

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Rediseño de la planta de producción de una empresa fabricante de vasos, envases

y empaques de papel

INGE-2915

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Industrial

Presentado por:

Luis Andrés Asanza Castro

Xavier Eduardo Morales Román

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

Yo, Xavier Morales dedico el presente proyecto especialmente a mi mamá Elsa Román, quien es la persona que siempre ha velado por mi bienestar y éxito en la vida, enorgullecerla es lo mínimo que puedo realizar por ella y pretendo seguir en ese camino.

Dedicatoria

Yo, Luis Asanza, le dedico este hito en mi vida profesional como personal a mis padres pues, aunque para muchos sus héroes son Superman, Batman, etc., para mí, mis más grandes héroes son mis padres. A ellos, mis mejores amigos desde los 12 años y mi pareja, que estuvo a mi lado en cada paso que di en esta aventura profesional y nunca permitió que me rindiera, les pertenece este logro tanto como a mí. La grandeza no es para los más talentosos, sino para los que caen 100 veces y se levantan 101 veces más.

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a nuestro tutor de materia integradora, el Ing. Jorge Abad por ser tan meticuloso en cada avance, gracias a él logramos obtener los puntajes máximos en todos los entregables y pudimos realizar un proyecto reconocido y merecedor de reconocimiento a nivel institucional. A él, y a todos los profesores de la carrera que nos acompañaron en cada paso de nuestra formación como profesionales.

Declaración Expresa

Nosotros, Luis Andrés Asanza Castro y Xavier Eduardo Morales Román, acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

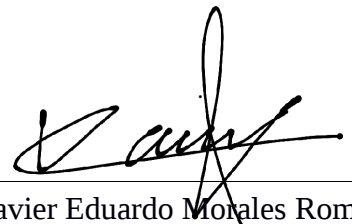
La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 29 de agosto del 2025.



Luis Andrés Asanza Castro



Xavier Eduardo Morales Román

Evaluadores

María Denise Rodríguez Zurita

Profesor de Materia

Jorge Fernando Abad Moran

Tutor de proyecto

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo analizar y optimizar la eficiencia de una planta de manufactura mediante simulaciones precisas, utilizando datos reales para validar diferentes escenarios de distribución y layout. La hipótesis plantea que la reorganización de los recursos y procesos conduce a aumentos significativos en la productividad. La justificación radica en la necesidad de reducir tiempos de ciclo y mejorar la utilización de recursos, lo cual supone ventajas competitivas para la empresa. Para el desarrollo, se recopilaban datos mediante reportes del sistema SAP y mediciones en la planta, empleando técnicas de muestreo y análisis estadístico, además de utilizar software de simulación FlexSim para replicar el proceso actual y modelos mejorados. Los resultados principales indicaron que la simulación reflejaba con precisión los tiempos de ciclo y velocidades de las estaciones, revelando potenciales mejoras en los layout y distribución del personal. Se concluye que las simulaciones realizadas permiten anticipar incrementos en la eficiencia productiva, validando propuestas de optimización que, en el presente, contribuyen a una gestión más eficiente y competitiva. Palabras clave: simulación, eficiencia, manufactura, optimización.

Palabras clave: Simulación, Eficiencia, Manufactura, Optimización.

Abstract

The goal of this project is to analyze and optimize the efficiency of a manufacturing plant through accurate simulations, using real data to validate different distribution and layout scenarios. The hypothesis is that reorganizing resources and processes leads to significant increases in productivity. The rationale lies in the need to reduce cycle times and improve resource utilization, which provides competitive advantages for the company. For the development, data was collected through SAP system reports and measurements at the plant, using sampling techniques and statistical analysis, as well as FlexSim simulation software to replicate the current process and improved models. The main results indicated that the simulation accurately reflected cycle times and station speeds, revealing potential improvements in layout and staff distribution. It is concluded that the simulations carried out allow for the anticipation of increases in production efficiency, confirming optimization proposals that, at present, contribute to more efficient and competitive management. Keywords: simulation, efficiency, manufacturing, optimization.

Keywords: Simulation, Efficiency, Manufacturing, Optimization.

ÍNDICE GENERAL

1.	Introducción	2
1.1.	Descripción del Problema	4
1.2.	Justificación del Problema	4
1.3.	Objetivos	5
1.3.1.	<i>Objetivo general</i>	5
1.3.2.	<i>Objetivos específicos</i>	5
1.4.	Marco teórico	5
2.	Definir y Medir	9
2.1.	Voice Of Customer (VOC).....	9
2.2.	Especificaciones técnicas de la calidad (QFD).....	10
2.3.	Restricciones del diseño.....	12
2.4.	Ventajas para el diseño	13
2.5.	Declaración de la oportunidad de mejora	13
2.6.	Plan de Recolección de datos	13
2.7.	Tiempo de Ciclo	15
2.8.	Dimensiones.....	23
2.8.1.	<i>Máquinas</i>	23
2.8.2.	<i>Pallets</i>	24
2.8.3.	<i>Cartones</i>	25
2.8.4.	<i>Planta de Producción</i>	27
2.8.5.	<i>Racks</i>	28
2.9.	Distancia Transitables entre Estaciones.....	29
2.10	Flujo de Estaciones por SKU.....	30
3.	Analizar y Diseñar.....	33
3.1.	Opción 1	33
3.1.1.	<i>Análisis Financiero</i>	34

3.1.2.	<i>TIR (Tasa Interna de Retorno) y VAN (Valor Actual Neto)</i>	36
3.2.	Opción 2	37
3.2.1.	<i>Análisis Financiero</i>	37
3.2.2.	<i>TIR (Tasa Interna de Retorno) y VAN (Valor Actual Neto)</i>	39
4.	Análisis de Resultados y Conclusiones	41
4.1	Simulación de los casos.....	41
4.1.1	Simulación del modelo actual.....	41
4.1.2	Simulación del modelo propuesto	43
4.2	Análisis de Resultados	45
4.2.1	<i>Comparación de casos</i>	45
4.2.2	<i>Pilar Económico</i>	45
4.2.3	<i>Pilar Social</i>	45
4.2.4	<i>Pilar Ambiental</i>	46
4.3	Conclusiones y Recomendaciones	46
4.3.1	<i>Conclusiones</i>	46
4.3.2	<i>Recomendaciones</i>	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>VOC (Voice of Customer)</i>	9
Figura 2 <i>Matríz QFD</i>	12
Figura 3 <i>Test de valores atípicos máquina G004</i>	20
Figura 4 <i>Test de Anderson-Darling recurso G004</i>	21
Figura 5 <i>Transformación de Box-Cox para datos del recurso G008</i>	22
Figura 6 <i>Test de t para diferencia de medias en el recurso G110</i>	22
Figura 7 <i>Dimensiones máquina formadora G112</i>	24
Figura 8 <i>Dimensiones de pallets en planta</i>	25
Figura 9 <i>Zona de formado</i>	27
Figura 10 <i>Zona de Despacho</i>	28
Figura 11 <i>Estándar de racks utilizados en la empresa</i>	29
Figura 12 <i>Simulación Actual</i>	41
Figura 13 <i>Resultados de la simulación actual</i>	42
Figura 14 <i>Referencia de SKU's y labels utilizados en la simulación</i>	42
Figura 15 <i>Simulación del modelo propuesto</i>	44
Figura 16 <i>Resultados de la simulación del modelo propuesto</i>	44

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1	Layout actual de la empresa	50
PLANO 2	Propuesta 1 de layout mejorado	50
PLANO 3	Propuesta 2 de layout mejorado	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Ponderación de los requerimientos de diseño</i>	11
Tabla 2 <i>Relación entre los requerimientos de diseño</i>	11
Tabla 3 <i>Plan de Recolección de datos</i>	13
Tabla 4 <i>Reporte de Producción desde 01/01/2025 hasta 17/06/2025</i>	16
Tabla 5 <i>Velocidad Promedio por día</i>	17
Tabla 6 <i>Tiempo de Ciclo por recurso por día en segundos/unidad</i>	17
Tabla 7 <i>Fragmento de 6 estaciones en las se realizaron un muestreo inicial</i>	18
Tabla 8 <i>Observaciones por tiempo de ciclo de General Electric Company</i>	19
Tabla 9 <i>Fragmento de la base de datos muestrales</i>	19
Tabla 10 <i>Regla de Pareto aplicada a ventas por producto</i>	26
Tabla 11 <i>Unidad de Empaque por cartón por artículo</i>	26
Tabla 12 <i>Regla de Pareto aplicada a ventas por producto</i>	30
Tabla 13 <i>Ruta por subfamilia de producto</i>	31
Tabla 14 <i>Montos a incurrir por movimiento de maquinaria</i>	35
Tabla 15 <i>Montos a incurrir por movimiento de maquinaria</i>	38
Tabla 16 <i>Comparación de resultados entre modelos</i>	45

Capítulo 1

1. Introducción

En el contexto industrial actual, la eficiencia operativa en las plantas de producción se ha convertido en un factor determinante para la competitividad y sostenibilidad de las empresas. En particular, la adecuada distribución de áreas, equipos e insumos en la planta (también conocida como layout) representa uno de los pilares fundamentales para lograr flujos de trabajo continuos, minimizar desperdicios y maximizar el rendimiento de los recursos disponibles. No obstante, muchas organizaciones aún enfrentan desafíos importantes derivados de layouts ineficientes o sin una estructura derivada de un análisis previo, lo cual se traduce en pérdidas económicas, tiempos de ciclo prolongados, aumento en tiempos de transporte, sobrecarga operativa y limitaciones logísticas.

De acuerdo con datos publicados por la consultora McKinsey & Company (2022), hasta un 30% del tiempo total en procesos de manufactura puede perderse debido a movimientos innecesarios y a un transporte ineficiente de materiales dentro de la planta. Estas ineficiencias impactan directamente en indicadores clave como la productividad, el rendimiento (Throughput - TH), la utilización de recursos y la capacidad de respuesta ante la demanda. Además, el informe indica que una planta con una distribución mal diseñada puede registrar un aumento de hasta el 40% en los tiempos de transporte interno, lo que genera congestión, cuellos de botella, y sobreuso de maquinaria o personal.

El sector de producción de envases de papel no es ajeno a esta problemática. Las plantas que fabrican productos como vasos, bandejas o empaques alimenticios a partir de papel y cartón requieren de una secuencia específica y precisa de procesos: desde la conversión de la materia prima en planchas, pasando por impresión, troquelado, descarnado, formado y empaque, hasta llegar al almacenamiento del producto terminado. En casos observados en plantas de este tipo, se han identificado recorridos de materiales excesivamente largos, estaciones de trabajo ubicadas de forma desordenada y zonas de almacenamiento intermedias mal definidas. Estas condiciones

generan altos tiempos de espera entre etapas, acumulación de semielaborados y, en general, una baja eficiencia de la línea productiva.

Los beneficios de una organización eficiente en planta son múltiples y abarcan tanto el ámbito operativo como estratégico. En términos operacionales, se pueden mencionar la reducción de tiempos muertos, disminución de inventario en proceso, mejor ergonomía para el personal, mayor seguridad industrial y una disminución significativa del riesgo de errores o reprocesos. Desde una perspectiva estratégica, un buen layout puede contribuir a mejorar la flexibilidad del sistema productivo ante cambios de demanda, facilitar futuras expansiones de capacidad y generar una ventaja competitiva sostenible a través de una mayor velocidad de respuesta y confiabilidad en las entregas. Adicionalmente, una mejora en el layout permite optimizar el uso del espacio, lo que resulta particularmente beneficioso para plantas con restricciones físicas, donde el área de almacenamiento de producto terminado es limitada o mal aprovechada.

Entre las metodologías que se aplicarán para el desarrollo de este proyecto se incluyen el VOC, diagramas de flujo, herramientas de Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing), así como simulaciones del sistema productivo bajo diferentes escenarios de distribución.

En definitiva, el presente proyecto no solo busca resolver una necesidad operativa inmediata, sino también generar conocimiento aplicable a otras empresas del sector manufacturero ecuatoriano que enfrentan retos similares. La adecuada gestión del espacio y la eficiencia del flujo productivo son elementos clave para la competitividad en la industria, especialmente en contextos donde los recursos son limitados y la presión del mercado exige entregas rápidas, de alta calidad y a bajo costo. Esta investigación contribuirá, por tanto, al fortalecimiento de las capacidades productivas de la empresa y al desarrollo de soluciones sostenibles e innovadoras para la industria nacional.

1.1. Descripción del Problema

En una empresa dedicada a la fabricación de envases de papel sostenibles para uso alimenticio, se ha identificado una distribución física con una clara oportunidad de mejora en sus áreas productivas, operativas, equipos e insumos. Esta situación ocasiona movimientos innecesarios de materia prima y productos semielaborados entre etapas del proceso, generando pérdidas de tiempo significativas y un uso deficiente del espacio disponible. Las estaciones de trabajo no siguen una secuencia lógica ni un flujo lineal, lo cual impide que el proceso productivo fluya de forma continua. Como consecuencia, el rendimiento (Throughput - TH) de la línea de producción se ve afectado negativamente, y se incrementan los tiempos de ciclo y la acumulación de inventario en proceso. A su vez, esta ineficiencia impacta en la capacidad de almacenamiento del producto terminado, ya que gran parte de este no puede ser ubicado de forma ordenada ni segura en el área designada. Si no se interviene adecuadamente, esta situación puede derivar en mayores costos operativos y una pérdida de competitividad en el mercado.

1.2. Justificación del Problema

La necesidad de rediseñar el layout radica en la importancia de optimizar los procesos internos para mejorar la eficiencia operativa y el aprovechamiento del espacio físico. Una distribución adecuada de los recursos en planta permite reducir tiempos improductivos, disminuir el esfuerzo logístico asociado al transporte interno y aumentar el rendimiento del sistema productivo. Al implementar un layout más eficiente y alineado con el flujo lógico de las operaciones, es posible mejorar el Throughput (TH), reducir los tiempos de espera entre procesos y lograr un control más efectivo del inventario en proceso y del producto terminado. Además, una planta mejor organizada facilita las condiciones de trabajo del personal, mejora la seguridad industrial y permite una planificación más precisa de la producción. Desde una perspectiva estratégica, esta mejora puede traducirse en una mayor capacidad de respuesta ante la demanda, mayor cumplimiento en tiempos de entrega y una reducción de los costos operativos.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Rediseñar el layout en una planta de producción de envases de papel según la metodología DMADV con el fin de optimizar el flujo de materiales, reducir las distancias recorridas y minimizar los costos operativos.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Analizar el estado actual del layout de la planta, identificando ineficiencias, recorridos redundantes y cuellos de botella.
2. Medir y cuantificar las distancias recorridas, tiempos de traslado y tiempos muertos dentro de la planta, utilizando herramientas de análisis de procesos y estudio de tiempos.
3. Diseñar una propuesta de layout optimizado basado en principios de Manufactura Esbelta, priorizando la fluidez continua de los materiales, la reducción de desperdicios y una mejor distribución de las áreas de trabajo.
4. Comparar el layout actual y el propuesto mediante indicadores clave de desempeño (KPI) empleando simulaciones.
5. Analizar el impacto financiero de la nueva máquina incluida en el proceso de producción.

1.4. Marco teórico

La eficiencia en la distribución de planta ha sido objeto de numerosos estudios dentro del campo de la ingeniería industrial, ya que incide directamente en la productividad, la reducción de desperdicios y el rendimiento operativo. Según Tompkins et al. (2010), el layout de una planta define la relación espacial entre las áreas de trabajo, los equipos, las estaciones de procesamiento y las zonas de almacenamiento, por lo que un diseño inadecuado puede derivar en ineficiencias significativas que afecten la rentabilidad del sistema. Esta afirmación es respaldada por múltiples

investigaciones internacionales que coinciden en que entre el 20% y el 50% del tiempo productivo puede perderse debido a movimientos innecesarios y transporte ineficaz dentro de la planta (Muther, 1973; Black, 2010).

En un estudio realizado por Al-Muhanna & Al-Ghamdi (2020) en una planta de fabricación de productos de papel, se evidenció que la reubicación de estaciones de trabajo y la optimización del recorrido de materiales permitieron un aumento del 27% en el rendimiento (TH) y una reducción del 18% en los tiempos de ciclo. Resultados similares se han observado en plantas de América Latina, como el caso reportado por García y López (2018) en una planta de empaques de cartón en Colombia, donde la aplicación de herramientas de manufactura esbelta y el rediseño del layout generaron un incremento de la productividad en un 21% y una mejora notable en la gestión del espacio.

En el contexto ecuatoriano, varios trabajos académicos han abordado la problemática de distribución ineficiente de planta. Por ejemplo, en una tesis realizada en la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Rodríguez (2021) analizó una planta empacadora de productos alimenticios, donde se comprobó que un layout desordenado provocaba pérdidas de hasta 6 horas laborales por semana. Mediante simulaciones y análisis de flujos, el rediseño propuesto logró reducir el tiempo de recorrido de materiales en un 40%, generando ahorros económicos significativos y mejorando la distribución del producto terminado en el área de almacenamiento.

Uno de los conceptos clave relacionados con la eficiencia productiva es el Throughput (TH), o rendimiento del sistema. De acuerdo con Goldratt (1990), creador de la Teoría de las Restricciones (TOC), el TH representa la tasa a la cual el sistema genera dinero a través de la venta de productos. En términos prácticos, se traduce en la cantidad de unidades terminadas por unidad de tiempo. Un TH bajo indica cuellos de botella, interrupciones o desequilibrios entre etapas del proceso. Por ello, muchas empresas utilizan este indicador como KPI principal para monitorear la eficiencia de sus procesos productivos.

Otra teoría relevante es la Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing), la cual promueve la eliminación de todo tipo de desperdicio (muda) que no agrega valor al producto. Dentro de sus herramientas se destacan el mapa de flujo de valor (VSM), el análisis de recorrido, el diagrama espagueti y el layout tipo celular. Estos conceptos son ampliamente utilizados para detectar oportunidades de mejora en la distribución de planta. Womack y Jones (1996), pioneros del pensamiento lean, señalan que uno de los desperdicios más frecuentes en plantas mal organizadas es el transporte innecesario, el cual puede eliminarse mediante un rediseño enfocado en el flujo continuo.

Para abordar de forma estructurada el rediseño de layout, este proyecto se guiará por la metodología DMADV, perteneciente al enfoque Seis Sigma (Six Sigma). Esta metodología está orientada a la mejora de procesos cuando se requiere desarrollar o rediseñar un proceso desde cero o significativamente distinto al actual. DMADV responde a las siglas: Definir, Medir, Analizar, Diseñar y Verificar. A diferencia del enfoque DMAIC (mejoras a procesos existentes), DMADV se enfoca en diseñar soluciones que cumplan consistentemente con los requerimientos del cliente desde la etapa de planificación. Montgomery (2012) señala que DMADV es ideal cuando los procesos actuales no son capaces de alcanzar los objetivos deseados y se requiere una transformación estructural.

Capítulo 2

2. DEFINIR Y MEDIR

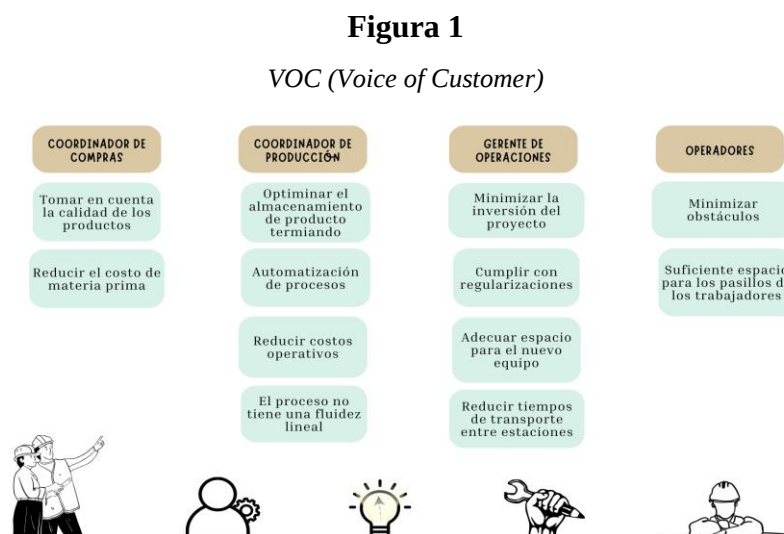
Para esta fase de la metodología DMADV, se toma en cuenta diversas opiniones de los actores involucrados, así como los detalles y descubrimientos encontrados por simple inspección dentro de la planta. Con esta información, se identifica la oportunidad de mejora y se establecen las restricciones a considerar en dicha propuesta.

2.1. Voice Of Customer (VOC)

Para realizar el VOC, se efectuaron entrevistas con 28 personas dentro de los cuales están los siguientes cargos:

- Gerente de Operaciones
- Coordinador de Producción
- Coordinadora de compras
- Operadores

En la Figura 1, se presenta una lluvia de ideas de toda la información recopilada de estos actores interesados, la cual se tendrá en cuenta para definir de manera concreta la necesidad del cliente.



Con esta información, se identifica la necesidad más relevante del cliente que permite enfocar el proyecto.

“Necesitamos un rediseño de layout que permita una mayor fluidez del material desde la recepción de materia prima hasta el bodegaje del producto final. Actualmente, los recorridos entre procesos son largos, hay movimientos innecesarios, y operaciones que podrían automatizarse. Queremos una planta más ágil, con un flujo lógico y continuo que minimice desplazamientos innecesarios, reduzca los movimientos manuales, y nos ayude a cumplir con la demanda sin comprometer la calidad de nuestros productos. Además, requerimos identificar el espacio donde se colocará un nuevo equipo y analizar el ahorro en costos que nos brinda.”

2.2. Especificaciones técnicas de la calidad (QFD)

Con el fin de establecer las especificaciones técnicas para el diseño, y con la ayuda de la información obtenida con el VOC, se determinaron los requerimientos necesarios para cumplir con el objetivo del proyecto, los cuales se detallan a continuación:

- Flujo directo de materiales
- Distancias cortas de recorrido
- Espacio para la nueva impresora
- Pasillos para personal y montacargas
- Flujo de materiales, personas y equipos sin obstáculos
- Espacio para la futura laminadora

Posterior a la identificación de los requerimientos del diseño, se procede a encuestar al cliente principal y al coordinador de producción para determinar los requerimientos más importantes o de mayor relevancia mediante una ponderación, como se observa en la Tabla 1:

Tabla 1*Ponderación de los requerimientos de diseño*

Requerimientos del diseño	Importancia
Flujo directo de materiales	9
Distancias de transporte cortas	8
Espacio para la nueva impresora	10
Pasillos para trabajadores y montacargas	7
Fujo de materiales, personas y equipos sin obstáculos	6

Se detalla las especificaciones de diseño con base a los requerimientos socializados por el cliente:

- Desplazamientos redundantes = 0
- Distancia entre estaciones de trabajo < 4 metros
- Reducir los tiempos de traslado en un 30%
- Espacio para circulación de personal de 1.20 metros
- Desplazamientos con obstáculos = 0
- Área de 29 x 6.6 x 29.615 metros para nueva impresora

A su vez, se especifica la señalización para la identificación de la fuerza existente entre requerimientos y especificaciones de diseño, como se observa en la Tabla 2:

Tabla 2*Relación entre los requerimientos de diseño*

Ponderación	9	6	3	0
Relación	Fuerte	Moderada	Débil	Ninguna

Como se observa en la Figura 2, se procede a identificar la relación entre los requerimientos y las especificaciones de diseño.

Figura 2
Matriz QFD

							
		Desplazamientos redundantes = 0	Distancia entre estaciones de trabajo < 4 m	Reducir los tiempos de traslado en un 30%	Espacio para circulación de personal de 1.20 metros	Desplazamientos sin obstáculos = 0	Área de 29 x 6.6 x 29.615 metros para nueva impresora
Importancia	Requerimientos de Diseño						
9	Flujo directo de materiales	●	●	●	▲	●	●
8	Distancias cortas de recorrido		●	●		○	●
10	Espacio para la nueva impresora		▲	▲			●
7	Pasillos para personal y montacargas			▲	●	▲	▲
6	Flujo de materiales, personas y equipos sin obstáculos	▲				●	▲
Importancia Neta		141	213	255	117	201	327
Importancia Relativa		11%	17%	20%	9%	16%	26%

2.3. Restricciones del diseño

Según el cliente principal, el diseño propuesto debe considerar las siguientes restricciones:

- Zonas que no se puedan modificar en el layout, tales como pilares, espacios que no soportan mucho peso o desniveles.
- Utilizar meramente el área que se encuentra a disposición de la empresa
- No contratar más personal.
- No añadir nuevas máquinas además de los equipos planeados
- Las máquinas formadoras deben tener movimientos mínimos
- Existen ciertas áreas las cuales tienen segundo piso y por ende limita el espacio que hay en la vertical del área en cuestión.

- Se deben definir pasillos dedicados para el paso del personal por seguridad.

2.4. Ventajas para el diseño

De igual manera, también se cuenta con ventajas para el diseño, ya que son condicionantes que no entran en el alcance del proyecto:

- No existen restricciones de cableado, ni conexiones a sistema de aire comprimido ni agua potable.
- Los tiempos entre arribos de MP son de aproximadamente 2 meses. Debido a la distancia de tiempo significativamente alta, no entra en el alcance del proyecto actual.

2.5. Declaración de la oportunidad de mejora

La gerencia operativa requiere redistribuir su planta, con el fin de reducir las distancias recorridas, tener un flujo continuo y lineal de producción, optimizar el uso del espacio, disminuyendo a su vez los costos operativos sin aumentar el número de recursos y siguiendo las restricciones de espacio físico.

2.6. Plan de Recolección de datos

Tabla 3

Plan de Recolección de datos

Descripción	Tipo	Unidad	Fuente de datos	Método de recolección	Razón
Tiempo de ciclo por estación	Cuantitativa	Minutos	Observación directa / SAP	Toma de tiempos / Descarga de data histórica	Identificar cuellos de botella

Cantidad de operadores en planta	Cuantitativa	Personas	Observación directa / Área de Producción	Entrevistas	Determinar cuál es la fuerza laboral necesaria al día para cumplir con la demanda
Secuencia de actividades por subfamilia	Cualitativa	Diagrama de flujo	Entrevistas y observación	Mapeo de proceso (VSM)	Conocer el proceso y su flujo de información y material
Tiempo de espera de PT para ser recolectado	Cuantitativa	Minutos	Observación y entrevistas	Toma de tiempos	Identificar falencias en el proceso de recolección de PT
Costos de Producción	Cuantitativa	Dólares	SAP / Oficinas de Costos	Descarga de data histórica / Entrevista con personal	Constatar costos actuales y si la propuesta resulta efectiva al reducirlos
% de rebaba reciclada	Cuantitativa	Kilogramos	SAP	Descarga de data histórica	Conocer si la nueva distribución ayuda a reciclar la mayor cantidad de rebaba posible
Distancia entre estaciones	Cuantitativa	Metros	Observación directa	Medición in situ	Identificar oportunidades de mejora entre estaciones subsecuentes
Dimensiones de la planta	Cuantitativa	Metros	Layout Digital	Revisar planos generales de la planta	Conocer el área total disponible para trabajar

Dimensiones de pallets	Cuantitativa	Metros	Observación Directa	Tomar muestra directo en la planta	Exactitud espacial para la simulación y diseño de la planta
Dimensiones de empaque por subfamilia	Cuantitativa	Metros	Observación Directa	Tomar muestra directo en la planta	Exactitud espacial para la simulación y diseño de la planta
Capacidad de almacenamiento de racks	Cuantitativa	# de Pallets	Observación Directa	Observación directa en el Área de Bodega	Conocer la capacidad de almacenamiento de MP y PT actual
Índice de fatiga por desplazamiento interno	Cuantitativa	Metros recorridos / día	FlexSim	Simulación	Medir el desgaste del personal operativo por distancias recorridas dentro de la planta.

El propósito de la recolección de esta información es analizar de manera detallada la situación actual de la empresa para, de esta manera, simular mediante el uso del software FlexSim lo más parecido a la realidad posible el proceso de la planta y con ello corroborar el aumento de la eficiencia productiva según las diferentes opciones de distribuciones que se vayan generando.

2.7. Tiempo de Ciclo

Se identifica el tiempo de ciclo de cada una de las estaciones de la planta, con el propósito de conocer a qué ritmo se procesan los insumos en cada estación y alcanzar una simulación lo más cercana al proceso productivo real. Para lograr este objetivo, se obtuvieron los datos de reporte de producción desde el sistema SAP de la empresa. Son 12,745 reportes de producción que datan del 1 de Enero hasta el 17 de Julio del presente año (165 días), en donde existen datos

clave como cantidad de unidades producidas, horas empleadas, operadora, día, producto, código de producto y recurso empleado (estación), como se observa en la Tabla 4:

Tabla 4
Reporte de Producción desde 01/01/2025 hasta 17/06/2025

Nombre	Iniciar	Final	Hr	Rechaz	Artículo	Artículo Descripción	Actividad	Recurso
JEFERSON DAVID	21/4/2025 1:09:51	21/4/2025 5:16:50	4.12	166,500	20	04DBL07120014	BLANKET IMPRESO SW VASO BEBIDA	TROQUELADO
CHRISTIAN	22/4/2025 7:00:00	22/4/2025 9:00:00	1.00	56,400	7	04DBL07120014	BLANKET IMPRESO SW VASO BEBIDA	TROQUELADO
CHRISTIAN	17/4/2025 20:00:00	18/4/2025 6:00:00	4.00	159,000	42	04DBL07120014	BLANKET IMPRESO SW VASO BEBIDA	TROQUELADO
CHRISTIAN	22/4/2025 14:00:00	22/4/2025 15:00:00	1.00	41,000	0	04DBL07120014	BLANKET IMPRESO SW VASO BEBIDA	TROQUELADO
JONATHAN	22/4/2025 5:00:00	22/4/2025 7:00:00	2.00	94,200	30	04DBL07120014	BLANKET IMPRESO SW VASO BEBIDA	TROQUELADO
ANTHONY JOEL	5/5/2025 8:15:41	5/5/2025 13:51:32	2.52	538,000	3,000	04DRB10940004	RIBETE 12+240+24 - 2PE 7CM	RIBETEADORA 2
ANTHONY JOEL	30/5/2025 14:01:10	30/5/2025 16:34:34	2.18	504,000	4,000	04DRB10940004	RIBETE 12+240+24 - 2PE 7CM	RIBETEADORA 2
ANTHONY JOEL	21/5/2025 7:18:12	21/5/2025 9:55:21	1.82	675,000	4,000	04DRB10940005	RIBETE 12+240+24 - 2PE 8CM	RIBETEADORA 2
ANTHONY JOEL	29/5/2025 9:33:10	29/5/2025 11:23:30	1.83	675,000	4,000	04DRB10940005	RIBETE 12+240+24 - 2PE 8CM	RIBETEADORA 2
ANTHONY JOEL	30/5/2025 14:01:16	30/5/2025 14:34:35	0.18	68,000	0,000	04DRB10940005	RIBETE 12+240+24 - 2PE 8CM	RIBETEADORA 2
JHON CARLOS	13/5/2025 11:07:11	13/5/2025 15:10:09	1.73	612,000	5,000	04DRB10940005	RIBETE 12+240+24 - 2PE 8CM	RIBETEADORA 2
ANTHONY JOEL	5/5/2025 13:36:32	5/5/2025 14:21:04	0.40	148,000	0,000	04DRB10940005	RIBETE 12+240+24 - 2PE 8CM	RIBETEADORA 2
ANTHONY JOEL	6/5/2025 14:04:09	6/5/2025 18:02:41	2.12	675,000	4,000	04DRB10940005	RIBETE 12+240+24 - 2PE 8CM	RIBETEADORA 2
DUBERLI FRANCO	11/6/2025 18:00:00	11/6/2025 19:00:00	0.50	1,200	0	04DPE07280025	PLANA SIN IMPRESIÓN 220gr	CONVERSION
JHON CARLOS	31/5/2025 0:49:57	31/5/2025 2:21:44	0.95	288,000	1,000	04DRC11090002	RIBETE CARTULINA 2PE 15+190+15	RIBETEADORA 2
ANTHONY JOEL	14/5/2025 2:34:47	14/5/2025 5:48:09	1.45	464,000	2,000	04DRC11090002	RIBETE CARTULINA 2PE 15+190+15	RIBETEADORA 2
JHON CARLOS	6/5/2025 20:59:53	6/5/2025 23:04:00	0.68	220,000	2,000	04DRC11090002	RIBETE CARTULINA 2PE 15+190+15	RIBETEADORA 2
ANTHONY JOEL	23/5/2025 10:47:56	23/5/2025 15:18:46	1.43	464,000	0,000	04DRC11090002	RIBETE CARTULINA 2PE 15+190+15	RIBETEADORA 2
JHON CARLOS	19/5/2025 22:33:41	20/5/2025 1:44:05	2.10	675,000	2,000	04DRC11090002	RIBETE CARTULINA 2PE 15+190+15	RIBETEADORA 2

Una vez obtenida la base de datos, se procede a calcular la velocidad registrada en cada uno de los reportes. Para esto se usó la siguiente fórmula:

$$Velocidad = \frac{Unidades producidas OK + Unidades Rechazadas}{Horas Reportadas}$$

Esta fórmula es útil debido a que las horas reportadas son confiables. El operador siempre tiene que estar junto a su estación. Si este no está en la estación, la máquina se debe pausar y se registra en el sistema la para de la máquina, sea cual sea la razón. Al reanudar la producción, se vuelve a marcar en el sistema la reanudación de la estación y el conteo del tiempo se reanuda.

Velocidad Promedio por día

Con los datos obtenidos en la Tabla 6, se cambia las unidades de medida de la velocidad de unidades/hora a segundos/unidad al dividir cada valor para 3600, siendo esta la equivalencia en segundos de 1 hora, y luego calcular el inverso del resultado de la división, obteniendo con ello el tiempo de ciclo promedio que la estación obtuvo cada día, como se indica en la Tabla 6.

Tiempo de Ciclo por recurso por día en segundos/unidad

17

Es importante recalcar que cada estación tiene su propia unidad de salida. Por ejemplo, la estación G003 EKOFA produce kilogramos. Por ende, su unidad de medida de tiempo de ciclo es en segundos/kg. De igual manera para las estaciones de troquelado, las cuales manejan planas, más no unidades ni kilogramos.

Posteriormente, se realiza una medición inicial en cada estación para determinar cuántas observaciones se necesitan para tener una muestra estadísticamente representativa del tiempo de ciclo de cada estación. Los resultados se pueden apreciar en la Tabla 7.

Tabla 7

Fragmento de 6 estaciones en las se realizaron un muestreo inicial

G003	G004	G006	G008	G009	G010	G011
EKOFA	TROQ. PUNCHING FEIDA	TROQUELAD ORA DAKIOU PY-1200	TROQ. AUTO STRIP	FORM. RUIDA 100A / DP 4oz / 8oz/ 12oz	FORM. RUIDA RD- LB120- 3600A/ 4 oz	FORM. RUIDA 100A /T.R. 4oz / 8oz
0.08	1.03	0.97	1.623	0.88	0.98	1.19
0.1	0.94	0.95	1.665	0.8	0.92	1.14
0.06	0.89	0.97	1.773	0.82	0.88	1.09
0.06	0.95	0.9	1.752	0.81	0.96	1.03
0.03	0.92	0.99	1.693	0.81	0.95	0.99
0.09	0.9	0.97	1.769	0.74	0.86	1.01
0.05	0.93	1.12	1.753	0.8	0.93	1.1
0.09	1.05	0.95	1.766	0.8	0.98	1.06
0.05	1.03	0.94	1.683	0.78	0.92	0.97
0.07	1	0.98	1.706	0.79	0.83	1.1
0.07	0.92	0.97	1.693	0.86	0.92	1.17
0.07	0.98	1.03	1.796	0.83	0.95	1.12
0.06	0.91	1	1.785	0.85	0.95	1.18
0.08	0.99	0.86	1.66	0.81	0.96	1.04
0.06	1.03	0.92	1.656	0.82	0.94	1.05
0.09	1.05	0.86	1.756	0.85	0.87	1.04
0.09	0.98	0.84	1.721	0.85	0.85	1.04
0.08	0.95	0.97	1.658	0.86	0.97	1.09
0.09	0.92	0.88	1.653	0.8	0.89	0.98
0.1	0.91	0.87	1.68	0.87	0.88	1.15
0.08	1.02	0.86	1.701	0.84	0.98	1.11
0.11	0.95	0.89	1.689	0.8	0.85	1.03
0.07	0.96	1.08	1.675	0.81	0.87	1.08
0.08	0.98	0.88	1.677	0.81	0.86	1.17
0.06	1	1.03	1.676	0.9	0.84	1.01
0.09	0.92	1.03	1.734	0.87	0.84	1.13
0.11	0.96	1.05	1.759	0.82	0.88	1.09
0.06	0.92	1.09	1.774	0.84	0.81	1.15
0.06	1	1.1	1.748	0.81	0.88	1.09

A partir del muestreo inicial, se procede a determinar cuántas observaciones son necesarias por cada una de las estaciones para obtener una muestra representativa. Para esto, se utilizó la Tabla establecida por General Electric Company del Time Study Manual. Esto porque al tratarse de tantas estaciones y de tiempos de ciclo que no superan los 4 segundos, exceptuando las impresoras, es 100% seguro que el número de observaciones superaría las 150. Teniendo esto en cuenta, se procedió con la Tabla 8:

Tabla 8

Observaciones por tiempo de ciclo de General Electric Company

Tiempo de ciclo (minutos)	Número recomendado de ciclos
0.10	200
0.25	100
0.50	60
0.75	40
1.00	30
2.00	20
2.00-5.00	15
5.00-10.00	10
10.00-20.00	8
20.00-40.00	5
40.00 o más	3

Fuente: Información tomada de *Time Study Manual* de los Eric Works de General Electric Company, desarrollados bajo la guía de Albert E. Shaw, gerente de administración del salario.

Se determina para todas las estaciones que tienen un tiempo de ciclo en segundos que el número de muestras a observar es de 200 para cada estación. En el caso de las 2 impresoras, este valor se reduce a 3, debido a que son procesos que duran mínimo 1 hora.

Las muestras se realizaron durante el turno del día antes de las 12 de la tarde. Luego del muestreo, se obtuvo la Tabla 9 de datos muestrales:

Tabla 9

Fragmento de la base de datos muestrales

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
	G004			G006			G008			G009			G010		
	TROQ. PU	SEG/UND	MUESTRA	TROQUEL	SEG/UND	MUESTRA	TROQ. AU	SEG/UND	MUESTRA	FORM. RU	SEG/UND	FORM. RU	SEG/UND	MUESTRA	
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7	37966.46	0.09		3772.01	0.95	0.92	2349.48	153	0.99						
8	42342.61	0.09		3216.44	1.12	0.90	3333.33	108	0.97						
9	38384.46	0.09				0.93	3772.13	0.95	1.12						
10	38076.62	0.09		8033.74	0.45	1.05	3178.47	1.13	0.95						
11	39667.87	0.09		4195.42	0.86	1.03	3458.37	1.04	0.94						
12				3790.08	0.95	1.00	3473.13	1.04	0.98						
13						0.92			0.97						
14	46903.25	0.08		3934.37	0.92	0.96	3915.97	0.94	1.03						
15	46422.08	0.08		4625.87	0.79	0.91	3763.79	0.96	1.00						
16				3605.55	1.00	0.99	3403.94	1.06	0.96						
17				1514.42	2.38	1.03	3544.67	1.02	0.92						
18				3057.05	1.18	1.05	3701.44	0.97	0.96						
19						0.98	3315.19	1.09	0.84	6000.00	0.60	2467.18	1.46	1.72	
20						0.95			0.97	2268.75	1.59			1.66	
21				5056.82	0.71	0.92			0.88	2586.08	1.39	2177.33	1.65	1.65	
22	39541.43	0.09		3958.48	0.91	0.91			0.87	8335.00	0.43	1907.57	1.89	1.68	
23				3854.05	0.93	1.02	3191.45	1.13	0.86			2014.65	1.79	1.70	
24				3624.73	0.99	0.95			0.89			2266.33	1.59	1.69	
25	96957.03	0.04		4027.03	0.89	0.96	4215.32	0.85	1.08	1892.94	1.90	1528.84	2.35	1.68	
26	41151.42	0.09				0.98	4154.71	0.87	0.88					1.68	
27						1.00			1.03					1.68	
28	39834.54	0.09		4093.52	0.88	0.92	2809.06	1.28	1.03	3368.10	1.07	2313.37	1.56	1.73	
29	39467.19	0.09		3697.37	0.97	0.96	5507.46	0.65	1.05	2896.07	1.24	2533.00	1.42	1.76	
30	38225.85	0.09		3078.93	1.17	0.92	3451.75	1.04	1.09	3414.03	1.05	2617.18	1.38	1.77	
31	56361.69	0.06		4259.39	0.85	1.00	3385.00	1.06	1.10	3996.92	0.90	2033.77	1.77	1.75	
32	27116.86	0.13		3856.79	0.93	0.94			0.96	4084.03	0.88	2047.49	1.76	1.75	
33	49620.25	0.07		3716.36	0.97	1.00			0.97					1.79	
34														1.76	

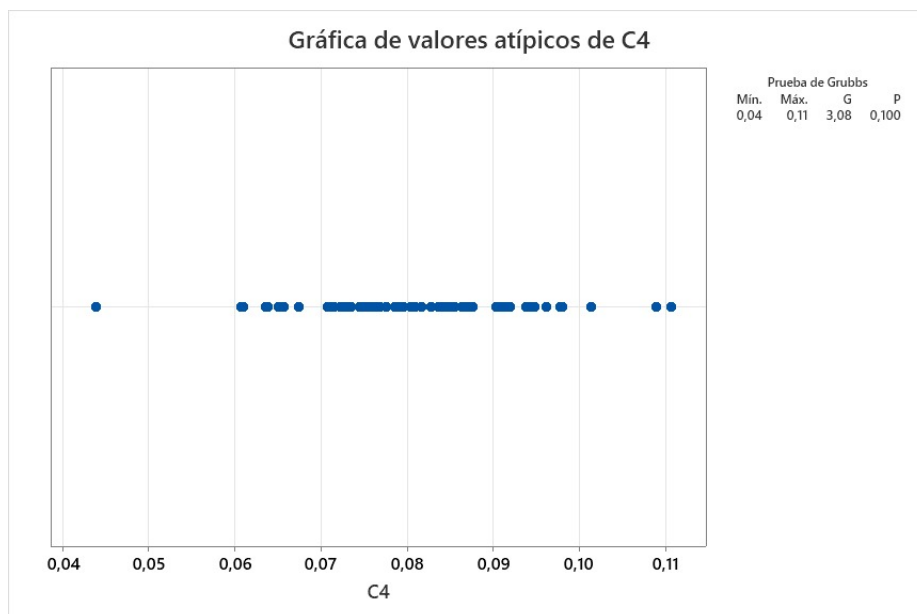
En la tabla 9, se coloca cada dato muestral junto a los datos extraídos del sistema SAP para tener los datos en una sola base de datos combinada.

Una vez obtenidos los datos necesarios, es necesario hacer una limpieza de estos, como también evaluar si cumplen los requisitos necesarios para nuestro futuro análisis estadístico.

Se debe eliminar todo dato atípico o aberrante que exista, no solo en los datos extraídos del sistema de producción, sino también los que fueron tomados en el proceso de muestreo. La razón detrás de esto es evitar que exista un sesgo en la información obtenida y por ende que los resultados no sean válidos.

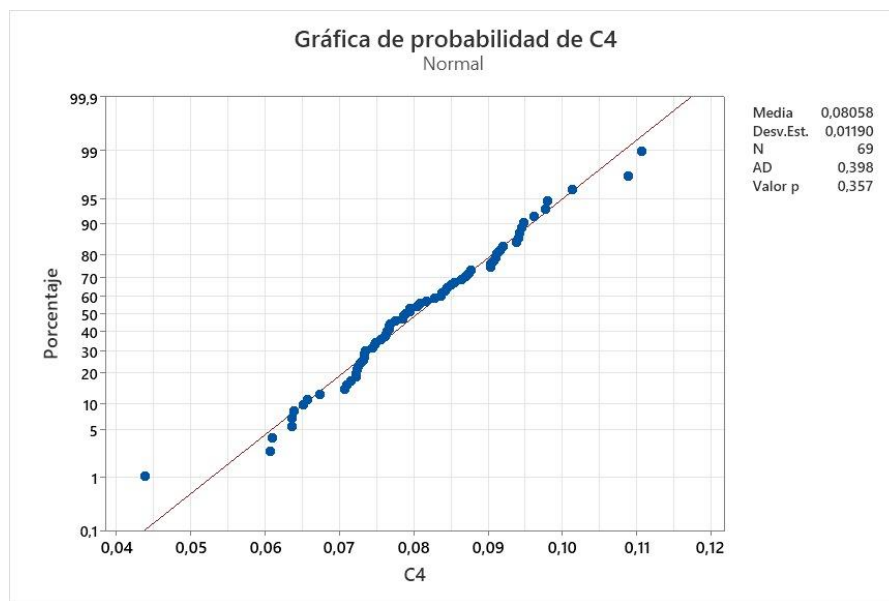
Para cumplir este objetivo se procede a utilizar el Test de Grubbs, junto con un nivel de significancia del 95%, para los datos de cada estación, tanto muestral como histórico, hasta eliminar todo dato fuera de lo normal. Para facilitar este proceso, y la aplicación de otras herramientas estadísticas, se utiliza el software Minitab 19. En la Figura 3 se expone como ejemplo la máquina G004:

Figura 3
Test de valores atípicos máquina G004



Adicionalmente, es importante determinar si los datos cumplen el requisito de normalidad. Para esto, se utiliza el test de Anderson-Darling con un nivel de confianza del 95% para determinar si los datos siguen una distribución normal. En la Figura 4 se expone el resultado del test para la estación G004 como ejemplo:

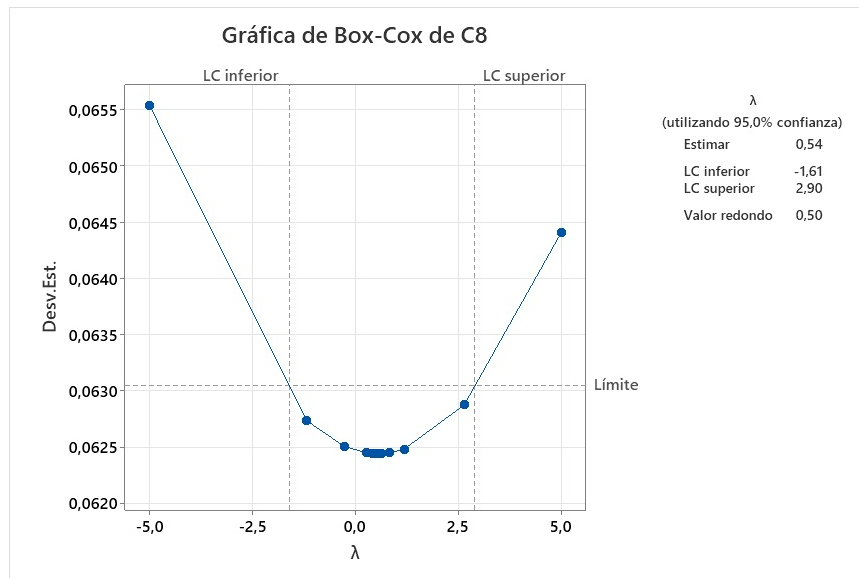
Figura 4
Test de Anderson-Darling recurso G004



Como se puede en la Figura 4, parte de los datos superan esta prueba satisfactoriamente, sin embargo, existen otros casos, como el del recurso G043, en donde la prueba falla y se rechaza la hipótesis nula, determinando así que los datos son no normales. Como estos datos no pueden pasar al análisis final en el estado en el que se encuentran, se debe buscar una manera de cumplir el supuesto de normalidad, pero conservando la naturaleza intrínseca de los datos. Considerando este contexto, se aplica la Transformación de Box-Cox para corregir estos datos y convertirlos en normales. En la Figura 5 se evidencia un ejemplo de cómo se alcanzó este objetivo satisfactoriamente para el caso de la G008 en particular:

Figura 5

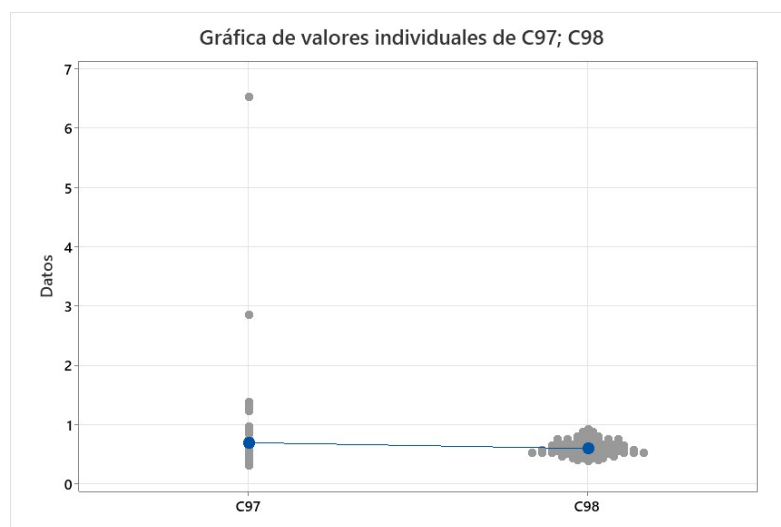
Transformación de Box-Cox para datos del recurso G008



Una vez constatado que los datos no contienen datos atípicos y a su vez siguen una distribución normal, podemos finalmente realizar una comparación entre los datos históricos y los muestrales para determinar si existe una diferencia significativa entre ambos grupos de datos. Para cumplir este objetivo, se utiliza la Prueba t de Medias y así determinar si los datos que se desean utilizar realmente pueden servir para el objetivo de este proyecto. A continuación, se exponen los resultados de la prueba para el recurso G110:

Figura 6

Test de t para diferencia de medias en el recurso G110



Los resultados indican que los datos obtenidos desde el sistema no se diferencian significativamente de los datos obtenidos por muestreo, por lo que se determina que los datos obtenidos luego de la limpieza de datos atípicos pueden ser utilizados para el desarrollo del proyecto.

2.8. Dimensiones

La simulación debe representar con precisión al proceso actual, por lo tanto, se necesita tener en cuenta las dimensiones del entorno en donde se da el proceso. Para esto, se requiere obtener las dimensiones de los siguientes objetos claves: Dimensiones de la planta de producción

- Dimensiones de cada máquina
- Dimensiones de los pallets
- Dimensiones de los cartones para el empaquetado final
- Dimensión de racks

2.8.1. Máquinas

Para determinar las dimensiones de cada máquina, se procedió a realizar mediciones in-situ. Es importante aclarar que cada máquina tiene un contorno irregular, por lo que debido a las limitaciones que presenta el software de simulación FlexSim 2022, en donde solo acepta ancho, altura y profundidad, la toma de medidas de cada máquina se realizará simulando que esta estuviera cubierta en su totalidad por un bloque rectangular. En la Figura 7 se observa uno de los recursos:

Figura 7

Dimensiones máquina formadora G112



2.8.2. Pallets

En el área de producción se utilizan pallets con diferentes objetivos, como lo es mover material en proceso, producto final empaquetado, planas para impresión o troquelado o bobinas de papel para troquelado.

Para la mayoría de estos movimientos se utiliza un pallet estándar, siguiendo el formato europeo de medidas 1.2 m x 0.8 m, pero en el caso de los pallets que se usan en el área de Impresión Offset, junto con el recurso G083, estos llegan a ser más pequeños, midiendo la mitad del lado más largo dl pallet europeo. Es decir, 0.6 m x 0.8 m como se observa en la Figura 8:

Figura 8

Dimensiones de pallets en planta



2.8.3. Cartones

Es importante identificar las dimensiones de los cartones en donde va a ser empaquetado el producto terminado, pues al final del proceso, el espacio que ocupa el producto terminado como unidad no es el mismo a cuando este es empaquetado. A su vez, el transporte y el peso a levantar también cambian, por lo que es determinante considerar este aspecto dentro de la simulación.

Por otro lado, no todos los productos son empaquetados en el mismo cartón con las mismas medidas. Por ende, se debe determinar antes las medidas del empaque para cada producto. Para esto, se plantea realizar un Pareto y con ello determinar qué productos representan el 80% de las ventas de la organización. La razón de obtener un grupo de productos es el trabajo que implicaría el considerar todos los productos, ya que la empresa maneja alrededor de 873 SKU. Para reducir la carga de trabajo. Utilizando este recurso, no solo se reduce la carga de trabajo, sino también se asegura la elección de un grupo de productos de alta significancia. Con esto, la propuesta de mejora se encamina a impactar positivamente en un punto crucial para la empresa, que son las ganancias.

Utilizando los informes de ventas disponibles en el sistema SAP de la empresa, se procede a realizar el respectivo análisis de Pareto, como se observa en la Tabla 10:

Tabla 10

Regla de Pareto aplicada a ventas por producto

ItemCode	Description	Suma de GTotalsC	Porcentaje	Porcentaje acumulad
07DBF071501	VASO BEBIDA FRÍA 12 OZ NEGRO KFC ARTE 2024 (F)	196624.16	0.083547701	8.35%
07DBT073501	BUCKET 130 OZ KFC 2024 (P)	85330.6	0.036257882	11.98%
07DBF071501	VASO BEBIDA FRÍA 12 OZ COCA COLA SIN AZÚCAR (F)	64132.68	0.035774367	15.56%
07DBU073501	BUCKET 130 OZ SUPERONES 2025 (P)	74836.02	0.031798623	18.74%
07DBF071501	VASO BEBIDA FRÍA 12 OZ NEGRO KFC ARTE 2024 (P)	59383.14	0.025232529	21.26%
07DAB08490	PORTAVASOS DESPRENDIBLE 2024 SIN IMPRESIÓN	57925.46	0.024613145	23.72%
07DBF071931	VASO BEBIDA FRÍA 16 OZ MC DONALDS - NUEVO ARTE 2022 (F)	53104.24	0.022564558	25.98%
07DDW07170	VASO BEBIDA CALIENTE DOBLE PARED 12 OZ LISTO! 2025	48686.4	0.02068737	28.05%
07DEM07550	CAJITA FELIZ MCDONALDS - NUEVO ARTE 2022 (F)	46312.86	0.019678828	30.02%
07DBT073301	MINI BUCKET 44 OZ KFC (P)	44542.56	0.018926609	31.91%
07DBF072201	VASO BEBIDA FRÍA 22 OZ NEGRO KFC ARTE 2024 (F)	42033.42	0.017860448	33.69%
07DBF111300	VASO BEBIDA FRÍA 12 OZ MCDONALDS OPTIMIZADO (F)	36257.2	0.015406071	35.23%
07DTA072901	TARRINA 8 OZ LA TABLITA NARANJA - ARTE 2024	36187.99	0.015376663	36.77%
07DBF072201	VASO BEBIDA FRÍA 22 OZ MC DONALDS - NUEVO ARTE 2022 (F)	35915.42	0.015260845	38.30%
07DBT073601	BUCKET 170 OZ KFC (P)	34041.16	0.014464452	39.75%
07DBF071991	VASO BEBIDA FRÍA 16 OZ COCA COLA ZERO AZÚCAR (F)	23943.7	0.012723397	41.02%
07DBF071991	VASO 16 OZ BEBIDA FRÍA - PROMO MIECRAFT 2025 (F)	27507.77	0.011688345	42.19%
07DBF099601	VASO BEBIDA FRÍA 7.25 OZ CHIVERIA V3 (2160 U) (F)	27384.32	0.011635889	43.35%
07DEM074101	CAJA 1/4 DE LIBRA CON QUESO MCDONALDS DT - ARTE 2024 (F)	26453.81	0.011240506	44.47%
07DEM074101	PAPA GRANDE MCDONALDS - NUEVO ARTE 2022 (F)	25642.24	0.010895661	45.56%
07DSB106301	SORBETE DE PAPEL 8MMX16 CM BLANCO Y CELESTE CON ENVOLTORIO LOGO CHIVERIA (4392 UNIDADES)	24485.09	0.010403976	46.60%
07DEV107001	ENVASE PARA CONGELADO 300 ML ARTICO COOKIES & CREAM	24171.63	0.010270783	47.63%
07DTE020801	TAPA PAPEL BEBIDA FRÍA 16/22 OZ MCDONALDS SIN IMPRESIÓN (1000 U) APILABLE - PERFORACIÓN EN	24092.31	0.010237079	48.65%
07DEV107001	ENVASE PARA CONGELADO 300 ML ARTICO CHOCOLATE	23740.49	0.010087587	49.66%
07DEV107001	ENVASE PARA CONGELADO 300ML ARTICO DULCE DE LECHE	22891.28	0.009726749	50.64%
07DBF099601	VASO BEBIDA FRÍA 7.25 OZ CHIVERIA V3 (2160 U) (P)	22377.83	0.009500579	51.59%
07DTE098901	TAPA PAPEL BEBIDA FRÍA 8/12 OZ SIN IMPRESIÓN (1000 U) APILABLE - PERFORACIÓN EN X (F)	22214.68	0.009439254	52.53%
07DBF071501	VASO BEBIDA FRÍA 12 OZ PEPSI PIZZA HUT ECU 2024	20585	0.008746786	53.41%
07DTP073301	TAPA DE PAPEL 300 ML / 1LT CURVING ARTICO COOKIES & CREAM	19904.78	0.008457753	54.25%
07DDW070901	VASO BEBIDA CALIENTE DOBLE PARED 8 OZ MC CAPE - ECU	19357.95	0.008225399	55.07%

Se observa en la Tabla 10 que hasta el producto vaso bebida fría 12 oz mc flurry mcdonalds optimizado - promo signature by jr (f) se obtiene el 80% de las ventas de la empresa, en 83 SKU.

Al utilizar la base de datos de materiales que consume cada producto disponible en SAP, por cada una de las 29 subfamilias con su respectiva dimensión de empaque y cuántas unidades entran en cada uno de estos cartones, como se observa en la Tabla 11

Tabla 11

Unidad de Empaque por cartón por artículo

Código de	Grupo de un	Número de artículo	Descripción del art	Unidad de	Cantidad	Unidad de
PTD12	600	07DAB07650003	BANDEJA CUADRADA CARTON		600 UN	
PTD12	600	07DAB07650003	BANDEJA CUADRADA CARTON		600 UN	
PTD21	2500	07DBF07150114	VASO BEBIDA FRÍA 12 CARTON		2,500.00 UN	
PTD21	2500	07DBF07150114	VASO BEBIDA FRÍA 12 CARTON		2,500.00 UN	
PTD21	2500	07DBF07150114	VASO BEBIDA FRÍA 12 CARTON		2,500.00 UN	
PTD21	2500	07DBF07150118	VASO BEBIDA FRÍA 12 CARTON		2,500.00 UN	
PTD21	2500	07DBF07150118	VASO BEBIDA FRÍA 12 CARTON		2,500.00 UN	
PTD21	2500	07DBF07150118	VASO BEBIDA FRÍA 12 CARTON		2,500.00 UN	
PCK12	36	07DBF08210001	PACK VASO BEBIDA F CARTON		36 PACK	
PCK12	36	07DBF08210001	PACK VASO BEBIDA F CARTON		36 PACK	
PCK12	36	07DBF08230001	PACK VASO BEBIDA F CARTON		36 PACK	
PCK12	36	07DBF08230001	PACK VASO BEBIDA F CARTON		36 PACK	
PCK12	36	07DBF08230001	PACK VASO BEBIDA F CARTON		36 PACK	
PTD116	2160	07DBF09960019	VASO BEBIDA FRÍA 7.25 CARTON		2,160.00 UN	
PTD116	2160	07DBF09960019	VASO BEBIDA FRÍA 7.25 CARTON		2,160.00 UN	
PTD122	1600	07DBF11130004	VASO BEBIDA FRÍA 12 CARTON		1,600.00 UN	
PTD122	1600	07DBF11130004	VASO BEBIDA FRÍA 12 CARTON		1,600.00 UN	
PTD122	1600	07DBF11130004	VASO BEBIDA FRÍA 12 CARTON		1,600.00 UN	
PTD04	150	07DBT02020001	BUCKET 170 OZ KFC + CARTON		150 UN	
PTD04	150	07DBT02020001	BUCKET 170 OZ KFC + CARTON		150 UN	
PTD04	150	07DBT02020001	BUCKET 170 OZ KFC + CARTON		150 UN	

2.8.4. Planta de Producción

Un aspecto importante que considerar, tanto para la simulación como para la propuesta de solución, es el área o espacio disponible en el que se puede trabajar. Por ello, se requiere conocer las dimensiones reales de la planta de producción.

Se tiene un plano en AutoCAD levantado a finales del 2024, en donde está construido el complejo empresarial con sus medidas reales. Por este motivo se realizó un recorrido en la planta para verificar la información del plano proporcionado. Se pueden apreciar las instalaciones en las Figuras 9 y 10.

Figura 9

Zona de formado



Figura 10
Zona de Despacho



2.8.5. Racks

Un aspecto importante para la elaboración de la simulación de la línea de producción es la exactitud con la que se realiza la misma. Para esto, se debe tener en cuenta las dimensiones de los racks y con esto no solo tener noción del espacio que este ocupa, sino conocer la capacidad de almacenamiento que tiene la empresa.

Para esto, se procedió a medir con la ayuda de un flexómetro el espacio que existe entre pilar y pilar de los racks, la altura de cada posición y el alto y ancho total de cada conjunto de racks, como se observa en la Figura 11.

Figura 11

Estándar de racks utilizados en la empresa



Como resultado, se obtuvo que cada posición mide aproximadamente 2.12 x 2.20 metros, con una altura de 6 metros y un largo de 30 metros, por lo que obtenemos un total de 192 posiciones por cada fila de racks.

2.9. Distancia Transitable entre Estaciones

Para evidenciar la reducción efectiva de la distancia entre estaciones, se debe conocer de antemano la distancia inicial transitable que existe entre cada estación que sirve para alimentar a la subsecuente.

Para obtener esta data se hizo uso del plano en el software AutoCAD para poder trazar, siguiendo solamente líneas rectas, cuánta era la distancia entre cada estación. Cada uno de estos datos fueron recopilados en la Tabla 12:

Tabla 12*Regla de Pareto aplicada a ventas por producto*

Área Origen ▼	Área Destino ▼	Distancia de Recorrido (metros) ▼
Bodega MP	Impresión Flexográfica	71.63
Bodega MP	Convertidora	25
Bodega MP	Ribeteadora	33.02
Convertidora	Impresión Offset	39.17
Ribeteadora	Convertidora	1.23
Ribeteadora	Impresión Flexográfica	43.19
Impresión Flexográfica	Troquelado (Bobinas)	30.32
Impresión Offset	Troquelado (Planas)	32.23
Troquelado (Bobinas)	Descarnado	49.74
Troquelado (Bobinas)	Formado	58.67
Troquelado (Planas)	Descarnado	38.16
Troquelado (Planas)	Formado	56.08
Formado	Bodega PT	69.42

2.10 Flujo de Estaciones por SKU

La empresa objeto de este proyecto maneja varias líneas de producción con recursos transformadores compartidos. Quién dicta por qué recursos un producto debe pasar para ser transformado son las características del producto. Dependiendo de la subfamilia a la que pertenezca un producto deberá ir por una ruta establecida para ese producto.

Esta información es clave no solo para determinar la eficiencia de los cambios que se van a realizar, sino también para programar el simulador y que este muestre la forma correcta y real en la que la empresa opera.

Estos datos fueron obtenidos del sistema SAP de la empresa. Dentro de dicho sistema se encuentran establecidas las rutas o máquinas por las que cada producto debe pasar para ser fabricado.

Por medio de Excel, se filtraron las subfamilias de productos que representaban el 80% de las ventas de la empresa, siguiendo así la fabricación de productos a simular establecida en el apartado de las dimensiones de los empaques, como se observa en la Tabla 13.

Tabla 13

Ruta por subfamilia de producto

SUBFAMILIA	RIBETEAD	CONVERSIC	IMPRESIÓN	IMPRESIC	SERVICIO EXTERNO (IMPR)	SERVICIO EXTERNO	SERVICIO EXTER	SERVICIO EXTERNO (I)	SERVICIO EXTER	TROQUEL	DESCARNA	FORMAD
BUCKET 44 OZ				G003						G006	G084	G115
BUCKET 44 OZ				G003						G112		G115
BUCKET 44 OZ	G080	G061			G069						G084	G115
BUCKET 44 OZ	G080	G061			G069						G084	G115
BUCKET 44 OZ										G006	G084	G115
BUCKET 44 OZ										G112		G115
BUCKET 44 OZ+ LINNER	G080	G061	G083							G081	G084	G115
BUCKET 44 OZ+ LINNER	G080	G061	G083							G082	G084	G115
BUCKET 44 OZ+ LINNER				G003						G112		G115
BUCKET 64 OZ KFC MX	G080	G061	G083							G081	G084	
BUCKET 64 OZ KFC MX	G080	G061	G083							G082	G084	
BUCKET 73 OZ MX				G003						G006	G084	
BUCKET 73 OZ MX				G003						G112		
BUCKET 73 OZ MX	G080	G061	G083				G067			G081	G084	
BUCKET 73 OZ MX	G080	G061	G083				G067			G082	G084	
BUCKET 85 OZ	G080	G061	G083				G067			G081	G084	G115
BUCKET 85 OZ	G080	G061	G083				G067			G082	G084	G115
BUCKET 85 OZ				G003						G006	G084	G115
BUCKET 85 OZ				G003						G112		G115
BUCKET 85 OZ				G003						G006	G084	G115
BUCKET 85 OZ				G003						G112		G115
BUCKET 85 OZ+ LINNER	G080	G061	G083				G067			G081	G084	G115
BUCKET 85 OZ+ LINNER	G080	G061	G083				G067			G082	G084	G115
CAJA CHINA ARMABLE 40 X 28. G080	G080	G061						G063		G081	G054	G040
CAJA CHINA ARMABLE 40 X 28. G080	G080	G061			G069						G054	G040
CAJA CHINA ARMABLE 40 X 28. G080	G080	G061						G063		G082	G054	G040

Capítulo 3

3. ANALIZAR Y DISEÑAR

Una vez recopilada y analizada toda la información necesaria, se procede con la etapa de creación y diseño de las diferentes opciones de distribución que el cliente puede elegir para implementar. Cada opción debe poseer su conjunto de características únicas y su diseño debe ser coherente y justificado.

3.1. Opción 1

Esta primera opción evalúa la posibilidad de poder realizar un recorrido/flujo de materiales en U para que las distancias de desplazamiento sean acortadas y los desplazamientos innecesarios sean eliminados.

Para ello, se propone utilizar todo el espacio disponible en el área de bodega, pues al ser un básicamente un cuadrado, se pueden ubicar los diferentes en forma de U como se propone inicialmente. Las áreas a movilizar son:

- Bodega de Materia Prima
- Ribeteado
- Conversión
- Impresión Flexográfica
- Impresión Offset
- Troquelado

En este caso, el área de Formado y Descarnado solo requieren de un desplazamiento mínimo para dar espacio a lo que será la nueva área de Bodega de Producto Terminado. Se hace referencia al Anexo 2 para evidenciar visualmente las diferencias en la distribución de las máquinas planteada en este apartado, al compararlo con el Anexo 1 Layout Inicial.

3.1.1. Análisis Financiero

Esta opción considera el movimiento de 12 máquinas de manera significativa, pues para el caso de las máquinas de formado el único movimiento que se debe realizar es de menos de 10 metros en una sola dirección nivelada y sin obstáculos.

En conversación con el equipo de mantenimiento, se prevé que este movimiento involucre una pérdida de 9 días en realizar estos movimientos de maquinaria, pues la conexión necesaria y las adecuaciones para el equipo se deberían realizar antes de ejecutar los movimientos de los equipos. Para tener un margen de holgura, se considerarán 12 días para realizar este trabajo.

Por otro lado, usando los mismos datos de ventas utilizados en la sección de Medir, se determina que, al día, en promedio, se producen \$65,163 dólares en productos para venta. De estos productos, un 25% son los que se verán afectados por la maquinaria que se va a mover y tendrán que incurrir en pérdida de tiempo de producción, por lo que este valor debe considerarse.

Además, se considerarán 280 días laborables en el año, sacando del conteo los feriados y los fines de semana, junto con un aumento esperado en la producción del 8% sobre la utilidad generada por la empresa.

Con estos datos se determina:

Producción Perdida (en dólares): $\$65,163 \times 0.25$

Producción Perdida (en dólares): \$16,290.75 diarios

Producción Perdida (en dólares): $\$16,290.75 \times 12 = \$195,489$ en movimientos

En conjunto con el equipo de mantenimiento, también se determinaron todas las adecuaciones necesarias para poder poner en operación tanto la impresora nueva como también las máquinas que serán movidas. Para este concepto, si considera también las máquinas de formado, pues las instalaciones eléctricas, aire comprimido y demás cambiarán así sea por el más mínimo cambio en la posición de la máquina.

En la Tabla 14 se enlista no solo las cantidades a tomar en cuenta, sino también el concepto por el cual se genera el monto:

Tabla 14

Montos a incurrir por movimiento de maquinaria

Concepto	Monto (USD)
Adecuaciones eléctricas	\$50,000
Red de Aire Comprimido	\$18,000
Cerramiento de áreas de impresión	\$30,000
Imprevistos (15%)	\$14,700
TOTAL	\$112,700

Con base a los datos indicados anteriormente, los beneficios anuales esperados serían los siguientes:

Ingresos Anuales: $\$65,163 \times 280 \text{ días}$

Ingresos Anuales: \$18,245,640

De estos ingresos anuales, por lo general las empresas suelen recabar alrededor del 40-45% en utilidades. En esta ocasión se considerará que la empresa tendrá el 40% de utilidades sobre su ingreso anual, obteniendo:

Utilidad Neta Anual: $\$18,245,640 \times 0.40$

Utilidad Neta Anual: \$7,298,256

Finalmente, se prevé una mejora en ventas del 8%, obteniendo así:

Utilidad Anual Extra Esperada: $\$7,298,256 \times 0.08$

Utilidad Anual Extra Esperada: \$583,860

3.1.2. TIR (Tasa Interna de Retorno) y VAN (Valor Actual Neto)

Para medir la rentabilidad del proyecto se utiliza el TIR y el VAN. En este caso, con base a las cifras anteriores se obtiene los siguientes resultados:

$$\text{TIR} = \left(\frac{\text{Mejora Esperada}}{\text{Inversión Inicial}} - 1 \right) \times 100$$

$$\text{TIR} = \left(\frac{\$583,860}{\$308,189} - 1 \right) \times 100$$

$$\text{TIR} = 89.4\%$$

El proyecto generaría un retorno del 89.4% sobre la inversión en apenas el primer año, siendo más exactos, en 6 meses.

Con respecto al VAN, con una tasa de descuento del 10% por inflación y considerando los futuros ingresos de la empresa:

$$\text{VAN} = \frac{\$583,860}{1.1} + \frac{\$583,860}{1.21} + \frac{\$583,860}{1.331} + \frac{\$583,860}{1.4641} + \frac{\$583,860}{1.61051} - \$308,189$$

$$\text{VAN} = \$2,213,749 - \$308,189$$

$$\text{VAN} = \$1,905,560$$

Esta opción de layout con 9 máquinas y 12 días de paro parcial representa una inversión inicial de \$308,189, con una proyección de utilidades anuales de \$583,860 por mejora del 8% en la productividad, considerando un margen de utilidad del 40%. Con este análisis, queda demostrado que el proyecto presenta una alta rentabilidad y recuperación rápida de la inversión, siendo viable y resultando así conveniente para el cliente.

3.2. Opción 2

Así como la primera opción, se evalúa la posibilidad de poder realizar un recorrido/flujo de materiales en U para que las distancias de desplazamiento sean acortadas y los desplazamientos innecesarios sean eliminados.

Para ello, se propone utilizar todo el espacio disponible en el área de bodega, pues al ser un básicamente un cuadrado, se pueden ubicar los diferentes en forma de U como se propone inicialmente. La diferencia radica en la adición del área de Descarnado al conjunto de área movilizadas hacia la antigua área de bodega.

En este caso, el área de Formado pasaría a ser la única área que requiere de un desplazamiento mínimo para dar espacio a lo que será la nueva área de Bodega de Producto Terminado, habilitando así más espacio para futuro crecimiento y adquisición de nuevas máquinas formadoras y por ende un aumento en la capacidad de producción. Se hace referencia al Anexo 3 para evidenciar visualmente las diferencias en la distribución de las máquinas planteada en este apartado, al compararlo con el Anexo 1 Layout Inicial.

3.2.1. *Análisis Financiero*

La segunda opción propuesta considera el movimiento de 12 máquinas igual que la opción 1, sin embargo, en esta opción, el movimiento es mucho mayor y la distancias con su posición inicial es significativa. Esto aumenta el tiempo y los recursos necesarios para realizar las adecuaciones para el correcto funcionamiento de los equipos. Se estima que se necesitan 20 días para realizar estos movimientos con 3 días de holgura.

Con base a los datos anteriores se calcula la pérdida de producción en dólares:

Producción Perdida (en dólares): $\$65,163 \times 0.25$

Producción Perdida (en dólares): $\$16,290.75$ diarios

Producción Perdida (en dólares): $\$16,290.75 \times 20 = \$325,185$ en movimientos

En conjunto con el equipo de mantenimiento, se determinan las adecuaciones necesarias para poner en funcionamiento tanto la impresora nueva como también las máquinas que serán movidas. Los costos son mayores que en la Opción 1 debido a la distancia que existe entre las centrales de aire comprimido y generador eléctrico con los nuevos puntos de las máquinas, como se observa en la Tabla 15:

Tabla 15

Montos a incurrir por movimiento de maquinaria

Concepto	Monto (USD)
Adecuaciones eléctricas	\$65,000
Red de Aire Comprimido	\$25,000
Cerramiento de áreas de impresión	\$30,000
Imprevistos (15%)	\$14,700
TOTAL	\$134,700

Tomando en consideración las cifras especificadas en un inicio, tendríamos que en un año:

Ingresos Anuales: $\$65,163 \times 280 \text{ días}$

Ingresos Anuales: \$18,245,640

Considerando un 40% de utilidades para la empresa:

Utilidad Neta Anual: $\$18,245,640 \times 0.40$

Utilidad Neta Anual: \$7,298,256

Finalmente, se prevé una mejora en ventas del 9%, obteniendo así:

Utilidad Anual Extra Esperada: $\$7,298,256 \times 0.1$

Utilidad Anual Extra Esperada: \$656,843.04

3.2.2. TIR (Tasa Interna de Retorno) y VAN (Valor Actual Neto)

Para medir la rentabilidad del proyecto se utiliza el TIR y el VAN. En este caso, con base a las cifras anteriores se obtiene los siguientes resultados:

$$\text{TIR} = \left(\frac{\text{Mejora Esperada}}{\text{Inversión Inicial}} - 1 \right) \times 100$$

$$\text{TIR} = \frac{\$656,843.04}{\$459,885} - 1$$

$$\text{TIR} = 42.8\%$$

El proyecto generaría un retorno del 42.8 % sobre la inversión en apenas el primer año, siendo más exactos, en 7 meses.

Por otro lado, los resultados del VAN, asumiendo una tasa de descuento del 10% por inflación, y los futuros ingresos de la empresa:

$$\text{VAN} = \frac{\$656,843.04}{1.1} + \frac{\$656,843.04}{1.21} + \frac{\$656,843.04}{1.331} + \frac{\$656,843.04}{1.4641} + \frac{\$656,843.04}{1.61051} - \$459,885$$

$$\text{VAN} = \$2,213,749 - \$459,885$$

$$\text{VAN} = \$2,030,066.75$$

Esta opción de layout con 9 máquinas y 20 días de paro parcial representa una inversión inicial de \$459,885, con una proyección de utilidades anuales de \$656,843 por mejora del 9% en la productividad, considerando un margen de utilidad del 40%. Con este análisis, queda demostrado que esta opción presenta una rentabilidad media a corto plazo, pero una recuperación rápida de la inversión, siendo viable y resultando también conveniente para el cliente.

Capítulo 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.1 Simulación de los casos

Con los datos necesarios recopilados y la ayuda del software FlexSim, se lograron simular de manera exitosa los dos casos para la empresa que se requieren analizar: la situación actual y el proceso productivo optimizado después de las implementaciones de mejora del layout. Esto con la finalidad de comparar los dos casos y llegar a conclusiones correctas.

4.1.1 Simulación del modelo actual

El modelo actual se estructuró de tal manera que siguiera un flujo lo más parecido al que se mantiene en la actualidad. Factores como tiempos, distancias, dimensiones, número de personal y equipos mecánicos, se conservaron lo más apegado a la realidad para obtener resultados verídicos con un margen de error no significativo.

Figura 12

Simulación Actual

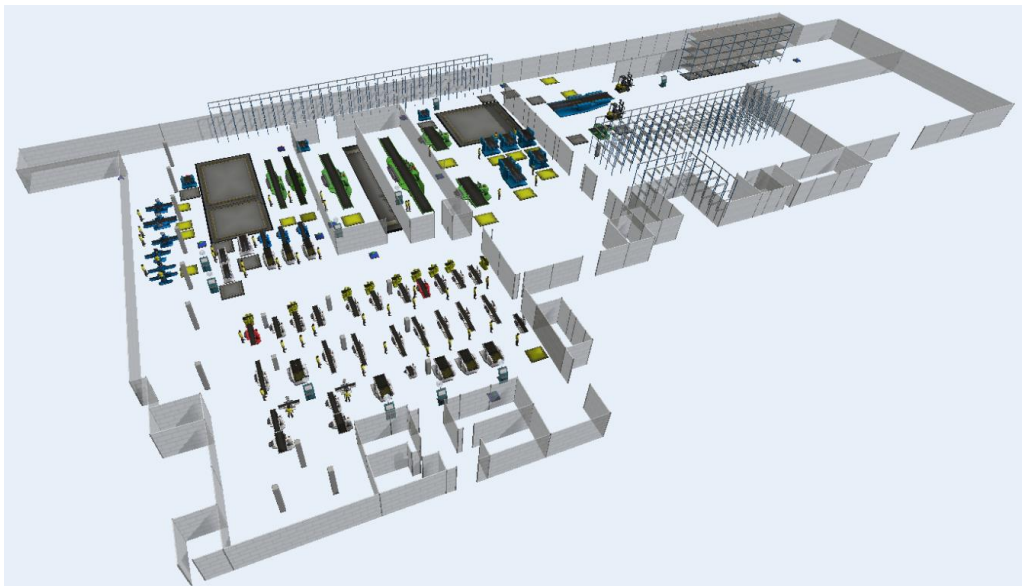


Figura 13

Resultados de la simulación actual

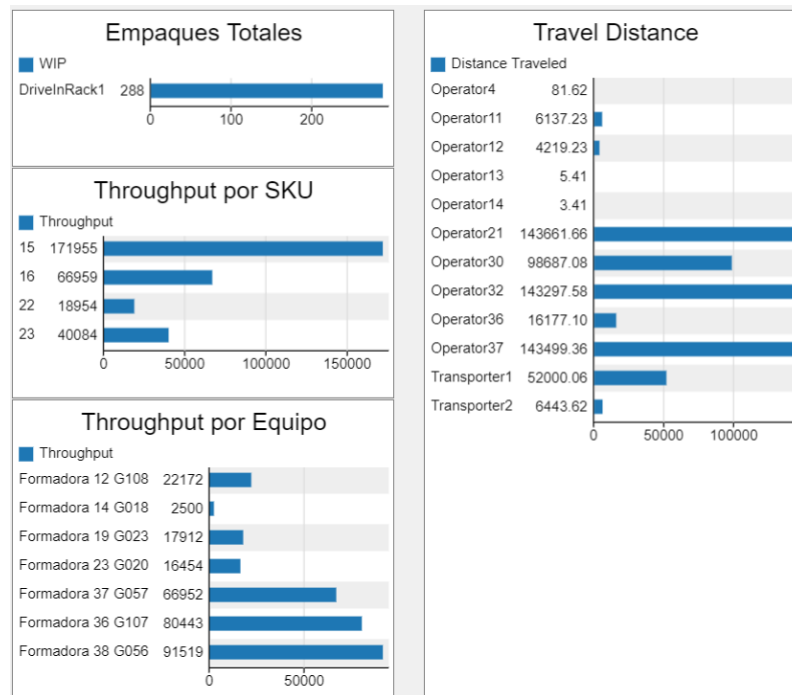


Figura 14

Referencia de SKU's y labels utilizados en la simulación

SUBFAMILIA	LABELS
BUCKET 130 OZ	1
BUCKET 44 OZ	2
CAJA NUGGETS POR 10	3
CAJA NUGGETS POR 6	4
CAJITA FELIZ	5
CLAMSHELL DE DESAYUNO (29.81 X 40.57 CM)	6
ENVASE 900 ML ECU	7
LONCHERA GRANDE	8
PLATO CUADRADO F115	9
PLATO RECTANGULAR F116	10
PORTA HAMBURGUESA EXTRA GRANDE (19.65 X 37.12 CM)	11
PORTA PAPA GRANDE	12
PORTA PAPA PEQUEÑO	13
PORTA VASO	14
TAPA DE PAPEL 12 OZ OPTIM / 16/22 OZ BF - TAPA PERFORACION EN X	15
TAPA DE PAPEL 8/12 OZ BF CON PERFORACION EN X	16
TARRINA 4 OZ	17
TARRINA 8 OZ	18
VASO 12 OZ BC DW	19
VASO 12 OZ BF	20
VASO 12 OZ BF OPTIMIZADO	21
VASO 16 OZ BF	22
VASO 22 OZ BF	23
VASO 4 OZ BC	24
VASO 4 OZ BF	25
VASO 7.25 OZ BF	26
VASO 8 OZ BC DW	27
VASO 9 OZ BC DW	28

Debido a la restricción técnica de capacidad requerida para simular un proceso tan complejo y amplio como el de una planta completa de manufactura, tanto el proceso actual como

el mejorado se analizaron en un estado de producción no estable sin warmup time (tiempo de calentamiento). Sin embargo, debido a la naturaleza de los procesos, igualdad de condiciones de las simulaciones y el tiempo establecido de la corrida (20 horas) se consideran datos válidos para el análisis de resultados.

Los resultados en la Figura 13 muestran un total de 288 empaques totales y 297.952 ítems de producto final repartidos en 4 SKU's diferentes en 7 equipos diferentes. Cabe recalcar que, debido a la falta de warmup time del proceso, no todos los 28 SKU's que ingresaron a la simulación pudieron procesarse para ser mostrados en los resultados. Adicionalmente, se observa una elevada distancia recorrida por los operarios, pero se descartaron los valores aberrantes que superan los 140 Km ya que estos se consideran errores de simulación al ser valores tan irreales aún para una simulación de un tiempo productivo no estable de 20 horas continuas. En este caso, 98 Km es el valor más alto registrado por un operario debido a extensas distancias entre estaciones de trabajo y almacenamiento de semielaborados.

4.1.2 Simulación del modelo propuesto

El modelo utilizado para la simulación mejorada fue el escogido dentro de las propuestas que se presentaron al cliente, el key customer en este caso. Después de presentar las mejoras estimadas junto a la inversión que conllevaría, se eligió el modelo presentado en la Figura 15:

Figura 15
Simulación del modelo propuesto

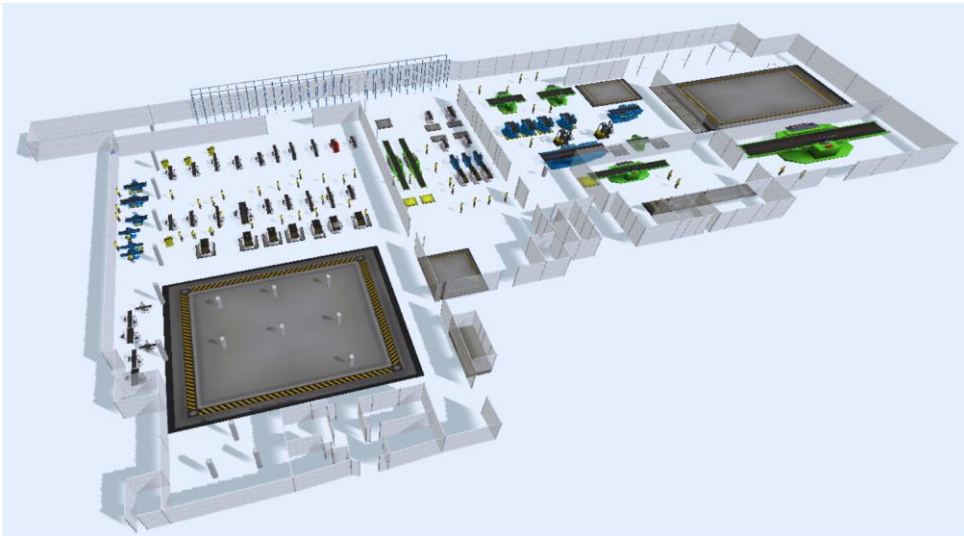
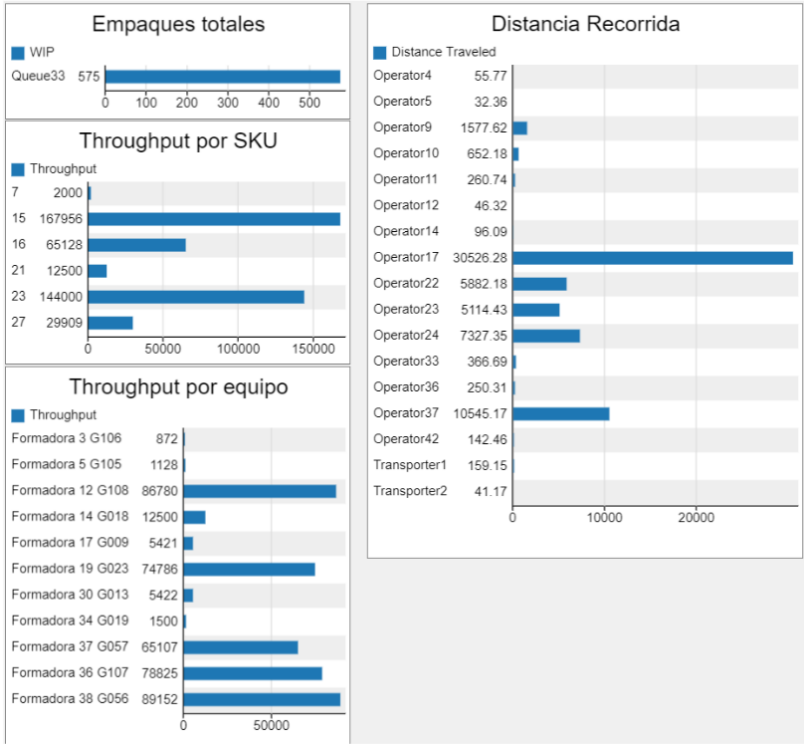


Figura 16
Resultados de la simulación del modelo propuesto



En la Figura 16 se aprecia un total de empaques procesados de 575 y 421.493 ítems que corresponden a 6 SKU's diferentes producidos en 11 equipos. En las distancias recorridas se observa que el valor más alto fue de 30 Km.

4.2 Análisis de Resultados

4.2.1 Comparación de casos

Tabla 16

Comparación de resultados entre modelos

	Situación actual	Modelo propuesto	Porcentaje de mejora
Unidades procesadas (UN)	297.952	421.493	29%
Distancia total recorrida (Km)	33,06	13,51	59%

Como se observa en la Tabla 16, el modelo propuesto presenta mejoras bastante significativas tanto en la capacidad de procesamiento de la empresa como en la distancia de traslado por parte de los operadores. Para las unidades procesadas se tomaron en cuenta todas las que se obtuvieron con los resultados de la simulación, mientras que, para la distancia total recorrida se tomaron en cuenta únicamente los operadores que aparecieron en los resultados de ambas simulaciones y que no fueron excluidos como casos aberrantes, estos fueron los operadores 4, 11, 12, 14 y 36.

4.2.2 Pilar Económico

Al venderse los envases de papel al por mayor en cantidades de miles, el precio unitario por cada unidad ronda entre los 1.5 y 3 centavos cada uno, tomando en cuenta que se obtuvo una diferencia diaria en los modelos de 123.541 unidades, las ganancias se estiman hasta \$500.000 anuales, lo que indica un beneficio inmenso del proyecto, el cual cuenta con una inversión de \$308.189.

4.2.3 Pilar Social

El índice de fatiga de los proveedores está directamente relacionado con la distancia que recorren entre traslados, tomando en cuenta supuestos como un peso promedio de 75 Kg por

operador, una carga estimada de 4 Kg en los traslados y una velocidad constante de 2 m/s. De esta manera, podemos afirmar que el modelo propuesto redujo el índice de fatiga de los trabajadores en un 59% debido a desplazamientos menores.

4.2.4 Pilar Ambiental

Gracias a la reubicación estratégica de los contenedores de merma (“tulas”), se estima una reducción significativa de la merma no gestionada adecuadamente. Actualmente, por cada 5 ítems producidos se generan aproximadamente 70 g de merma, lo que equivale a unas 6 toneladas diarias. De esta cantidad, cerca del 40% (2,5 toneladas) no se deposita en las tulas, lo que genera acumulación y contaminación en planta.

Con la nueva disposición del layout, esta proporción se reduciría a aproximadamente 25% (1,5 toneladas), logrando así una disminución de 1 tonelada diaria de merma contaminante.

4.3 Conclusiones y Recomendaciones

4.3.1 Conclusiones

Tras aplicar la metodología DMADV y siguiendo de manera rigurosa las distintas etapas para la culminación del actual proyecto, se concluye lo siguiente:

- Se redujo el traslado total de operadores y montacargas en un 59% gracias a un diseño con áreas estratégicamente posicionadas para optimizar la circulación y flujo del proceso.
- Se designó un área de 13x34 m² para la nueva impresora que ingresará a partir de diciembre del 2025.
- Se logró reducir los movimientos redundantes en un 80%. Debido a la complejidad de los procesos para cada SKU y las restricciones físicas del diseño, eliminar estos

movimientos cíclicos al 100% fue imposible, sin embargo, se optimizó el flujo de manera significativa.

- En las áreas con mayor movimiento de personal se mantiene una distancia promedio entre máquinas de 2,5 m. Nuevamente por restricciones del diseño no se establecieron distancias de separación de 4 m.
- Se implementaron pasillos exclusivos para peatones de mínimo 1,3 m, llegando estos a medir hasta un ancho total de 5 m donde podría existir acumulación de personal e intersecciones en desplazamientos

4.3.2 Recomendaciones

Una vez finalizado el análisis de todos los aspectos abordados por el alcance de este proyecto, se determinan las siguientes recomendaciones para trabajos similares que se realicen a futuro:

- Para simplificar los análisis de casos sin perder la confiabilidad de los datos, se recomienda reducir el número de ítems analizados y considerar un segmento más reducido según las necesidades del key customer y la naturaleza del proceso.
- En caso de utilizar un software de simulación como en este caso FlexSim, es importante crear modelos que estén dentro de las capacidades del equipo con el que se esté trabajando para evitar inconvenientes y retrasos en la obtención de resultados.

Referencias

Anderson, T. W., & Darling, D. A. (1954). A test of goodness of fit. *Journal of the American Statistical Association*, 49 (268), 765–769. <https://doi.org/10.1080/01621459.1954.10501232>

Barnes, R. M. (1980). *Motion and time study: Design and measurement of work* (7th ed.). John Wiley & Sons.

Breyfogle, F. W. (2003). *Implementing Six Sigma: Smarter solutions using statistical methods* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

FlexSim Software Products, Inc. (2023). *FlexSim User Manual*. FlexSim Software Products, Inc. <https://www.flexsim.com>

General Motors Corporation. (1985). *Work-Factor Standards: Time Study and Work Measurement Tables*. General Motors Corporation.

Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1999). *Juran's Quality Handbook* (5th ed.). McGraw-Hill.

Minitab LLC. (2023). *Minitab Statistical Software: User's Guide*. Minitab LLC. <https://www.minitab.com>

Montgomery, D. C. (2019). *Introduction to Statistical Quality Control* (8th ed.). John Wiley & Sons.

Montgomery, D. C., Runger, G. C., & Hubele, N. F. (2021). *Engineering statistics* (6th ed.). John Wiley & Sons.

Pareto, V. (1971). *Manual of political economy*. Augustus M. Kelley. (Original work published 1897)

Goldratt, E. M. (1990). *Theory of Constraints*. North River Press.

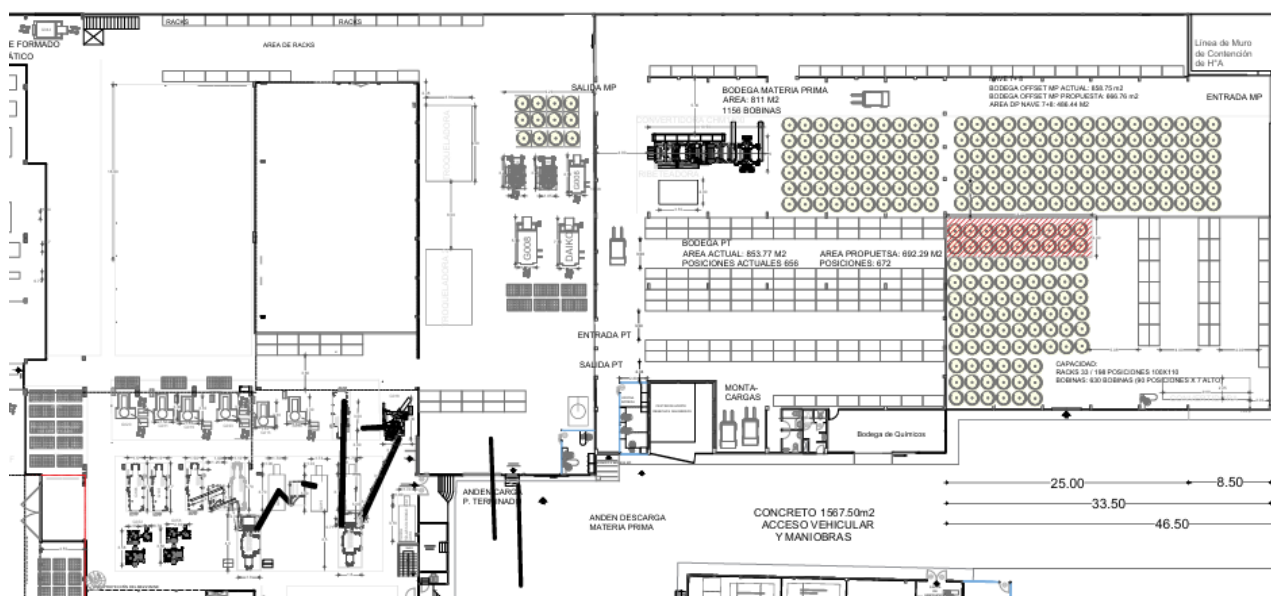
Goldratt, E. M., & Cox, J. (1984). *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*. North River Press.

Goldratt, E. M. (1992). From cost world to throughput world. *Advances in Management Accounting*, 1, 35–53.

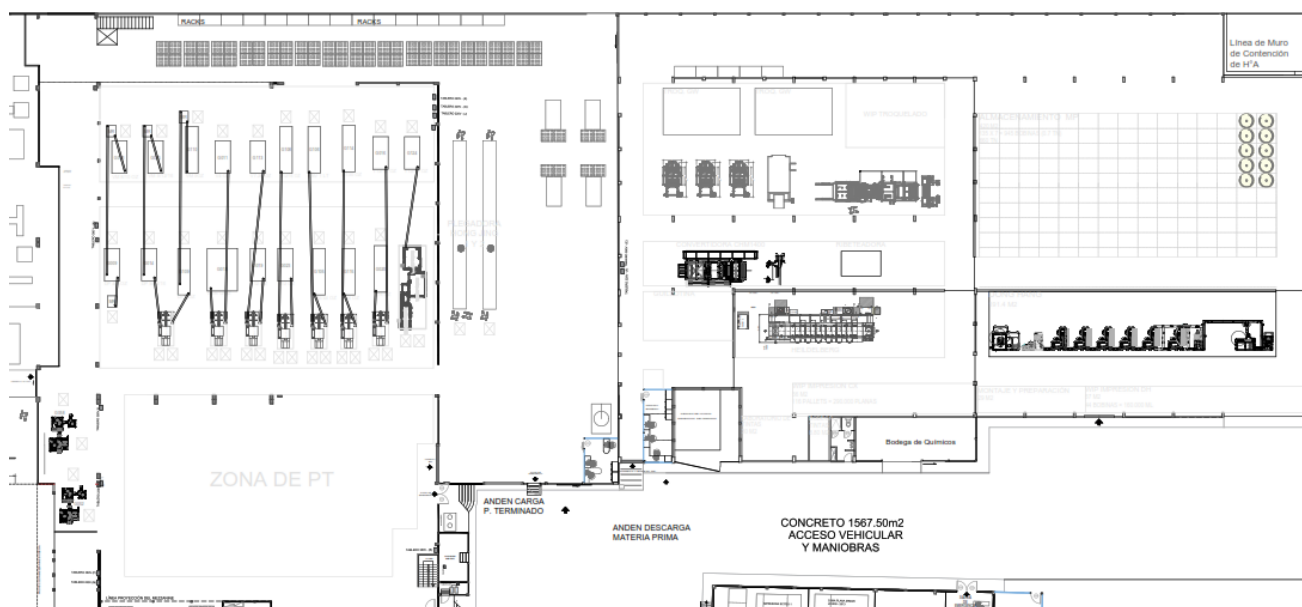
Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Simon & Schuster.

Anexos

PLANO 1 LAYOUT ACTUAL DE LA EMPRESA



PLANO 2 PROPUESTA 1 DE LAYOUT MEJORADO



PLANO 3 PROPUESTA 2 DE LAYOUT MEJORADO

