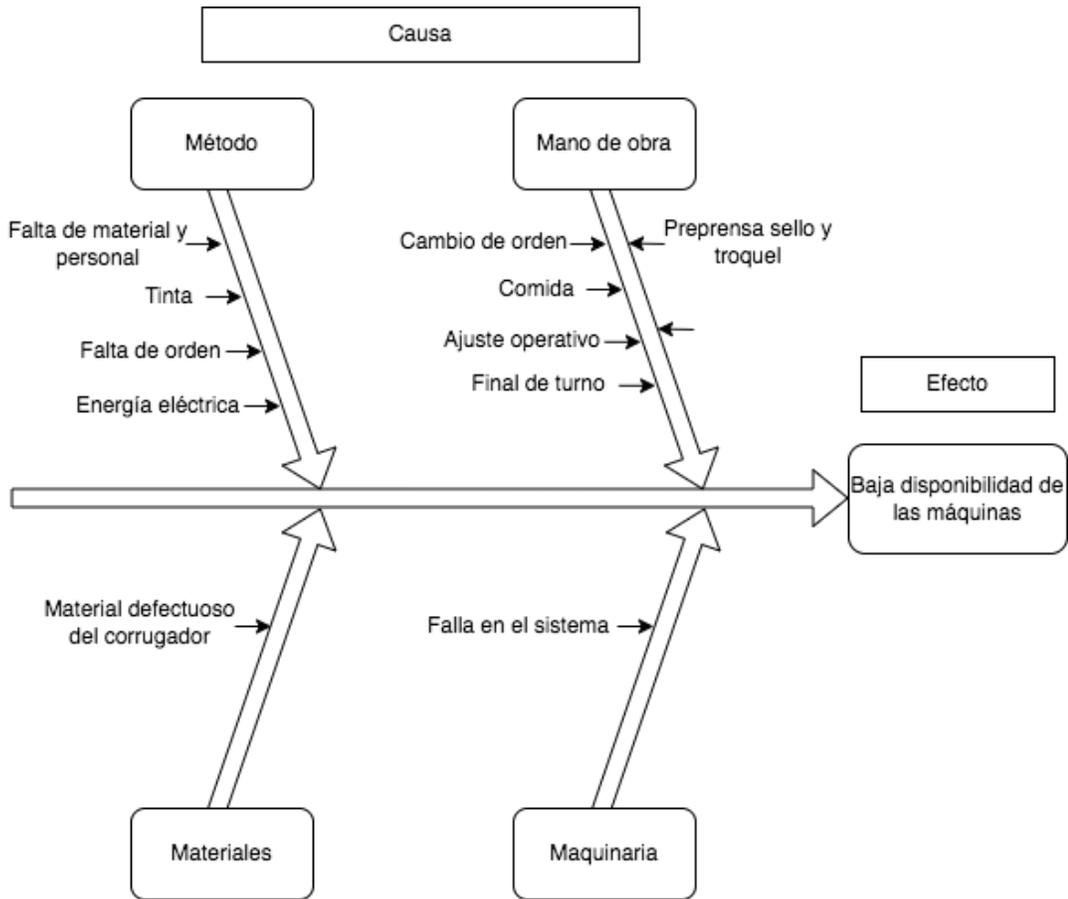
Se pueden observar los paros que influyen en la disponibilidad de cada máquina durante los turnos de producción que se realizan en la empresa. Por lo que el porcentaje de paros de la Ward4 es de 53.50% para una disponibilidad de 46.50% y el porcentaje de paros de la UNITED es de 69.14% para una disponibilidad de 30.86%. Por lo tanto, se puede observar que los porcentajes de paros son muy altos en las dos máquinas, ya que las horas paro son más del 50% del total de las horas trabajadas.

Gráfica 1: Disponibilidad de las máquinas



El diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de espina de pescado o diagrama de causa y efecto, es una herramienta visual utilizada para identificar y analizar las posibles causas de un problema específico. A continuación, se presenta el diagrama ishikawa del efecto de la baja disponibilidad de las máquinas:

Imagen 7: Diagrama Ishikawa del efecto de la baja disponibilidad de las máquinas

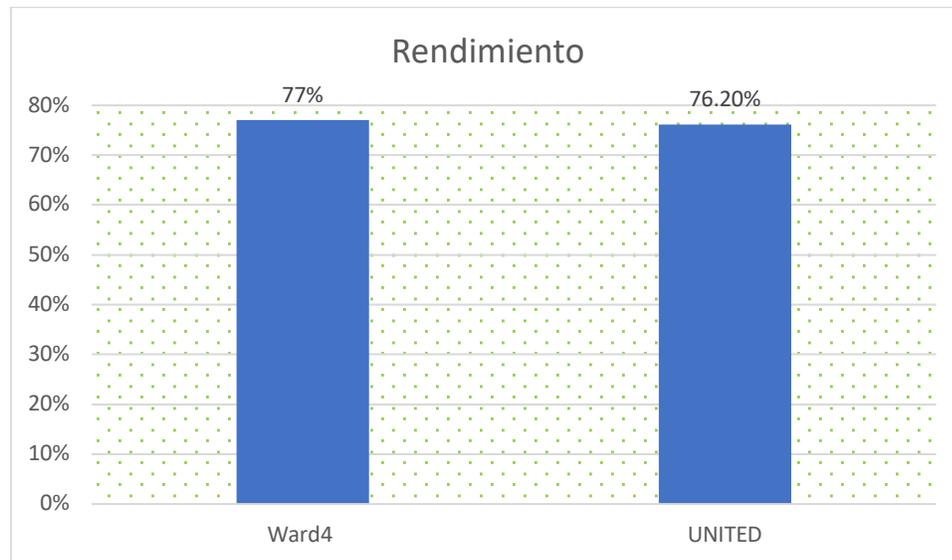


El diagrama Ishikawa nos permite tener visibilidad del efecto (problema), de las categorías principales de las causas y las diferentes causas que están provocando el problema. Por lo tanto, analizando el diagrama se pueden identificar las posibles acciones correctivas como establecer programas de capacitación para el personal, mantenimientos programados y mejorar la gestión de los procesos con un enfoque en la producción.

C. Rendimiento

El rendimiento se obtiene de la división entre la capacidad productiva y la producción real, ese indicador sirve para ver que tan productiva es la línea de producción y para saber si se pueden cumplir las metas. Por lo que la capacidad productiva es la capacidad teórica que tienen las máquinas para producir en un intervalo de tiempo. A continuación, se muestra el rendimiento de las máquinas Ward4 y United, analizados con datos del 1 de enero al 28 de enero del 2023:

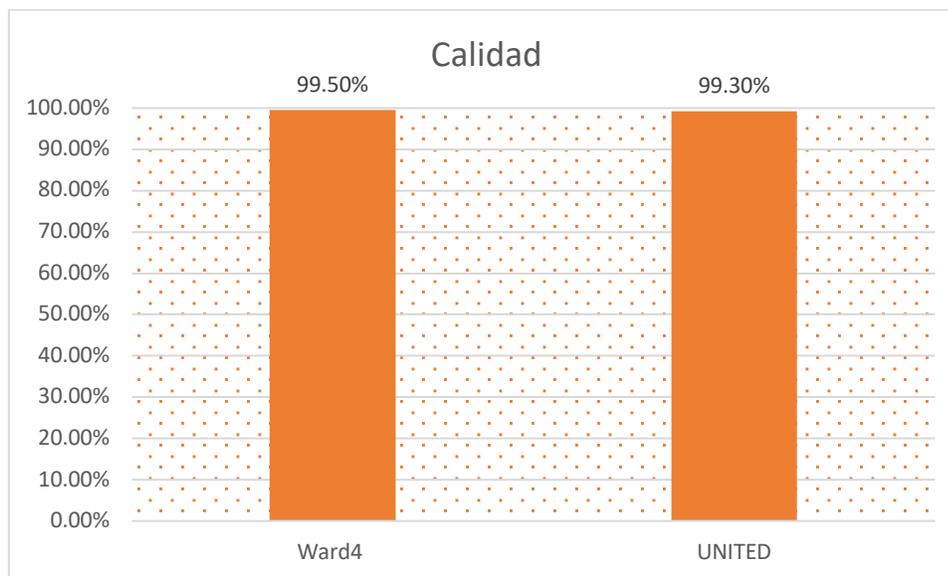
Gráfica 2: Rendimiento de las máquinas



D. Calidad

La calidad es la relación entre el total de producto terminado y el producto terminado apropiado para su uso, es decir, el total de unidades que salen dividido las unidades buenas que salen de las máquinas, en ese se mide que tantas unidades salen defectuosas. A continuación se presenta la calidad de las máquinas Ward4 y UNITED con datos analizados desde el 1 de enero hasta el 28 de enero de 2023:

Gráfica 3: Calidad de las máquinas



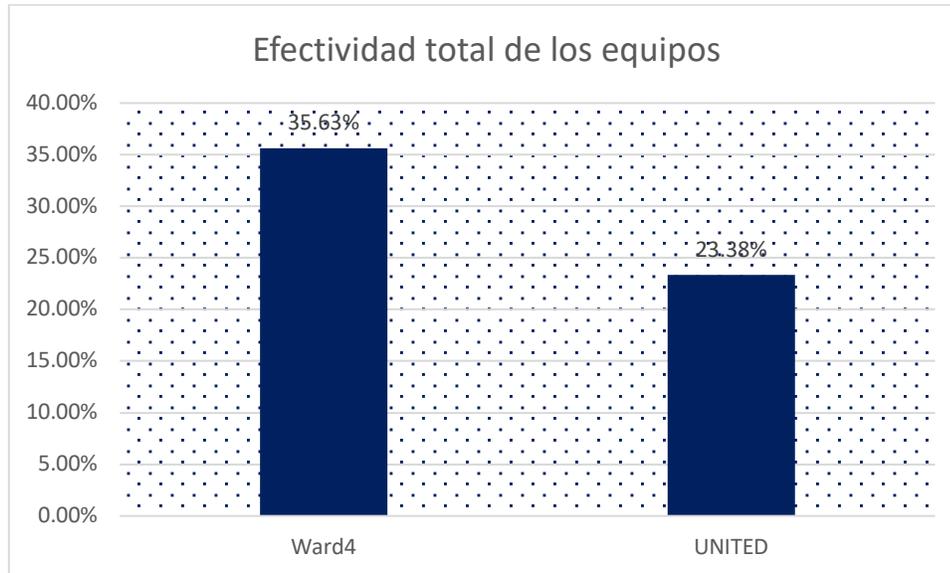
E. Eficiencia Total de los Equipos (ETE)

La eficiencia total de los equipos sirve para medir la productividad de la línea de producción a analizar, por lo que ya obtenidos los indicadores de disponibilidad, rendimiento y calidad se puede obtener el ETE multiplicando estos indicadores y obtenemos los siguiente resultados:

Tabla 6: ETE de las máquinas Ward4 y UNITED

	Ward4	UNITED
Disponibilidad	46.50%	30.90%
Rendimiento	77.00%	76.20%
Calidad	99.50%	99.30%
ETE	35.63%	23.38%

Gráfica 4: ETE de las máquinas Ward4 y UNITED



Se puede concluir que la eficiencia de la troqueladora Ward4 es del 35.63%, mientras que la eficiencia de la troqueladora UNITED es del 23.38%. Es evidente que las eficiencias no son tan elevadas, lo cual se atribuye a la baja disponibilidad en ambas máquinas troqueladoras. Otro factor determinante que influyó en esta eficiencia fue el rendimiento, ya que la velocidad de las máquinas disminuye y se presentan pequeñas interrupciones en su operación. Por lo tanto, existe un factor de mejora que se puede analizar y proponer.

VIII. Diagrama de Operaciones de Procesos de las líneas de producción de cajas troqueladas

Se llevaron a cabo Diagramas de Operaciones de Procesos (DOP) detallados para analizar minuciosamente las líneas de producción de cajas troqueladas. Este enfoque permitió una evaluación exhaustiva de los tiempos involucrados en cada etapa del proceso. Por lo tanto, se tomaron los tiempos de producir un metro cuadrado de cartón corrugado.

Imagen 8: DOP de troqueladora UNITED

Diagrama de operaciones de proceso: proceso de elaboración de cajas troqueladas (máquina 1: UNITED)
 Método actual
 Fecha de elaboración: 7 de febrero de 2023
 Elaborado por: José Felipe Orellana Gutiérrez
 Desde que ingresa la materia prima hasta que se almacenan las cajas troqueladas

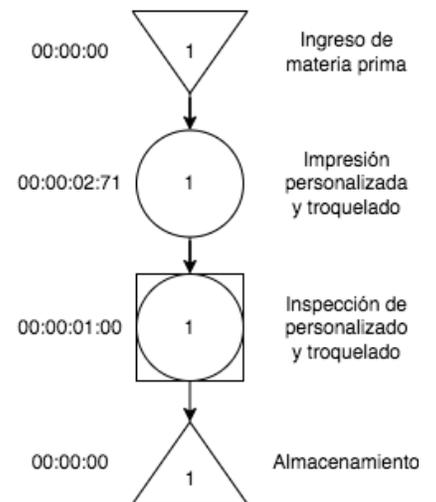


Tabla 7: Resumen del DOP de troqueladora UNITED

Actividad	Cantidad	Tiempo total
Entrada	1	0
Operación	1	2.71 segundos
Operación e inspección	1	1 segundo
Salida	1	0

Imagen 9: DOP de troqueladora Ward4

Diagrama de operaciones de proceso: proceso de elaboración de cajas troqueladas (máquina 2: Ward4)
 Método actual
 Fecha de elaboración: 7 de febrero de 2023
 Elaborado por: José Felipe Orellana Gutiérrez
 Desde que ingresa la materia prima hasta que se almacenan las cajas troqueladas

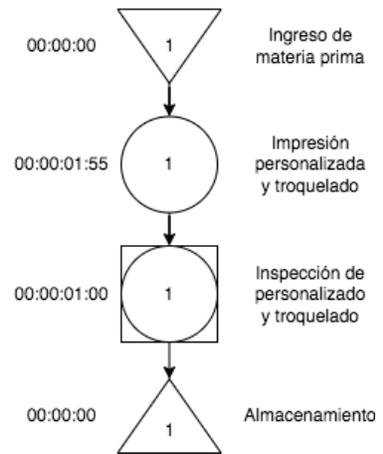


Tabla 8: Resumen del DOP de troqueladora Ward4

Actividad	Cantidad	Tiempo total
Entrada	1	0
Operación	1	1.55 segundos
Operación e inspección	1	1 segundo
Salida	1	0

Se puede observar que dadas las pocas operaciones dentro de las líneas de producción de cajas troqueladas, se necesita analizar más detalladamente los procesos para tomar una decisión efectiva.

IX. Resultados y análisis de datos históricos de demanda y producción real

A. Análisis estadístico de distribución normal en la demanda diaria

Se realizó una prueba estadística de normalidad sobre la demanda diaria para asegurar con respaldo estadístico cuánto es la demanda diaria de la empresa. A continuación, se presenta la tabla de clases de la demanda diaria.

Tabla 9: Clases del histograma de demanda diaria de m^2 de cartón corrugado en cajas troqueladas

Inferior	Superior	Marca de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada
16,689.58	71,554.81	44,122.20	1	1
71,555.81	126,421.05	98,988.43	9	10
126,422.05	181,287.29	153,854.67	21	31
181,288.28	236,153.53	208,720.91	18	49
236,154.52	291,019.76	263,587.15	12	61
291,020.76	345,886.00	318,453.38	7	68
345,887.00	400,752.24	373,319.62	5	73
400,753.24	455,618.48	428,185.86	1	74

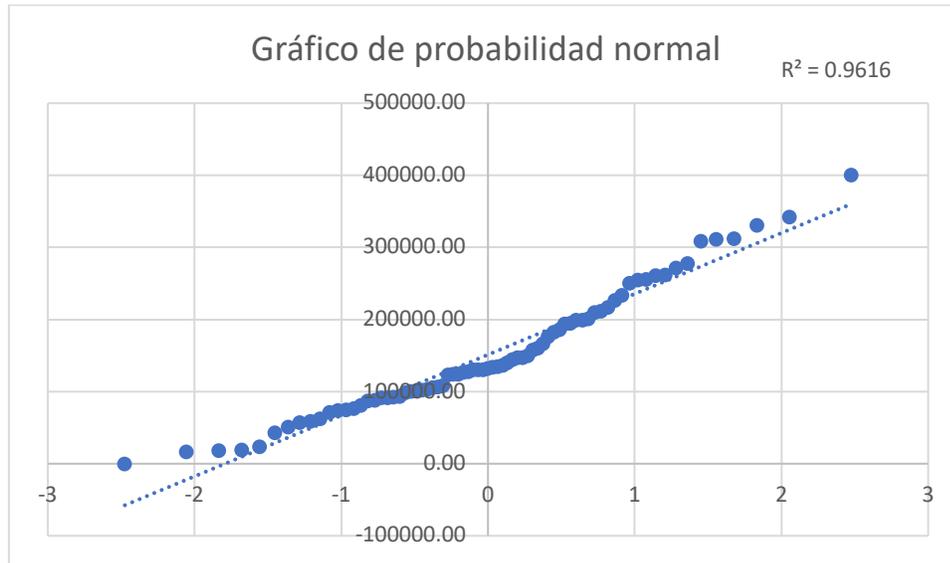
En la tabla de clases de la demanda diaria, la clase con mayor frecuencia es $153,854.67 m^2$ de cartón corrugado en cajas troqueladas de demanda diaria. La muestra tomada fue de 74 datos, sin tomar en cuenta domingos ni días festivos, donde no ingresa demanda al área de ventas. A continuación se presentan las estadísticas descriptivas:

Tabla 10: Estadísticas descriptivas de demanda diaria de m^2 de cartón corrugado en cajas troqueladas

Demanda	
Media	128,891.47
Error típico	10,217.90
Mediana	124,247.65
Moda	0
Desviación estándar	95,852.44
Varianza de la muestra	9,187,690,121
Curtosis	-0.20
Coefficiente de asimetría	0.54
Rango	400,746.24
Mínimo	0
Máximo	400,746.24
Suma	11,342,449.75
Cuenta	88

Se puede apreciar una media de 128,891.47 m^2 . También se puede observar que la curtosis (-0.20) y el coeficiente de asimetría (0.53) son cercanos a cero, siendo ambos menores a 0.65, por lo que parece que los datos tienen una distribución normal alrededor de la media. A continuación, se presenta el gráfico de la distribución normal:

Gráfica 5: Probabilidad normal de la demanda diaria de m^2 de cartón corrugado en cajas troqueladas



Se puede apreciar que los datos tienen una distribución normal alrededor de la media, siendo el coeficiente de determinación 0.9616, lo que indica que la línea de tendencia es muy cercana a los datos analizados. Por lo que se procede a realizar una prueba estadística Z:

Datos:

$$\text{Población} = 88$$

$$\text{Media} = 128,891.47 \text{ m}^2$$

$$\text{Desviación estándar} = 95852.44 \text{ m}^2$$

$$\text{Significancia} = 0.95$$

$$\alpha = 0.05$$

Prueba estadística Z:

$$u_0 = 110,000 \text{ m}^2$$

$$\text{Hipótesis nula: } u = u_0$$

$$\text{Hipótesis alternativa: } u \neq u_0$$

$$\alpha = 0.05$$

$$z_0 = 1.848$$

$$z_\alpha = 1.644$$

$$z_0 > z_\alpha = \textit{Se rechaza}$$

Dado que $z_0 > z_\alpha$, se rechaza la hipótesis alternativa, por lo que se puede asumir que la media es igual a 110,000 metros cuadrados de demanda diaria con 95% de significancia de la población, con un 5% de error.

B. Análisis estadístico de distribución normal en la producción real diaria

Se realizó una prueba estadística de normalidad sobre la producción real diaria para asegurar con respaldo estadístico cuánto es la producción diaria de la empresa. A continuación, se presenta la tabla de clases de la producción real diaria:

Tabla 11: Clases histograma de producción real diaria de m^2 de cartón corrugado en cajas troqueladas

Inferior	Superior	Marca de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada
13,582.63	33,024.63	23,303.63	8	8
33,025.63	52,467.63	42,746.63	9	17
52,468.63	71,910.63	62,189.63	21	38
71,911.63	91,353.63	81,632.63	25	63
91,354.63	110,796.63	101,075.63	16	79
110,797.63	130,239.63	120,518.63	5	84
130,240.63	149,682.63	139,961.63	4	88

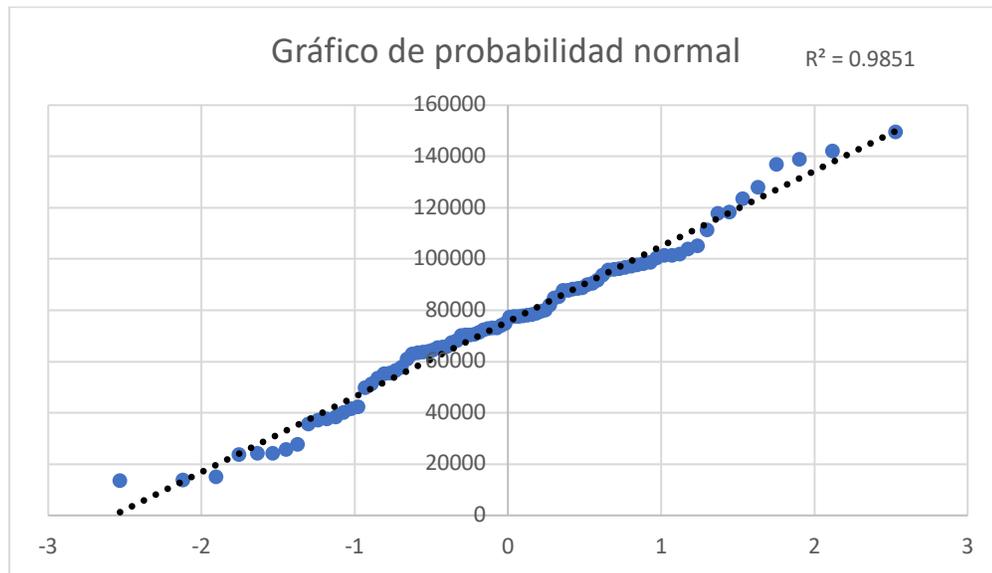
Se analizaron 88 datos y se observa que la clase con mayor frecuencia es 81,632.63 m^2 de cartón corrugado en cajas troqueladas de producción diaria. A continuación se presentan las estadísticas descriptivas:

Tabla 12: Estadísticas descriptivas de producción real diaria de m^2 de cartón corrugado en cajas troqueladas

<i>Producción real</i>	
Media	75,602.25
Error típico	3,149.04
Mediana	76,092.98
Moda	#N/D
Desviación estándar	29,540.64
Varianza de la muestra	872,649,163.80
Curtosis	0.06
Coefficiente de asimetría	0.04
Rango	136,088.78
Mínimo	13,582.63
Máximo	149,671.41
Suma	6,652,998.27
Cuenta	88

Se puede apreciar una media de 75,602.25 También se puede observar que la curtosis (0.06) y el coeficiente de asimetría (0.04) son cercanos a cero, siendo ambos menores a 0.65, por lo que parece que los datos tienen una distribución normal alrededor de la media. A continuación se presenta el gráfico de la distribución normal:

Gráfica 6: Probabilidad normal de la producción real diaria de m^2 de cartón corrugado en cajas troqueladas



Se puede apreciar que los datos tienen una distribución normal alrededor de la media, siendo el coeficiente de determinación 0.98, lo que indica que la línea de tendencia es muy cercana a los datos analizados. Por lo que se procede a realizar una prueba estadística Z:

Datos:

$$\text{Población} = 88$$

$$\text{Media} = 75,602.25 \text{ m}^2$$

$$\text{Desviación estándar} = 29,540.64 \text{ m}^2$$

$$\text{Significancia} = 0.95$$

$$\alpha = 0.05$$

Prueba estadística Z:

$$u_0 = 70,000 \text{ m}^2$$

$$\text{Hipótesis nula: } u = u_0$$

$$\text{Hipótesis alternativa: } u \neq u_0$$

$$\alpha = 0.05$$

$$z_0 = 1.779$$

$$z_\alpha = 1.644$$

$$z_0 > z_\alpha = \textit{Se rechaza}$$

Dado que $z_0 > z_\alpha$, se rechaza la hipótesis alternativa, por lo que se puede asumir que la media es igual a 70,000 metros cuadrados de producción real diaria con 95% de significancia de la población, con un 5% de error.

C. Análisis estadístico de comparación de medias (demanda vs producción real)

Se realizó una prueba estadística de comparación de medias entre la demanda diaria y la producción real diaria para asegurar con respaldo estadístico cuánto es la diferencia entre medias. A continuación se presenta la prueba estadística z de comparación de medias:

Datos:

Demanda diaria

$$\text{Población} = 88$$

$$\text{Media} = 128,891.47 \text{ m}^2$$

$$\text{Desviación estándar} = 95852.44 \text{ m}^2$$

Producción real diaria

$$\text{Población} = 88$$

$$\text{Media} = 75,602.25 \text{ m}^2$$

$$\text{Desviación estándar} = 29,540.64 \text{ m}^2$$

$$\text{Significancia} = 0.95$$

$$\alpha = 0.05$$

Prueba estadística Z:

$$u_d - u_p = 35,000 \text{ m}^2$$

$$\text{Hipótesis nula: } u_d - u_p = 35,000 \text{ m}^2$$

Hipótesis alternativa: $u_d - u_p \neq 35,000 m^2$

$$\alpha = 0.05$$

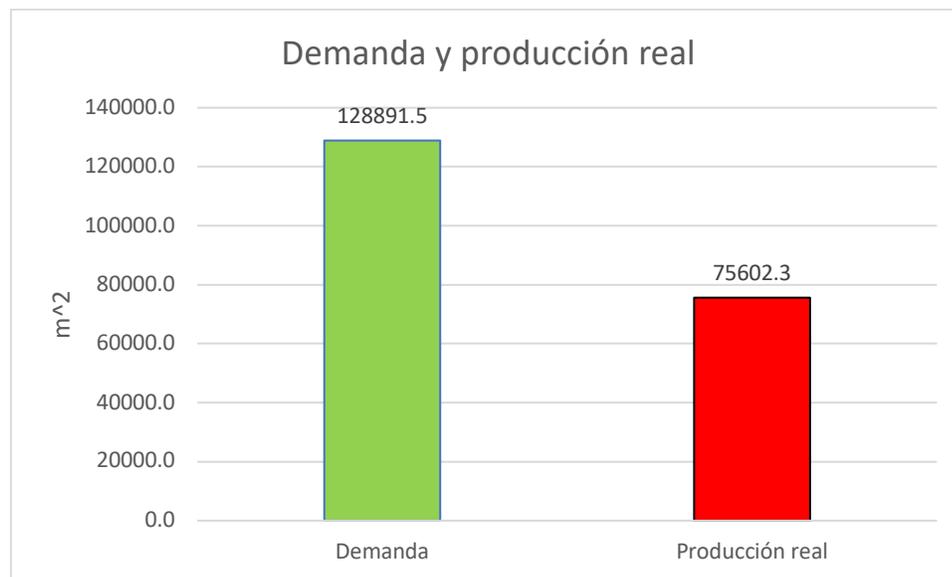
$$z_0 = 1.710$$

$$z_\alpha = 1.644$$

$$z_0 > z_\alpha = \text{Se rechaza}$$

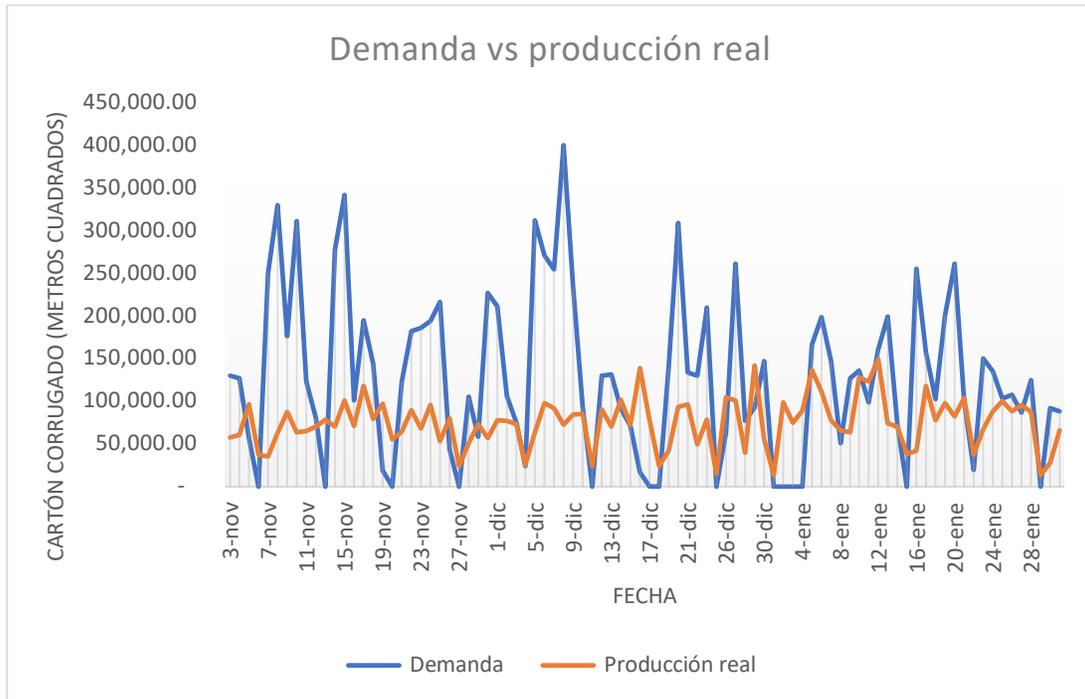
Dado que $z_0 > z_\alpha$, se rechaza la hipótesis alternativa, por lo que se puede asumir que la diferencia de la media de demanda diaria y producción real diaria es $35,000 m^2$ con 95% de significancia de la población, con un 5% de error. Por lo tanto, se puede concluir que la demanda diaria es mayor que la producción real diaria. A continuación se presenta una serie de gráficos sobre la comparación de medias.

Gráfica 7: Demanda y producción diaria total de m^2 de cartón corrugado en cajas troqueladas



En el gráfico se puede demostrar que las medias son diferentes, ya que la diferencia entre la demanda y producción diaria es de $53,289.20m^2$, por lo que es necesario equilibrar la producción real diaria con la demanda diaria.

Gráfica 8: Demanda vs producción real por día de m^2 de cartón corrugado en cajas troqueladas



En el gráfico anterior se puede observar las tendencias de la demanda diaria y producción diaria, por lo que se puede concluir que la demanda tiene picos altos y está por arriba de la producción real.

X. Evaluación de posibles soluciones

A. Mejora del proceso disminuyendo las causas que provocan que la disponibilidad de uso de las máquinas sea tan bajo

La mejora de eficiencia de una línea de producción es un principio muy importante en la industria, ya que ayuda a reducir costos, aumenta el rendimiento y mantiene la calidad, por lo que para la planta de producción de cartón corrugado se analizó la mejora de eficiencia en disponibilidad, como se puede observar en la Tabla No. 6, es el porcentaje más bajo y es la única que se puede modificar para obtener una efectividad total de los equipos más alta. Por lo tanto, la producción tendría que aumentar 70.5% ($53,289.20m^2$) sobre la producción actual de las máquinas para equilibrar los metros cuadrados producidos con la demanda diaria. Este dato representa el 41.34% de la demanda diaria y el 70.49% de la producción diaria. A continuación se presenta el análisis de mejora de la disponibilidad, es decir, las actividades de paro que son necesario y las que no son necesario y se pueden evitar para mejorar la efectividad total de los equipos:

Tabla 13: Mejora de eficiencia en la disponibilidad de la troqueladora Ward4

Descripción Causa	Horas paro	Suma de tiempo abierto (Hora)	% de paro	Estado
Ajuste operativo	54.70	517.48	10.60%	No necesario
Cambio de op	68.18		13.20%	Necesario
Comida	68.35		13.20%	Necesario
Falla en sistema	2.24		0.40%	No necesario
Falta de material	2.00		0.40%	No necesario
Falta de personal	0.67		0.10%	No necesario
Final de turno	21.17		4.10%	Necesario
Mantenimiento correctivo eléctrico	4.85		0.90%	No necesario
Mantenimiento correctivo mecánico	10.03		1.90%	No necesario
Material defectuoso del corrugador	14.02		2.70%	No necesario
Preprensa-sellos	7.63		1.50%	No necesario
Preprensa-troquel	11.38		2.20%	No necesario
Tinta	8.99		1.70%	No necesario
Energía eléctrica	0.45		0.10%	No necesario
Falta de op por falla en el corrugador	0.08		0.00%	No necesario
Falta de op	1.29		0.20%	No necesario
Sellos externos	0.62		0.10%	No necesario
Total	276.65	517.48	53.5%	30.50%

Tabla 14: Mejora de eficiencia en la disponibilidad de la troqueladora UNITED

Descripción Causa	Horas paro	Suma de tiempo abierto (Hora)	% de paro	Estado
Ajuste operativo	77.45	500.72	15.47%	No necesario
Cambio de op	62.48		12.48%	Necesario
Comida	74.32		14.84%	Necesario
Falla en sistema	8.09		1.62%	No necesario
Falta de material	3.70		0.74%	No necesario
Final de turno	25.65		5.12%	Necesario
Mantenimiento correctivo eléctrico	3.30		0.66%	No necesario
Mantenimiento correctivo mecánico	7.59		1.52%	No necesario
Material defectuoso del corrugador	13.55		2.71%	No necesario
Preprensa-sellos	8.63		1.72%	No necesario
Preprensa-troquel	16.59		3.31%	No necesario
Tinta	16.11		3.22%	No Necesario
Energía eléctrica	0.43		0.09%	No necesario
Falta de op por falla en el corrugador	6.02		1.20%	No necesario
Mantenimiento programado	5.32		1.06%	Necesario
Falta de op	14.83		2.96%	No necesario
Paro por cambio de fleje	0.09		0.02%	No necesario
Sellos externos	2.05	0.41%	No necesario	
Total	346.21	500.72	69.14%	33.51%

Se analizó las actividad de paros durante los turnos y se pudo observar que hay actividades que no son necesarias y son viables de eliminarlas como lo son la falta de materiales, las fallas, la falta de orden, entre otras, por lo que solamente se dejaron las actividades que si son necesarias para la producción como el ajuste operativo, cambio de orden, comida, tinta, mantenimientos y el final de turno. Dado los nuevos porcentajes de disponibilidad se realizó nuevamente la efectividad total de los equipos:

Tabla 15: Mejora de la efectividad total de los equipos

	Ward4	UNITED
Disponibilidad	69.52%	66.49%
Rendimiento	77.00%	76.20%
Calidad	99.50%	99.30%
ETE	53.27%	50.31%

Se obtuvieron los nuevos porcentajes de la efectividad total de los equipos y se puede observar que al incrementar la disponibilidad, el ETE aumentó, lo cual representa que la producción real diaria aumentaría. A continuación el análisis final del incremento de metros cuadrados producidos al aumentar la eficiencia de cada línea de producción:

Tabla 16: Proyección de metros producidos con aumento de eficiencia de la troqueladora Ward4

	Ward4	
	ETE	Producción real diaria m ²
Real	35.62%	50,661.83
Mejora	53.27%	75,765.18

Tabla 17: Proyección de metros producidos con aumento de eficiencia de la troqueladora UNITED

	UNITED	
	ETE	Producción real diaria m ²
Real	23.38%	24,940.42
Mejora	50.1%	53,443.75

Tabla 18: Comparación demanda diaria actual vs producción diaria con la mejora de eficiencia

Demanda diaria	Producción diaria con la mejora de eficiencia
128,891.47	129,208.93

Dado que al realizar la mejora de la eficiencia de las troqueladoras producción diaria aumenta a 129,208.93 m² y el promedio de la demanda diaria es 128,891.47 m², por lo que se puede observar que la demanda diaria se cumple, pero solamente haciendo la operación perfecta se llegaría a cubrir la demanda exacta, pero quitando casi todos los paros innecesario, dejando casi cero margen de error, lo cual es casi imposible realizar esta operación en este momento, ya que si hay un paro se atrasa todo y no se llegaría a la demanda, por lo que provocaría un atraso a las entregas de los clientes nuevamente y no se solucionaría el problema raíz.

B. Comprar una máquina nueva

Comprar una máquina nueva para la línea de producción aumenta la cantidad de productos terminados diarios de una empresa, en la planta de producción de cartón corrugado ya existen 2 máquinas troqueladoras, que realizan, en promedio, 75,602.25 m² diarios. Por lo tanto, la compra de una máquina troqueladora nivelaria las cantidad necesaria para cubrir la demanda, A continuación se presentan los datos de una máquina nueva:

Tabla 19: Datos de una máquina nueva

Criterio	
Precio	\$1,200,000.00
Tiempo de entrega	2 años
Pronóstico de producción	81,644 m ²

Tabla 20: Comparación demanda diaria y producción diaria comprando una máquina nueva

Demanda diaria	Producción diaria comprando una máquina nueva
128,891.47 m ²	161,386 m ²

Analizando las tablas, los criterios de costo y tiempo de entrega son limitantes para la toma de decisión. También se puede observar que el pronóstico de producción es de $81,644m^2$, lo que representa un aumento de 108% sobre la producción actual.

C. Comprar una máquina usada

Comprar una máquina usada para la línea de producción aumenta la cantidad de productos terminados diarios de una empresa, en la planta de producción de cartón corrugado ya existen 2 máquinas troqueladoras, que realizan, en promedio, $75,602.25 m^2$ diarios, por lo que la compra de una máquina troqueladora nivelaria las cantidad necesaria para cubrir la demanda. A continuación, se presentan los datos de una máquina usada.

Tabla 21: Datos de una máquina usada

Criterio	
Precio	\$495,000
Tiempo de entrega	1.5 meses
Pronóstico de producción según simulación	$36,960 m^2$

Tabla 22: Comparación demanda diaria y producción diaria comprando una máquina usada

Demanda diaria	Producción diaria comprando una máquina usada
$128,891.47 m^2$	$116,702 m^2$

Analizando las tablas, los criterios de costo y tiempo de entrega son importantes para la toma de decisión. También se puede observar que el pronóstico de producción es de $36,960m^2$, lo que representa un aumento de 48.89% sobre la producción actual.

D. Comparación de presupuestos

La comparación de presupuestos es un factor importante en cualquier decisión. A continuación, se presenta una tabla de comparación de presupuestos de las tres posibles soluciones:

Tabla 23: Comparación de presupuestos

Posible solución	Presupuesto
Mejora de eficiencia de la línea de producción	“No definido”
Comprar una máquina nueva	\$1,200,000
Comprar una máquina usada	\$495,000

El criterio de precio es muy importante, ya que a medida que el costo de la máquina aumenta, tiene un impacto más significativo en el presupuesto de inversión anual de la empresa.

E. Ponderación de criterios de la compra de una máquina usada y una máquina nueva

La ponderación de criterios de la compra de una máquina usada y una máquina nueva se presenta como un análisis detallado y estructurado que busca evaluar de manera objetiva los diferentes aspectos relevantes en la toma de esta decisión.

Tabla 24: Ponderación de criterios de decisión

Criterios	Peso
Precio	20%
Tiempo de entrega	60%
Pronóstico de producción según simulación	20%

Al analizar la tabla, se destaca que los criterios de precio representa el 20% de peso sobre la decisión al igual que el pronóstico de producción. Sin embargo, es crucial enfocarse en el tiempo de entrega. Por lo tanto, resolver el problema lo más pronto posible es una prioridad en la empresa, ya que si no se resuelve el problema, la empresa podría perder clientes. Por este motivo, el tiempo de entrega adquiere un peso significativo del 60% en la decisión final para seleccionar la mejor solución.

Tabla 25: Evaluación de criterios

Criterio	Peso	
	Máquina nueva	Máquina usada
Precio	0%	20%
Tiempo de entrega	0%	60%
Pronóstico de producción según simulación	20%	0%
Total	20%	80%

Analizando la matriz de ponderación, se puede observar que la máquina usada ha destacado al obtener un 80% de ponderación. Este resultado resalta la superioridad de la máquina usada en relación con los criterios evaluados.

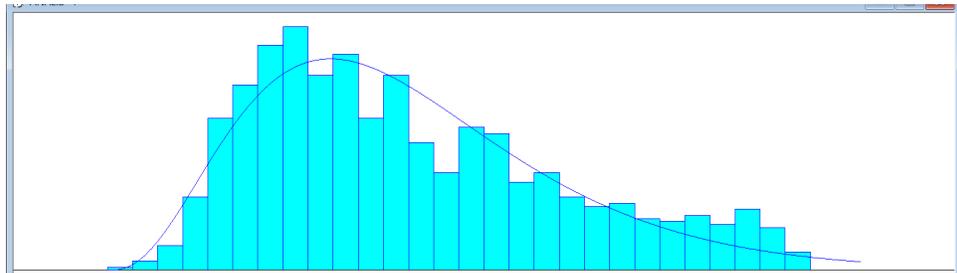
XI. Análisis de simulación en SIMIO

La simulación en el software SIMIO permite representar procesos y sistemas complejos mediante bloques que se interconectan. Para llevar a cabo la simulación es necesario saber la distribución de los datos para ingresarlos en el sistema, por lo que se utilizó Input Analyzer para ese análisis. A continuación, se presenta el análisis de la simulación de todas las máquinas:

A. Análisis de datos para simulación

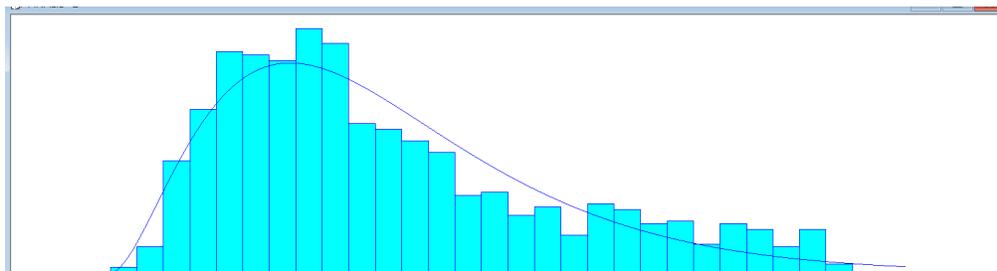
Para representar las 2 máquinas troqueladoras actuales (UNITED y Ward4), se analizaron los datos de producción del 1 de enero al 28 de enero del presente año. A continuación, se presentan las distribuciones de los datos analizados de cada una de las máquinas:

Gráfica 9: Distribución de la troqueladora Ward4



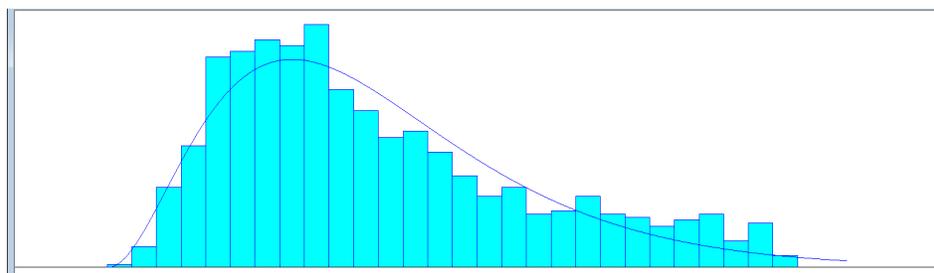
Se puede observar que la troqueladora Ward4 tiene una distribución Gamma con parámetros de 0.41 y 3.77.

Gráfica 10: Distribución de la troqueladora UNITED



Se puede observar que la troqueladora UNITED tiene una distribución Gamma con parámetros de 0.956 y 2.83.

Gráfica 11: Distribución de la máquina usada



Se puede observar que la troqueladora usada tiene una distribución Gamma con parámetros de 0.679 y 3.14.

La máquina nueva realiza 200 metros cuadrados por minuto (ver Imagen 12). Para la simulación se obtuvo que la máquina realiza 61.86 metros cuadrados por minuto con la disponibilidad y calidad actual de la empresa.

B. Resultados de la simulación

A continuación se presentan los resultados de la simulación de un día de trabajo con los parámetros actuales de eficiencia de cada una de las máquinas:

Imagen 10: Resultados de simulación máquina Ward4, máquina UNITED y máquina usada

Sink	Almacentroqueladora5	[DestroyedEntities]	FlowTime	TimeInSystem	Average (Hou...	3.2540
					Maximum (Hou...	6.6007
					Minimum (Hours)	0.0013
					Observations	36,960.0000
	InputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	36,960.0000	
			NumberExited	Total	36,960.0000	
	AlmacenUNITED	[DestroyedEntities]	FlowTime	TimeInSystem	Average (Hou...	4.9664
					Maximum (Hou...	9.8573
					Minimum (Hours)	0.0019
					Observations	29,144.0000
	InputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	29,144.0000	
			NumberExited	Total	29,144.0000	
AlmacenWard4	[DestroyedEntities]	FlowTime	TimeInSystem	Average (Hou...	0.5369	
				Maximum (Hou...	0.9317	
				Minimum (Hours)	0.0015	
				Observations	50,598.0000	
InputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	50,598.0000		
		NumberExited	Total	50,598.0000		

Imagen 11: Resultados de simulación de máquina nueva

Almacentroqueladoranueva	[DestroyedEntities]	FlowTime	TimeInSystem	Average (Hou...	0.7954
				Maximum (Hou...	1.5891
				Minimum (Hours)	0.0016
				Observations	81,644.0000
	InputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	81,644.0000
			NumberExited	Total	81,644.0000

Tabla 26: Resumen de producción de máquina usada vs máquina nueva

Máquina	Producción
Ward4	50,598 m ²
UNITED	29,144 m ²
Troqueladora usada	36,969 m ²
Troqueladora nueva	81,644 m ²
Total con la troqueladora usada	116,702 m ²
Total con la troqueladora nueva	161,386 m ²

Analizando los resultados de cada una de las máquinas, se puede observar que comprando una máquina usada, la producción diaria aumenta 36,960 metros cuadrados diarios y comprando una máquina nueva, la producción aumenta 81,644 metros cuadrados con la misma eficiencia en disponibilidad actual de la empresa. Por lo tanto, el pronóstico de producción si se implementa la máquina usada sería un total de 116,702 m^2 y el total si se implementa la máquina nueva sería 161,386 m^2 . En resumen, la diferencia de producción diaria entre comprar una máquina nueva y usada es de 44,684 metros cuadrados de cartón corrugado.

XII. Selección de la mejor solución

A continuación se presenta una tabla de resumen de las características y criterios analizados de las tres alternativas:

Tabla 27: Resumen de características y criterios de las tres alternativas

Características	Alternativas		
	Mejora del proceso disminuyendo las causas que provocan que la disponibilidad de uso de las máquinas sea tan bajo	Comprar una máquina nueva	Comprar una máquina usada
Precio	“No definido”	\$1,200,000.00	\$495,000.00
Tiempo de entrega	Aprox. 2 años	2 años	1.5 meses
Pronóstico de producción	$53,607.51m^2$	$81,644m^2$	$36,969m^2$
Ponderación en evaluación de criterios	0%	20%	80%

Dado los resultados de la matriz de decisión y la simulación, se concluyó que la mejor alternativa es comprar una máquina usada con 80% de peso sobre la decisión(ver tabla 22), ya que urgía solucionar el problema y la máquina usada se tardaba aproximadamente 1.5 meses en llegar a la planta de producción de cartón corrugado y la máquina nueva se tardaba 2 años, lo cual es una diferencia significativa. Otro factor importante fue el precio de la máquina usada (\$495,000) y la máquina nueva (\$1,200,000). Sin embargo, la opción más barata era la mejora del proceso disminuyendo las causas que provocan que la disponibilidad de uso de las máquinas sea tan bajo, pero no era posible realizar esa mejora en ese momento, dado que la estructuración de la empresa no estaba preparada para un cambio radical, por ello se tardaría aproximadamente 2 años en realizar dicho cambio.

XIII. Planificación del proyecto (presupuesto y planificación de desembolsos)

A. Ficha del proyecto

La ficha de un proyecto es un documento importante para comenzar a planificar y ejecutar el proyecto, por ende, ayuda a que los objetivos y la visión estén claros para el equipo. A continuación se presenta la ficha de la compra e instalación de la troqueladora usada con las secciones correspondientes:

- General:

Tabla 28: Ficha general del proyecto

A. GENERAL			
1	Nombre del proyecto:	TROQUELADORA #5	
2	Proveedor:	****	
3	Descripción:	Troqueladora y stacker usado	
4	Utilidad:	Aumento de capacidad en línea de troquelado	
5	Localización:	Masagua, Escuintla	

- Cotización:

Tabla 29: Cotización en ficha del proyecto

B. Cotización			
1	Costo con proveedor:	\$ 495,000.00	
2	Condiciones de compra:	Revisar oferta adjunta	
3	Condiciones de pago:	# pago	%
		1	20%
		2	80%
			Condición
			Confirmación de compra
			Cancelación compra

- Presupuesto

Tabla 30: Presupuesto en ficha del proyecto

C. PRESUPUESTO		
1	Presupuesto general:	\$ 1,185,000.00
2	Detalle presupuesto:	Pestaña Presupuesto

- Desembolsos:

Tabla 31: Desembolsos en ficha del proyecto

D. DESEMBOLSOS		
1	Fechas de pago:	Cronograma
2	Información bancaria de transferencia:	En el sistema

- Cronograma

Tabla 32: Cronograma en ficha del proyecto

E. CRONOGRAMA (Pestaña Cronograma)	
1	Adjunto

- Logística

Tabla 33: Logística en ficha del proyecto

F. LOGÍSTICA		
1	Detalles de transporte y embalaje:	Terrestre - marítimo - terrestre
2	Flete marítimo:	Empresa ***
3	Forma transporte terrestre	Empresa ***
4	Forma de traslado terrestre:	Empresa ***
5	Fecha de traslado:	No aplica

- Técnico

Tabla 34: Técnico en ficha del proyecto

G. TÉCNICO		
1	Responsable trabajos obra estructural:	****
2	Listado de materiales obra estructural:	Cronograma
3	Listado trabajos obra estructural para instalación:	Cronograma
4	Listado de materiales para instalación:	Cronograma
5	Herramienta especial:	Cronograma
6	Equipo especial:	Cronograma
7	Servicios locales	Cronograma
8	Listado de técnicos extranjeros:	N/A
9	Itinerario de vuelo y pasaportes:	N/A
10	Hospedaje:	N/A
11	Transporte local:	N/A
12	Alimentación:	N/A

- Producción

Tabla 35: Producción en ficha del proyecto

H. PRODUCCIÓN		
1	Listado de repuestos	N/A
2	Listado de papeles	N/A
3	Listado de insumos	Cronograma
4	Listado de equipos	Cronograma
5	Listado de heramientas	Cronograma
6	Listado de sellos y troqueles	Cronograma

- Legal

Tabla 36: Aspecto legal en ficha del proyecto

I. LEGAL		
1	Contrato y/o carta de entendimiento con proveedor:	****
2	Contrato por gastos adicionales:	****
3	Contrato y/o carta de entendimiento con contratistas:	****

- Seguros

Tabla 37: Seguros en ficha del proyecto

G. SEGUROS		
1	# de poliza embarque:	Empresa ***
2	# de poliza transporte:	Empresa ***
3	# de poliza instalación:	Empresa ***
4	# de poliza todo riesgo:	Empresa ***

- Compras

Tabla 38: Compras en ficha del proyecto

J. COMPRAS		
1	# Orden de compra trabajos obra estructural:	Número **
2	# Orden de compra maquinaria:	Número **

- Responsabilidades

Tabla 39: Responsabilidades en ficha del proyecto

RESPONSABILIDADES		
ÁREA	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE
General	Apertura del proyecto	****
Cotización	Negociación con el proveedor	****
Presupuesto	Aprobación presupuesto	****
Presupuesto	Rubros, montos y control	****
Desembolsos	Autorización de pagos	****
Desembolsos	Ejecución de pagos	****
Cronograma	Actividades, duración y control	****
Logística	Coordinación de servicios de transporte	****
Técnico	Detalles antes y durante la instalación	****
Técnicos extranjeros	Pasajes aéreos	****
Técnicos extranjeros	Hospedaje	****
Técnicos extranjeros	Transporte terrestre	****
Técnicos extranjeros	Alimentación	****
Legal	Redacción, firma y almacenaje de contratos y/o cartas de entendimiento	****
Seguros	Coordinación de pólizas de seguros	****
Compras	Cotización, orden de compra y recepción en almacenes para compras y/o rentas	****
Planos	Diseño y control en obra	****
Almacenes	Recepción y entrega de materiales	****
Contabilidad	Control contable	****
Presupuesto	Control de gastos	****
Contabilidad	Capitalización activos fijos	****
Contabilidad	Archivo según requisitos SAT	****
Auditoría interna	Cumplimiento de presupuesto y acta de cierre de proyecto	****
Recepción	Recepción a conformidad del proyecto	****

B. Presupuesto

El presupuesto de un proyecto sirve para tener proyecciones de los costos que conlleva realizar dicha actividad, para ello se cotizó desde la compra de la máquina hasta la instalación, también se obtuvieron costos históricos de algunas actividades. Por lo que se incluyó la unidad, cantidad, precio unitario sin IVA y valor total con IVA(12%).

Tabla 40: Presupuesto

NIVEL 3	NIVEL 4	Cantidad	P. Unitario	Valor TOTAL Q con IVA
TROQUELADORA	01-TROQUELADORA #5	1.00	Q 3,885,750.00	Q 4,352,040.00
TROQUELADORA	02-Seguros de Embarque	1.00	Q 15,993.75	Q 15,993.75
TROQUELADORA	03-Flete Marítimo	1.00	Q 372,875.00	Q 372,875.00
TROQUELADORA	04-Gastos de internación	1.00	Q 48,571.88	Q 48,571.88
TROQUELADORA	05-Seguro de Instalación	1.00	Q 15,993.75	Q 15,993.75
TROQUELADORA	06-Instalación	1.00	Q 130,000.00	Q 130,000.00
TROQUELADORA	07-Colector de polvo	1.00	Q 90,000.00	Q 90,000.00
TROQUELADORA	08-Conveyors y adicionales	1.00	Q 310,000.00	Q 310,000.00
TROQUELADORA	09-Cimentación	1.00	Q 600,000.00	Q 600,000.00
TROQUELADORA	10-Pintura epóxica	1.00	Q 70,000.00	Q 70,000.00
UPGRADE	11-UPGRADE ELECTRÓNICO	1.00	Q 2,747,500.00	Q 3,077,200.00
UPGRADE	12-Seguros de Embarque	1.00	Q 11,308.71	Q 11,308.71
UPGRADE	13-Flete Marítimo	1.00	Q 6,500.00	Q 6,500.00
UPGRADE	14-Gastos de internación	1.00	Q 34,343.75	Q 34,343.75
UPGRADE	15-Seguro de Instalación	1.00	Q 11,308.71	Q 11,308.71
UPGRADE	16-Gastos técnicos extranjero	1.00	Q 10,000.00	Q 10,000.00
UPGRADE	17-Evaluación de máquina	1.00	Q 23,550.00	Q 23,550.00
UPGRADE	18-Imprevistos	1.00	Q 122,564.46	Q 122,564.46
			Total	Q 9,302,250.00

C. Cronograma

El cronograma es parte importante de la ficha de un proyecto, ya que mantiene organizado la compra, traslado e instalación de la troqueladora, por lo que generalmente se va cambiando por atrasos de transporte o de preparación del lugar de instalación. A continuación se muestra el cronograma proyectado:

Tabla 41: Cronograma del proyecto

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
TROQUELADORA 5	97 días	lun 01/23/23	mar 06/6/23	
Creación proyecto	1 día	lun 01/23/23	lun 01/23/23	
Diseño	1 sem	mar 01/24/23	lun 01/30/23	2
Cotizaciones	2 sem.	mar 01/24/23	lun 02/6/23	2
Solicitud OC	1 día	mar 01/24/23	mar 01/24/23	2
OC	1 día	mar 01/31/23	mar 01/31/23	3
PREVIOS	33 días	mar 01/24/23	jue 03/9/23	
Cimentaciones	33 días	mar 01/24/23	jue 03/9/23	
Anticipo	1 día	mar 01/24/23	mié 01/25/23	10CF-1 sem
Demolición	2 sem.	mié 02/1/23	mar 02/14/23	6
Construcción	3 sem.	mié 02/15/23	mar 03/7/23	10
Recepción	1 día	mié 03/8/23	mié 03/8/23	11
Cancelación	1 día	jue 03/9/23	jue 03/9/23	12
Postes	5 días	mié 02/1/23	mar 02/7/23	
Instalación	1 sem	mié 02/1/23	mar 02/7/23	6
Fuerza y datos	18 días	mar 01/31/23	jue 02/23/23	
Anticipo	1 día	mar 01/31/23	mié 02/1/23	18CF-1 sem
Instalación	2 sem.	mié 02/8/23	mar 02/21/23	15
Recepción	1 día	mié 02/22/23	mié 02/22/23	18
Cancelación	1 día	jue 02/23/23	jue 02/23/23	19
Agua	5 días	mié 02/8/23	mar 02/14/23	
Instalación	1 sem	mié 02/8/23	mar 02/14/23	15

Continuación de tabla 40: Cronograma del proyecto

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
Aire Comprimido	5 días	mié 02/8/23	mar 02/14/23	
Instalación	1 sem	mié 02/8/23	mar 02/14/23	15
Trabajos industriales	33 días	mar 01/24/23	jue 03/9/23	
Anticipo	1 día	mar 01/24/23	mié 01/25/23	27CF-1 sem
Fabricación	1 ms	mié 02/1/23	mar 02/28/23	6
Instalación	1 sem	mié 03/1/23	mar 03/7/23	27
Recepción	1 día	mié 03/8/23	mié 03/8/23	28
Cancelación	1 día	jue 03/9/23	jue 03/9/23	29
Mesa de trabajo	28 días	mar 01/24/23	jue 03/2/23	
Anticipo	1 día	mar 01/24/23	mié 01/25/23	33CF-1 sem
Fabricación	2 sem.	mié 02/1/23	mar 02/14/23	6
Instalación	2 sem.	mié 02/15/23	mar 02/28/23	33
Recepción	1 día	mié 03/1/23	mié 03/1/23	34
Cancelación	1 día	jue 03/2/23	jue 03/2/23	35
Herramienta especial	19 días	mar 02/7/23	lun 03/6/23	
Listado	1 día	mar 02/7/23	mié 02/8/23	39CF
Solicitud orden de compra	1 día	mié 02/8/23	jue 02/9/23	40CF
Orden de compra	1 día	jue 02/9/23	vie 02/10/23	41CF
Compra	3 sem.	vie 02/10/23	vie 03/3/23	42CF
Recepción herramienta	1 día	vie 03/3/23	lun 03/6/23	65CF-1 sem
Equipo especial	23 días	mié 02/1/23	lun 03/6/23	
Listado	1 día	mié 02/1/23	jue 02/2/23	45CF
Solicitud orden de compra	1 día	jue 02/2/23	vie 02/3/23	46CF
Orden de compra	1 día	vie 02/3/23	lun 02/6/23	47CF
Compra	3 sem.	lun 02/6/23	lun 02/27/23	48CF
Recepción equipo	1 sem	lun 02/27/23	lun 03/6/23	65CF-1 sem
INSTALACIÓN	97 días	lun 01/23/23	mar 06/6/23	

Continuación de tabla 40: Cronograma del proyecto

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
Recurso Humano	30 días	jue 02/16/23	jue 03/30/23	
Solicitud reclutamiento	1 sem	mié 02/22/23	mié 03/1/23	52CF
Reclutamiento y entrenamiento	1 ms	mié 03/1/23	mié 03/29/23	53CF
Operadores	1 día	mié 03/29/23	jue 03/30/23	72CF
Mecánicos Morales	2 sem.	jue 03/16/23	mié 03/29/23	70CC
Solicitud orden de compra	1 sem	jue 02/16/23	jue 02/23/23	56CF
Orden de compra	1 sem	jue 02/23/23	jue 03/2/23	57CF
Outsourcing	2 sem.	jue 03/2/23	jue 03/16/23	70CF
Compra	1 día	lun 01/23/23	lun 01/23/23	2CC
Anticipo 1	1 día	lun 01/23/23	lun 01/23/23	2CC
Embalaje y carga	2 sem.	mar 01/24/23	lun 02/6/23	59
Anticipo 2	1 día	mar 02/7/23	mar 02/7/23	60
Seguro embarque	1 día	mar 01/24/23	mié 01/25/23	63CF-2 sem.
Embarque	1 ms	mié 02/8/23	mar 03/7/23	61
Recepción en puerto	3 días	mié 03/8/23	vie 03/10/23	63
Pago impuestos	1 día	lun 03/13/23	lun 03/13/23	64
Recepción en planta	2 días	mar 03/14/23	mié 03/15/23	65
Planos de instalación	1 día	mié 03/15/23	jue 03/16/23	72CF-2 sem.
Insumos	1 día	mié 03/15/23	jue 03/16/23	72CF-2 sem.
Sellos y troqueles	1 ms	vie 02/17/23	vie 03/17/23	74CF-1 ms
Pintura y reparaciones varias	2 sem.	jue 03/16/23	mié 03/29/23	66
Seguro de instalación	1 día	mié 03/15/23	jue 03/16/23	72CF-2 sem.
Instalación	2 sem.	jue 03/30/23	mié 04/12/23	7;70

Continuación de tabla 40: Cronograma del proyecto

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
Flejadora automática	1 día	jue 04/13/23	jue 04/13/23	72
Arranque, pruebas y entrega	2 días	vie 04/14/23	lun 04/17/23	73
Pintura epóxica	1 sem	mar 04/18/23	lun 04/24/23	74
Seguro todo riesgo	1 día	mar 04/25/23	mar 04/25/23	75
Capitalización activo fijo	2 sem.	mié 04/26/23	mar 05/9/23	76
EVALUACIÓN DE UPGRADE ELECTRÓNICO	20 días	mié 05/10/23	mar 06/6/23	77

D. Planificación de desembolsos

La planificación de desembolsos de un proyecto es un proceso crucial dentro de la gestión de proyectos que implica la estimación, programación y control de los gastos y pagos relacionados con la ejecución del proyecto a lo largo de su ciclo de vida. Esta planificación fue esencial para garantizar que los recursos financieros estuvieran disponibles cuando se necesitaron y que el proyecto se completó dentro del presupuesto asignado. A continuación, se presenta la planificación de desembolsos:

Tabla 42: Planificación de desembolsos

Nombre de tarea	Duración	Costo
Cimentaciones/Anticipo	1 día	Q 300,000.00
Anticipo/Cancelación	1 día	Q 300,000.00
Trabajos industriales/Anticipo	1 día	Q 200,000.00
Trabajos industriales/Cancelación	1 día	Q 200,000.00
Anticipo 1	1 día	Q 785,000.00
Anticipo 2	1 día	Q3,100,750.00
Seguro embarque	1 día	Q 15,993.75
Embarque	1 ms	Q 372,875.00
Recepción en puerto	3 días	Q 48,571.88
Pago impuestos	1 día	Q 466,290.00
Seguro de instalación	1 día	Q 15,993.75
Gastos de Instalación	2 sem.	Q 130,000.00
Arranque, pruebas y entrega	2 días	Q 122,564.46
Pintura epóxica	1 sem	Q 70,000.00
EVALUACIÓN DE UPGRADE ELECTRÓNICO	20 días	Q3,174,211.16
TOTAL		Q9,302,250.00

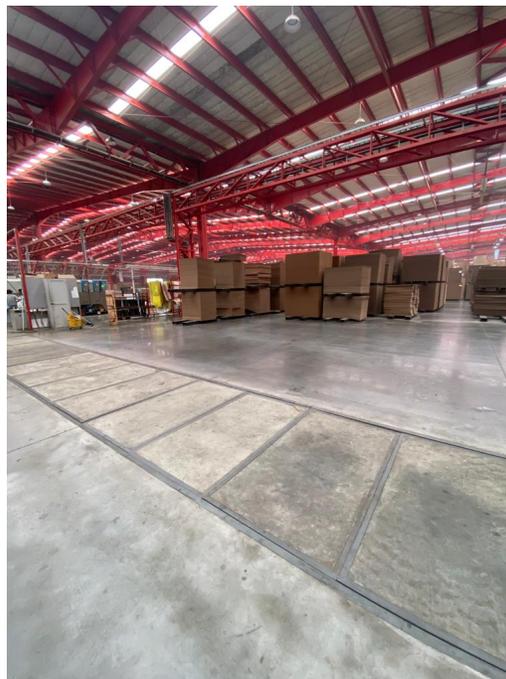
XIV. Implementación de la solución

La implementación es el punto crítico en la vida de cualquier proyecto, donde las ideas, estrategias y planes cuidadosamente diseñados se transforman en acciones tangibles y resultados reales. A continuación, se presentan los aspectos importantes sobre la instalación de la máquina y sus pruebas de funcionamiento:

A. Lugar de instalación

Para seleccionar el lugar de instalación de la máquina se tomaron varios aspectos, como el espacio disponible dentro de la planta, la descarga de los desechos y la distribución de todas las máquinas que están actualmente funcionando. El espacio requerido dentro de la planta fue $214 m^2$ para el área de trabajo que incluye los $82 m^2$ del espacio de la máquina.

Imagen 12: Lugar de instalación



En la planta hay una línea subterránea de descarga de desechos, por lo que se analizaron los planos de construcción iniciales para observar por donde pasa esa línea y así seleccionar el lugar ideal para instalar la máquina. La distribución de las máquinas está dividido en flexors y troqueladoras. Se obtuvieron dibujos realizados en AutoCAD en 2D. A continuación se presentan 2 imágenes, las cuales muestran las partes de la máquina a instalar y su proceso desde el ingreso de la materia prima hasta la recepción del producto terminado:

Imagen 13: Partes de la máquina

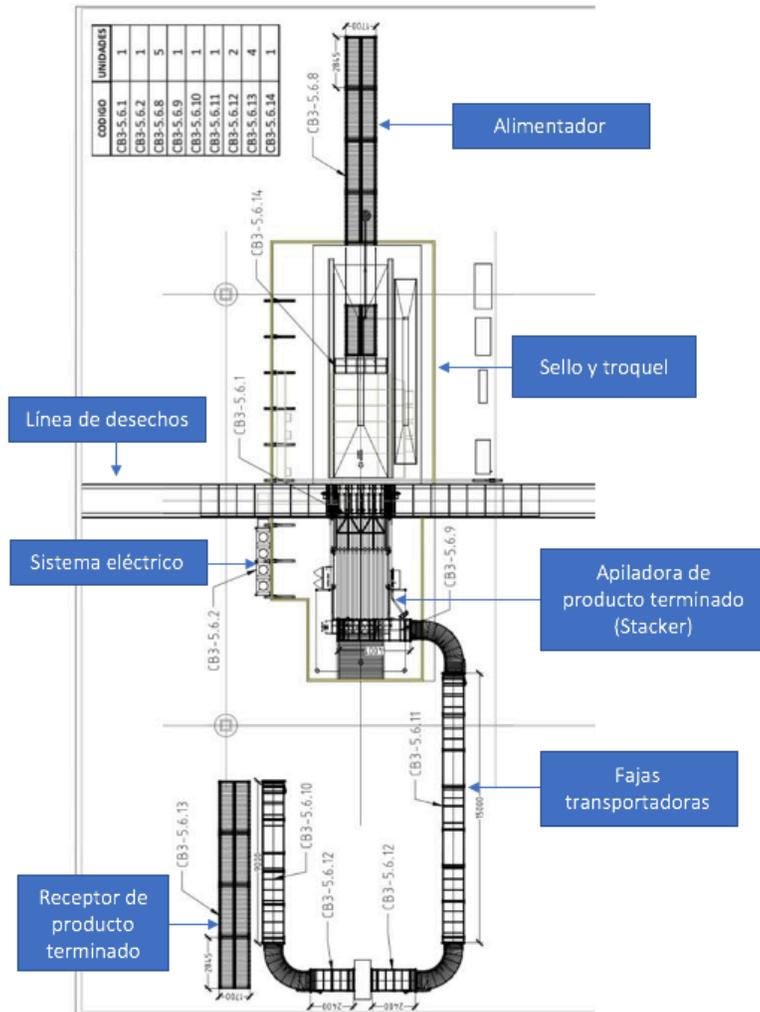
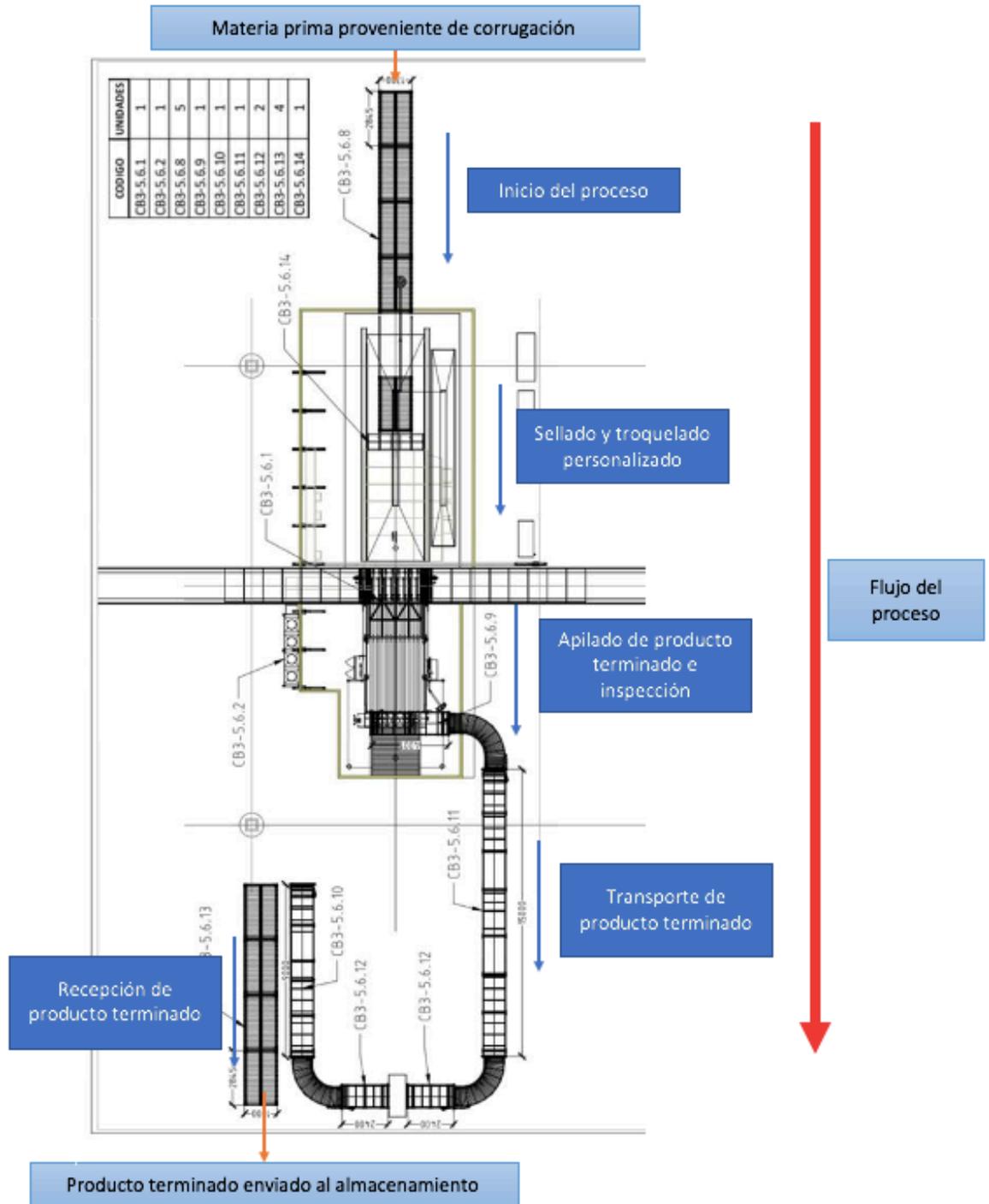


Imagen 14: Señalización del proceso de la máquina



B. Proceso de instalación

Para esta etapa del proyecto se llevó a cabo un proceso, en donde se inició con buscar el mejor lugar para la instalación. Luego, se preparó el lugar desalojando esa área, cimentando el suelo para agregar soporte de concreto y colocando las herramientas necesarias para la instalación del sistema eléctrico de la máquina (ver imagen 29-32). Por último, se presenta el proceso de instalación en imágenes, en donde se instalaron los rieles, la máquina y las fajas transportadoras que conducen el producto terminado hacia el almacenamiento:

Imagen 15: Máquina desarmada



Imagen 16: Plataforma de instalación de la máquina



Imagen 15: Inicio de instalación de la máquina

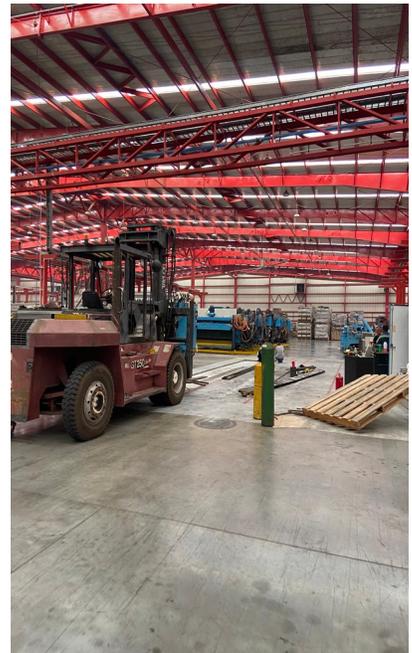


Imagen 18: Instalación de drenajes



Imagen 19: Instalación del cuerpo de la máquina



Imagen 20: Línea de desechos



Imagen 21: Instalación de sistema eléctrico



Imagen 22: Instalación de Stacker



Imagen 23: Instalación de protectores

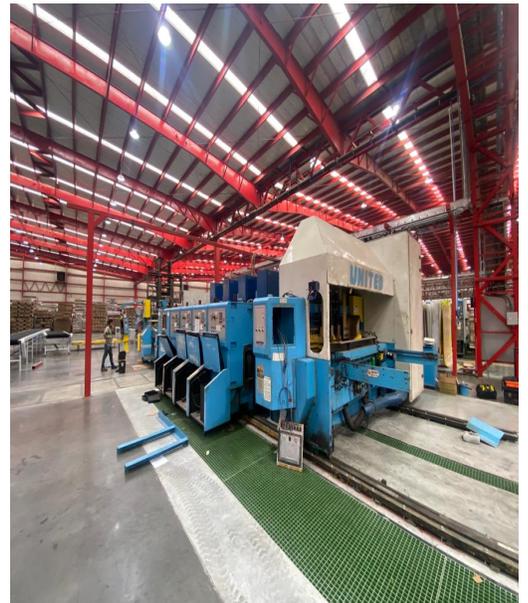


Imagen 24: Alimentador instalado



Imagen 25: Máquina instalada



Imagen 26: Máquina instalada (vista trasera)



Previo al entregar la máquina ya instalada, se necesitó realizar pruebas de funcionamiento de cada parte y sistema eléctrico. Se realizó este análisis para observar si todas las piezas de la máquina funcionaban y si se instalaron de manera correcta.

XV. Gestión logística

La gestión logística de un proyecto es un proceso de detallado de cada operación que se realiza de principio a fin para poder tener un proyecto eficiente, en este caso se utilizó la gestión logística (departamento de logística) para el transporte de la máquina usada desde la puerta del proveedor (USA) hasta la puerta de la planta de producción de papel corrugado ubicada en Escuintla, Guatemala, por lo que se tuvo que coordinar el transporte de tres lugares: puerta del proveedor hacia el puerto en USA; del puerto en USA hacia el puerto de Guatemala; y por último del puerto de Guatemala hacia la planta de producción corrugado en Escuintla, Guatemala. A continuación se presentan los fletes y seguros de los transportes:

A. Fletes marítimos

Para transportar la máquina troqueladora se necesitó 4 contenedores High Cube de 40' y un contenedor flat rack de 20', por lo que se cotizó en varias empresas hasta encontrar la mejor en costo y tiempo de entrega. A continuación se presenta la mejor cotización:

Imagen 27: Flete marítimo

COTIZACION NUMERO:	
REFERENCIA:	
CLIENTE:	
ATENCIÓN:	
FECHA:	
MERCADERIA:	
PESO MAXIMO PERMITIDO	
0	20-25 DIAS TRANSITO ESTIMADOS
ORIGEN:	Merrillville, Indiana
PUERTO DE SALIDA (POL):	NEW YORK
PUERTO DE TRANSBORDO:	CAUCEDO
PUERTO DE DESCARGA (POD):	SANTO TOMAS DE CASTILLA
DESTINO FINAL (LUGAR DE ENTREGA E	
TIPO DE SERVICIO:	DOOR TO PORT
TARIFA VALIDA:	28022022
CARGOS	TIPO DE EQUIPO
	20 OT
	40HC
SEAFREIGHT	\$2,000.00
BFC	\$360.00
ISPS ORIGEN	\$18.00
ECU	\$70.00
PRECARRIAGE	\$1,783.00
LSC	\$700.00
CSF	\$11.00
CFC	\$25.00
Total Flete Maritimo	\$4,376.00
LOCALES DE DESTINO:	
DTHC US\$230	
SPD US\$12.00	
LOF US\$30.00	
DOC US\$450.00	
PAD US\$120	
MERCHANT HAULAGE FEE US\$75.00	
DEMORAS: 10 DIAS LIBRES	
ALMACENAJES: 10 DIAS LIBRES	
* Tarifas sujetas a cargos locales en origen -si fueran aplicables-	
* Esta cotización esta basada en la información que nos proporcionara para proveerle la misma.	
* Cualquier variación de esta información puede alterar los costos cotizados.	
* Carga peligrosa sujeta a aprobación al momento de hacer el booking	
* PRODUCTOS llantas, menaje de casa, persona individual, vaciados en puerto -están sujetos a depósito en garantía reembolsable por \$300.00 por contenedor.	

B. Seguros

En los transportes terrestres y marítimos es necesario un seguro de carga, ya que pueden ocurrir accidentes como daños a la carga o pérdida total, por lo que es necesario comprar un seguro por si pasa un incidente grave y no perder el dinero de la carga. A continuación se presenta el seguro del transporte de la máquina troqueladora:

Tabla 43: Seguro del transporte de la máquina

COTIZACION CERTIFICADO DE TRANSPORTE	
ASEGURADO	Empresa ***
VALOR DEL EMBARQUE	\$495,000.00
DESCRIPCION DE LA MERCADERIA	One Used, As-Is, Where-Is 4-Color United 66" x 125" RDC Manufactured
NO. VIAJES	1
CONTENEDORES/BULTOS	5 contenedores 40HQ
VIA	Marítima-Terrestre
INCOTERMS	EXW 2020 Puerto Santo Tomas de Castilla
TRANSPORTISTA	Marítimo (MSC-Agunsa) - Terrestre (Transportes y Servicios Chamus, S.A.)
CONSIGNATARIO	Empresa ***
ORIGEN	MERRILLVILLE, IN
DESDE	MERRILLVILLE, IN
HASTA	Km 63.9 Ruta a Masagua, Finca San Antonio El Dorado, Escuintla, Guatemala
FECHA DE SALIDA	6-mar
VIGENCIA	
SEGUROS G&T	
VALOR DEL EMBARQUE	

Continuación de tabla 42: Seguro del transporte de la máquina

SEGUROS G&T	
PRIMA NETA	
PRIMA TOTAL	Q 15,993.75
CONDICIONES Y COBERTURAS	
VALORACION	
COBERTURAS	TODO RIESGO INCLUYENDO ROBO, ATRACO OPERACIONES DE CARGA Y DESCARGA, MOTIN Y HUELGAS
DEDUCIBLES	
ROBO/ATRACO	
CON MEDIDAS DE SEGURIDAD	
SIN MEDIDAS DE SEGURIDAD	
OTROS DAÑOS	

XVI. Avances semanales

Para llevar el control de avances se documentó semanalmente las actividades que se iban haciendo y las próximas a realizar en conjunto con el calendario de la empresa. Esta sección es importante para la organización del proyecto para asegurar que se cumplieran los plazos y se alcanzaran los objetivos establecidos. (Ver imágenes 34-40).

XVII. Resultados y análisis de la implementación de la solución

En esta última etapa del proyecto se obtuvieron los resultados de la implementación de la máquina usada. Se recopilaron los metros cuadrados producidos diariamente del 5 al 27 de septiembre del presente año. A continuación, se presenta la marca de clase con la frecuencia absoluta de la máquina instalada:

Tabla 44: Clases del histograma de troqueladora instalada en m^2

Inferior	Superior	Marca de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada
12,605.31	19,479.58	16,042.45	2	2
19,479.58	26,353.85	22,916.71	4	6
26,353.85	33,228.12	29,790.98	6	12
33,228.12	40,102.39	36,665.25	5	17
40,102.39	46,976.66	43,539.52	3	20

Se analizaron 20 datos de los 22 días de producción, los dos días restantes no se produjeron cajas troqueladas. Al ajustar el histograma se puede observar que pareciera que tiene un comportamiento normal formando la campana de Gauss con un coeficiente de determinación de 0.9543, también se determinó que la clase con mayor frecuencia es 33,228.12 m^2 . A continuación se presentan las estadísticas descriptivas:

Tabla 45: Estadísticas descriptivas de producción de troqueladora instalada

Producción troqueladora instalada	
Media	31,672.38
Error típico	2,153.90
Mediana	30,771.82
Desviación estándar	9,632.55
Varianza de la muestra	92,786,026.09
Curtosis	-0.77
Coefficiente de asimetría	-0.10
Rango	34,371.34
Mínimo	12,605.31
Máximo	46,976.65
Suma	633,447.65
Cuenta	20

Se puede apreciar una media de 31,672.38 m². También se puede observar que el coeficiente de asimetría (0.10) es cercano a cero, siendo menor a 0.65, por lo que parece que los datos tienen una distribución normal alrededor de la media.

Tabla 46: Comparación de producción anterior vs producción con la mejora implementada

Número de máquinas	Producción
2 máquinas (ward4 y UNITED)	75,602.25 m ²
3 máquinas (Ward4, UNITED y Máquina implementada)	107,274.63 m ²

Finalmente, los resultados son cercanos a los que se pronosticaron, dado que la media de producción de la máquina se esperaba que fuera de 36,960.00 metros cuadrados y la media de la producción real del 5 al 27 de septiembre fue de 31,672.38 metros cuadrados para un total nuevo de producción dentro de la planta de 107,274.63m² de cartón corrugado en cajas troqueladas. La diferencia de la cantidad de producción esperada y la real es causada por el inicio de producción de la máquina, dado que el departamento le asignó poca producción con un rendimiento menor.

XVIII. Conclusiones

- 1) Los análisis de indicadores de producción dieron como resultado que la máquina Ward4 tiene una Efectividad Total de los Equipos (ETE) de 35.63% y la máquina UNITED de 23.38%. Asimismo, la demanda diaria tuvo una media de $128,891.47m^2$, mientras que la producción diaria se situó en $75,602.25m^2$. La diferencia entre la demanda y la producción fue de $53,289.20m^2$. Este análisis indicó la necesidad de un aumento del 70.49% en la producción actual para satisfacer completamente la demanda existente. Por lo tanto, estos análisis fueron fundamentales para identificar áreas de mejora en el proceso de producción de cajas troqueladas con un enfoque destacado en la expansión de la capacidad de producción, brindando una base sólida para la implementación de mejoras.
- 2) La mejor alternativa para aumentar la capacidad de producción de cajas troqueladas fue adquirir una máquina usada. Esta decisión estratégica se respaldó mediante una matriz de evaluación de múltiples atributos, donde se evaluaron factores críticos como precio con un peso sobre la decisión de 20%, el tiempo de entrega con un peso de 60% sobre la decisión y el pronóstico de producción con un peso del 20% sobre la decisión. Siendo el tiempo de entrega la ponderación más alta por la necesidad de solucionar rápido el problema, dado que la empresa podría perder clientes. Por lo tanto, la elección de una máquina usada se destacó como la opción más efectiva con un total de ponderación del 80% por el precio (\$495,000) y el tiempo de entrega (1.5 meses). Sin embargo, la alternativa más barata sería la mejora del proceso disminuyendo las causas que provocan que la disponibilidad de uso de las máquinas sea tan bajo.

- 3) La planificación detallada mediante la ficha del proyecto, cronograma, presupuesto y planificación de desembolsos fue esencial para la implementación efectiva de la alternativa seleccionada. Este enfoque estratégico fue respaldado por una duración de 31 semanas (0.67 años) del proyecto.

- 4) La producción actual de cajas troqueladas experimentó un incremento de 31,672.38 metros cuadrados diarios, representando un aumento del 41.89% en comparación con la cantidad producida anteriormente con dos máquinas. Por lo tanto, la producción diaria de cajas troqueladas aumentó de $75,602.25m^2$ a $107,274.63m^2$. El aumento de producción diaria cumple con el 83.22% de la demanda diaria. Sin embargo, todavía existe una diferencia entre la producción esperada ($116,702m^2$) y la producción actual de la máquina ($107,274.63m^2$), esto se debe a que los datos analizados son del primer mes de producción y la máquina solamente esta trabajando con tres tipos de colores, cuando puede llegar a trabajar con 4 tipos de colores en los sellos personalizados, por lo que se espera que la producción siga aumentando hasta llegar a cumplir con el 90.54% de la demanda diaria.

XIX. Recomendaciones

- 1) Buscar una mejora continua en la Efectividad Total de los Equipos (ETE) para incrementar la producción de metros cuadrados en el futuro con acciones como capacitación del personal, mantenimientos programados y mejora en la gestión de los procesos de producción. Se recomienda esta mejora, ya que existe una diferencia significativa entre los ETE de la empresa (35.63% y 23.38%) y de los estándares mundiales en el sector (60%).
- 2) La planificación se podría realizar dentro de 3 turnos al día, ya que esta comprobado que la mano de obra es más eficiente y se aprovechan mejor las máquinas.
- 3) Llama alarmantemente la atención el tiempo de mantenimiento preventivo dedicado a cada máquina que se encuentra muy por debajo del valor promedio de mercado que es de 5% mínimo, por lo que Bwpapersystems recomiendan realizar dicho mantenimiento mínimo para la inspección mecánica completa, lubricación y alineación a una instalación eléctrica y verificación.
- 4) Actualizar las velocidades teóricas de comparación en el rendimiento de la máquina, ya que sorprende el rendimiento de la ward4 (2020) vs la UNITED (1998).

XX. Bibliografía

- Anderson, David R.; Sweeney, Dennis J.; Williams, Thomas A. *Estadística para Negocios y Economía*. 11ª ed. Cengage Learning, México, 2012.
- Andina, C. (2023, February 8). *Cajas regulares: el mejor embalaje para tu negocio*.
<https://www.corrugadosandina.com.co/por-que-deberias-usar-cajas-regulares-para-tunegocio#:~:text=Las%20cajas%20regulares%20son%20uno%20de%20los%20elementos%20de%20empaquete,%2C%20ara%C3%B1azos%2C%20polvo%2C%20etc.>
- Andina, P. Y. C. (2022, December 14). *Cajas troqueladas ¡La mejor opción para empaquetar tu producto!* <https://www.corrugadosandina.com.co/no-sabes-en-donde-empaquetar-tus-productos-las-cajas-troqueladas-son-tu-mejor-opcion#:~:text=Las%20cajas%20troqueladas%20son%20todas,modelos%20seg%C3%BAn%20las%20distintas%20necesidades.>
- Arki2020. (2014, 23 agosto). *Tipos de cartón corrugado*. Arkiplus.
<https://www.arkiplus.com/tipos-de-carton-corrugado/>
- Arturo P. (2022). *Tecnología de fabricación del cartón corrugado: En busca de la excelencia operativa de la corrugadora*.
- Brainstorming: qué es y cómo funciona*. (2022, 24 noviembre). IONOS Startup Guide.
<https://www.ionos.es/startupguide/productividad/brainstorming-o-lluvia-de-ideas/>
- Caja troquelada 340x225x68*. (2023, 1 febrero). Cartonfast.
<https://www.cartonfast.com/producto/caja-de-carton-ref23/>
- Calcular OEE*. (2019). Sistemas OEE.
<https://www.sistemasoe.com/calcular-oe/>

- Cantu, E. (2019, 19 octubre). *Cartón corrugado y microcorrugado*. Franja Industrias » Etiquetas en rollo. <https://www.etiquetasenrollo.mx/2015/04/carton-corrugado-y-microcorrugado/>
- Corrugados. (s. f.). REYBAL. <https://www.reybal.com/corrugados>
- Del Centro, C. C. (s. f.). *Productos de Línea de Cartón Corrugado* | CCDC. Cartón Corrugado del Centro. <https://www.ccdc.com.mx/productos-carton-linea>
- DSSmith (2018, 23 noviembre). *El origen del cartón ondulado* DSSmith.com Tecnicarton. <https://www.dssmith.com/es/tecnicarton/sobre-tecnicarton/noticias/2018/11/el-origen-del-carton-ondulado>
- Galán, J. S. (2022, 24 noviembre). *Presupuesto*. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/presupuesto.html>
- G., & G. (2022, August 10). *15 datos nuevos sobre la industria del cartón corrugado estadounidense*. gofro.expert. [https://gofro.expert/es/noticias/15-datos-nuevos-sobre-la-industria-del-carton-corrugado-estadounidense/#:~:text=En%202021%2C%20la%20industria%20del,a%20los%20clientes%20\(FBA\)](https://gofro.expert/es/noticias/15-datos-nuevos-sobre-la-industria-del-carton-corrugado-estadounidense/#:~:text=En%202021%2C%20la%20industria%20del,a%20los%20clientes%20(FBA))
- Gonzales, B. (2022, 16 octubre). *Cartón corrugado: tipos y usos en el embalaje*. RAJA® Blog | Consejos de embalaje, logística y más. <https://www.rajapack.es/blog-es/carton-corrugado-tipos-usos-embalaje>
- G-Grafix Rotary Die Cutter. (s. f.). Default. <https://www.bwpapersystems.com/products/machine/new/g-grafix-rotary-die-cutter>
- Mercado Mundial de Cartón Corrugado – Mesa de cartón corrugado*. (2016, 12 octubre). <http://cartoncorrugado.cl/index.php/2016/10/12/noticia-2/>
- Montgomery, Douglas C; Runger, George C. (2007). *Probabilidad y Estadística aplicadas a la Ingeniería*. 2ª ed. Limusa Wiley, México, 2007.

Planeación y control de desembolsos de capital. (s. f.). vLex.

<https://vlex.com.mx/vid/planeacion-control-desembolsos-capital-224477581>

Papeles y Corrugados Andina. (2022, 14 diciembre). *Cajas troqueladas ¡La mejor opción para empaquetar tu producto!* <https://www.corrugadosandina.com.co/no-sabes-en-donde-empaquetar-tus-productos-las-cajas-troqueladas-son-tu-mejor-opcion>

Quiroa, M. (2022, 24 noviembre). *Cuello de botella (producción)*. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/cuello-de-botella-produccion.html>

Silva, Cesar; Flores, Xavier; García, Gabriela; Pérez, Juan Pablo. (2015).

Utilización de la simulación de procesos con herramientas de software para la predicción de la producción. LACCEI Proceedings 2015.

Simio Simulation Partner. (s. f.). *Simio Simulacion - software de simulación de procesos.*

Simio Simulación. <https://www.simio-simulacion.es/>

Velázquez, A. (2018, 2 diciembre). *¿Qué son las pruebas no paramétricas?* QuestionPro. <https://www.questionpro.com/blog/es/pruebas-no-parametricas/>

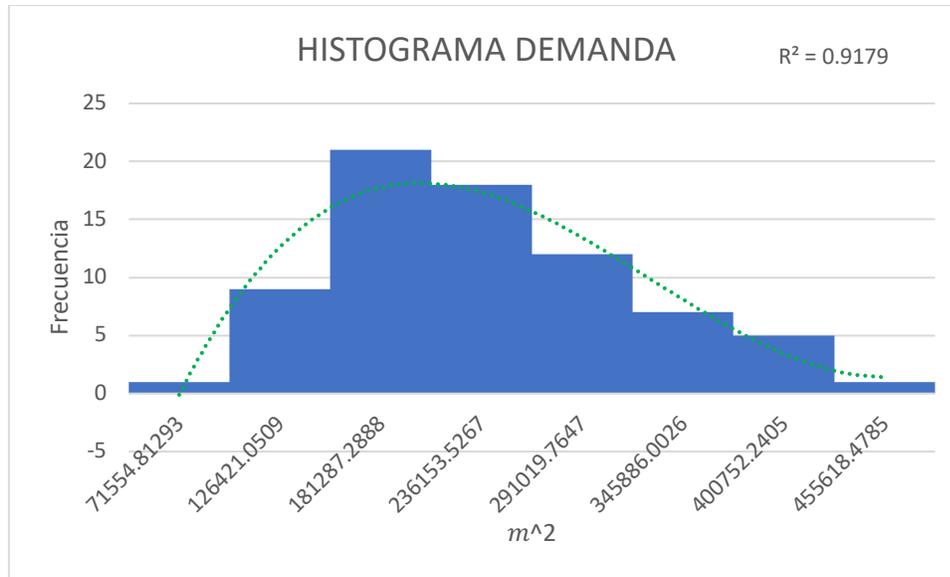
Velázquez, A. (2023, 10 enero). *¿Qué son las pruebas paramétricas?* QuestionPro. <https://www.questionpro.com/blog/es/pruebas-parametricas/>

XXI. Glosario

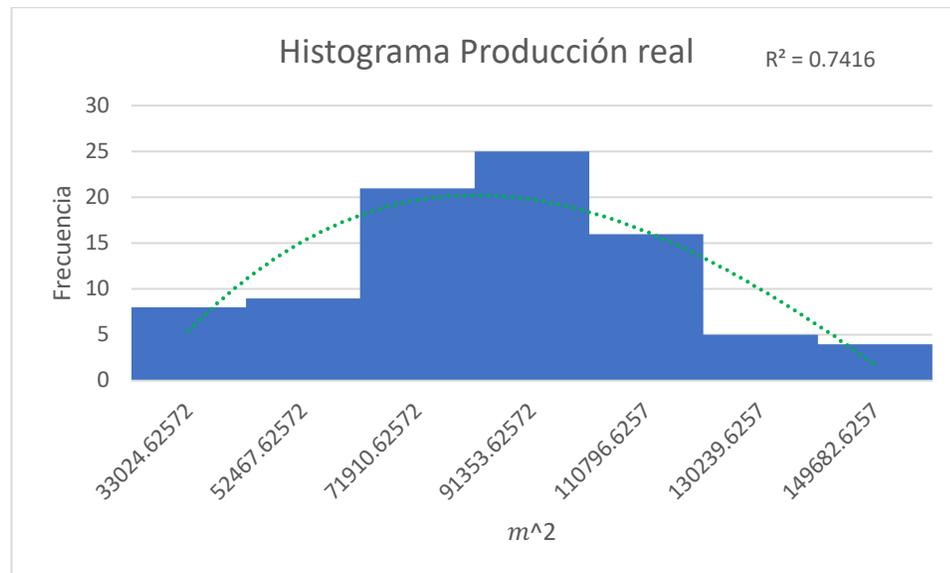
- Producción: fabricación o elaboración de un producto o servicio.
- Diagrama de operaciones de procesos (DOP): representación gráfica que muestra cómo se lleva a cabo un proceso o una serie de actividades en una organización.
- Estadísticas descriptivas: son un conjunto de técnicas y métodos utilizados en la estadística para resumir, organizar y presentar datos de manera informativa y significativa.
- Media: es la suma de todos los valores dividida por el número de observaciones. Representa el valor típico del conjunto de datos.
- Desviación estandar: mide la dispersión o variabilidad de los datos con respecto a la media.

XXII. Anexos

Gráfica 12: Histograma de la demanda diaria de de cartón corrugado en cajas troqueladas



Gráfica 13: Histograma de la producción real diaria de de cartón corrugado en cajas troqueladas



Gráfica 14: Histograma de la producción real diaria de troqueladora instalada

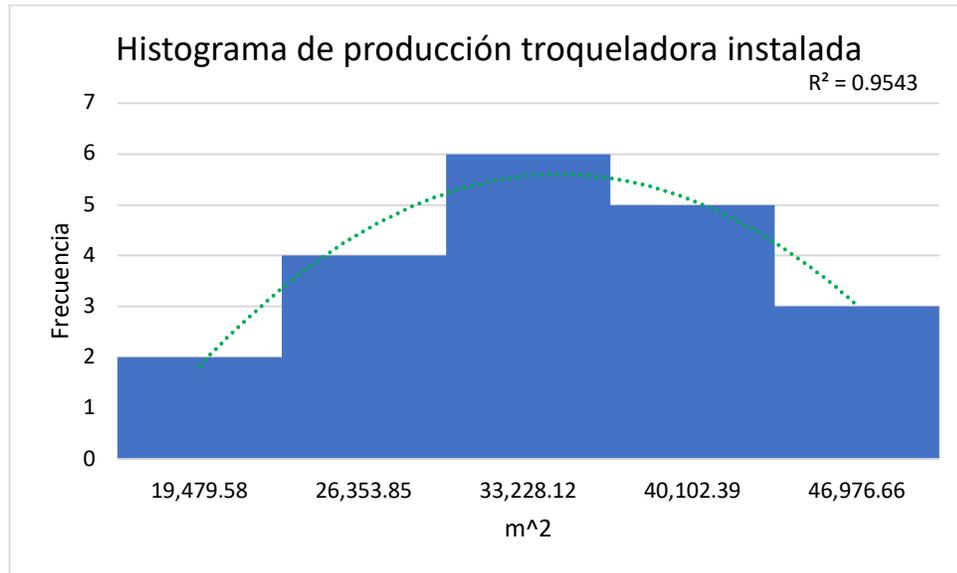


Imagen 16: Detalles técnicos de troqueladora nueva

15000 G-Grafix Rotary Die Cutter 66 in. x 113 in. 1676 mm x 2870 mm		
Minimum die cut sheet	18 in. x 25.125 in.	457 mm x 638 mm
Maximum die cut sheet	61 in. x 107.5 in.	1549 mm x 2730 mm
Sheet caliper	0.040 in. - 0.400 in.	1 mm - 10 mm
Print image across machine	25.125 in. - 106.75 in.	638 mm - 2711 mm
Maximum print width thru machine	61 in.	1549 mm
Machine speed	up to 200 sheets / minute	

Imagen 17: Precio de troqueladora usada

QTY.	DESCRIPTION	PRICE
One (1)	<i>Used, As-Is, Where-Is 4-Color United 66" x 125" RDC Manufactured in 2000 (Serial Number CLW4F21136W).</i>	
One (1)	<i>Used, As-Is, Where-Is 125" Wide George Martin Stacker Manufactured in 2000 (Serial Number S-2577).</i>	
	EX WORKS MERRILLVILLE, IN:	\$495,000.00

Imagen 18: Protección de la máquina

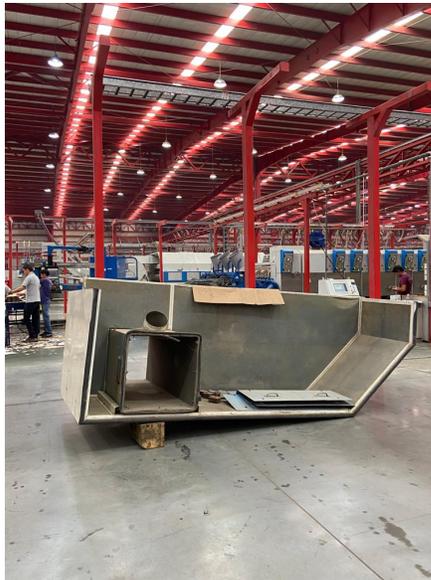


Imagen 19: Aireadores de la máquina



Imagen 20: Stacker de la máquina



Imagen 21: Fajas transportadoras instaladas



Imagen 22: Avances semana 5

TROQUELADORA 5 ☆ Visible para el Espacio de trabajo Tablero

Power-Ups Automatización Filtrar L W Compartir

Lista de tareas	En proceso	Hecho
Oferta cimentación (L)	OC y anticipo (Compras y Finanzas)	MÁQUINA DE ESQUINEROS - Visita MX (17 de ene. 1)
Actualización oferta Castellanos (Colector de polvo, base y retráctiles) (W)	Curvas (Añada una tarjeta)	TROQUELADORA USADA - Visita USA
Conveyors de salida (W)		Seguros (Sandra Patzán)
Oferta upgrade electrónico (L)		Ficha Troqueladora #5 y ajuste presupuesto CAPEX 23 (Añada una tarjeta)
Conveyors de entrada (W)		Contrato (L)
Contratar personal de reparación de maquinaria (Añada una tarjeta)		

Imagen 23: Avances semana 6

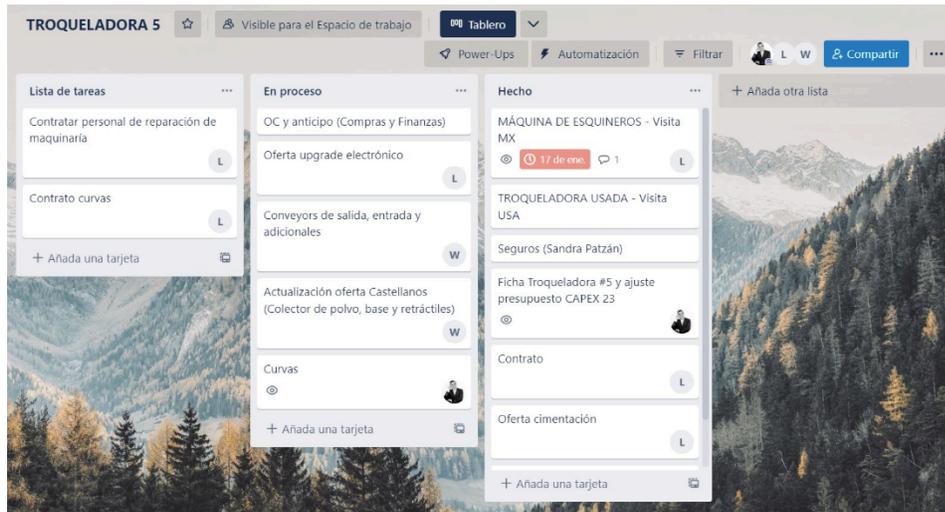


Imagen 24: Avances semana 7

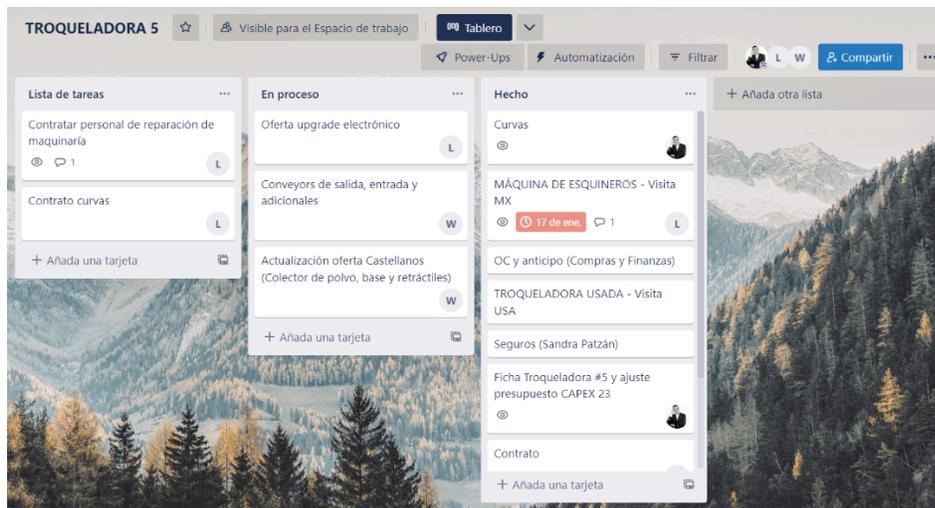


Imagen 25: Avances semana 8

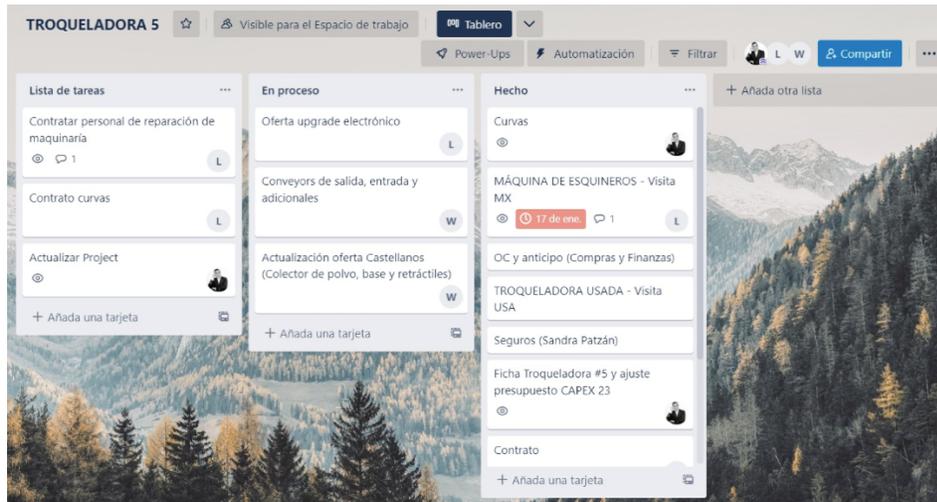


Imagen 26: Avances semana 10

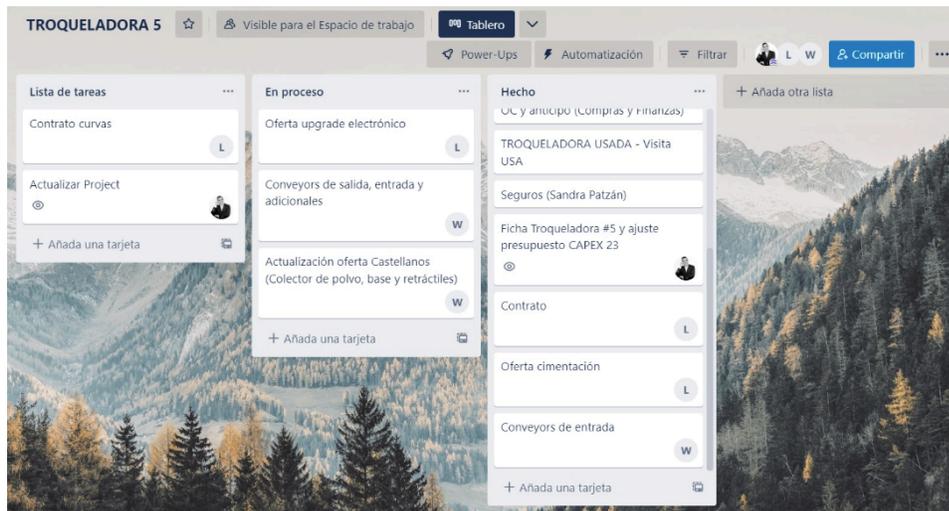


Imagen 27: Avances semana 12

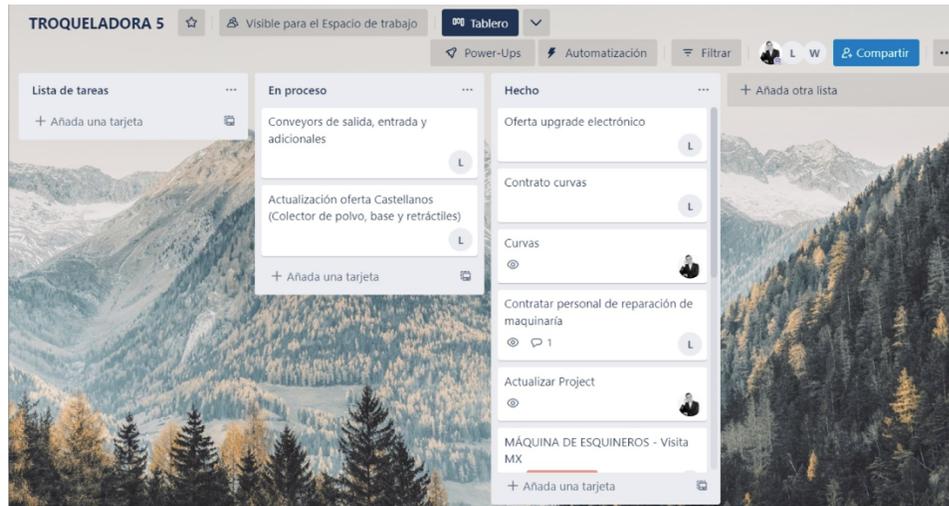


Imagen 28: Avances semana 15

