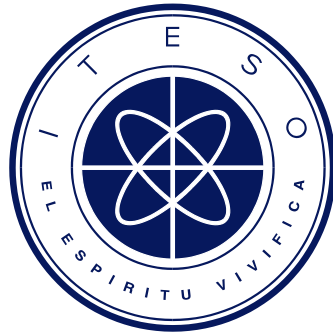


Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente

Reconocimiento de validez oficial de estudios de nivel superior según acuerdo secretarial 15018, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 29 de noviembre de 1976.

Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales

Maestría en Ingeniería de Productos y Procesos



OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE EMPAQUES DE CARTÓN CON AYUDA DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA

Trabajo recepcional que para obtener el grado de Maestro en Ingeniería de
Productos y Procesos

Presentan: Elías Salvador López Islas

Tutor: Juan Pablo Mora Torres

Director de tesis: Carlos Figueredo Gonzalez

San Pedro Tlaquepaque, Jalisco. noviembre de 2025.

Tabla de contenidos

OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE EMPAQUES DE CARTÓN CON AYUDA DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA	1
Agradecimientos.....	3
Resumen.....	4
Abstract	5
1. Fundamentación del trabajo	6
2. Marco conceptual o de referencia	18
3.Soluciones conceptuales e ingeniería previa.....	22
4. Estrategia de desarrollo de ingeniería de detalle	23
5. Exposición y análisis de resultados y hallazgos.....	34
6. Discusión final.....	42
Referencias bibliográficas	46

Agradecimientos

A mis padres, Salvador López y Yolanda Islas, por su apoyo incondicional, por enseñarme con el ejemplo el valor del trabajo y la perseverancia, y por darme la serenidad necesaria para tomar mejores decisiones; a mis hermanos, Job López y Joel López, por su compañía constante y por las ideas que, entre diálogos y dudas, ayudaron a clarificar el rumbo del proyecto; a mi tutor, Juan Pablo Mora, por su guía exigente y generosa, por las preguntas que invitaron a pensar con mayor rigor y por acompañar cada decisión con criterio y evidencia; a la maestra Hilda Vallin, cuya fortaleza académica, retroalimentación oportuna y cuidado metodológico fueron un pilar para dar coherencia y solidez a este trabajo; y a Carlos Figueredo, por su paciencia y precisión para introducirme en la programación, por transformar el código en una herramienta práctica y por ayudarme a acotar el alcance para concentrar esfuerzos en lo verdaderamente valioso. Extiendo también mi gratitud a quienes, desde la empresa y el ámbito académico, compartieron tiempo, datos y experiencia; cada conversación, prueba en planta y observación operativa aportó claridad y sentido a esta investigación. Este logro es el resultado de un aprendizaje profundamente colectivo, sostenido por la confianza y la generosidad de todas estas personas.

A la memoria de mi abuela, Natividad Briseño. Este logro se lo dedico con todo mi corazón. Su cariño, su fuerza silenciosa y su manera de enfrentar la vida con dignidad me enseñaron más de lo que cualquier aula podría enseñar. En cada decisión importante escuché su voz prudente; en cada obstáculo, recordé su paciencia y su fe en el trabajo bien hecho. Hoy no puedo abrazarla, pero llevo su ejemplo conmigo: la disciplina que me impulsó a terminar, la humildad para aprender y la gratitud por cada oportunidad. Gracias, abuela, por ser raíz, refugio y guía; este trabajo es también tuyo.

Resumen

El presente Trabajo de Obtención de Grado propone la incorporación de inteligencia artificial generativa en el flujo integral de diseño y producción de empaques de cartón con el fin de mejorar el aprovechamiento de lámina, reducir los tiempos de ciclo y elevar la calidad dimensional en la empresa de Salvador López. La investigación inicia con el diagnóstico y la delimitación del problema, continúa con la sistematización de datos mediante una Matriz de Decisiones como fuente única de información, que integra medidas, materiales, tolerancias, costos y trazabilidad por lote, y avanza hacia una ingeniería de detalle que automatiza el tránsito de CAD a corte mediante plantillas paramétricas, reglas explícitas de selección y acomodo en lámina, con atención al sentido de fibra, a los márgenes y a las zonas restringidas, además de la exportación uniforme a suajado o CNC.

La evaluación de impactos se llevó a cabo con un diseño pre y post y con escalas y métricas operativas, entre ellas aprovechamiento, tiempos por etapa, precisión dimensional, productividad, costo unitario y completitud de registros, empleando pruebas de significancia e intervalos de confianza para sustentar los hallazgos. Los resultados muestran una disminución de la merma, un acortamiento de tiempos, una mejora en precisión y un fortalecimiento de la trazabilidad, con efectos económicos medibles en el costo por unidad y en la capacidad efectiva.

A partir de esta base, se plantea una hoja de ruta para evolucionar desde la toma de decisiones asistida por reglas hacia un modelo de inteligencia artificial capaz de sugerir dimensiones finales, recomendar materiales y estimar costos bajo restricciones de manufactura, con un piloto de modelos generativos para casos sin plantillas previas. El documento cierra con lineamientos de gobernanza de datos y con un plan de escalamiento por familias de producto que habilitan replicabilidad y mejora continua.

Palabras clave: empaques de cartón; inteligencia artificial generativa; aprovechamiento de lámina; automatización CAD a corte; trazabilidad; evaluación pre y post.

Abstract

This work proposes the incorporation of generative artificial intelligence into the integrated design-to-manufacture flow for corrugated packaging with the aim of improving sheet utilization, reducing cycle times, and enhancing dimensional quality in a real production setting. The study begins with a diagnostic of material waste, timing bottlenecks, and variability, followed by data systematization through a single source of truth that consolidates dimensions, materials, tolerances, costs, and lot-level traceability. The engineering phase automates the CAD-to-cut pipeline by means of parametric templates, explicit selection and nesting rules that consider fiber direction, safety margins, and restricted zones, and standardized export to die-cutting or CNC. Impact was assessed using a pre/post design with operational metrics such as utilization, stage times, dimensional accuracy, productivity, unit cost, and record completeness, supported by significance testing and confidence intervals. Results indicate lower waste, shorter lead times, improved precision, and stronger traceability, with measurable economic effects on unit cost and effective capacity. Building on this evidence, a roadmap is outlined to evolve from rule-based assisted decision making toward a multitask AI capable of suggesting final dimensions, recommending materials, and estimating cost under manufacturing constraints, including a pilot of generative models for cases without existing templates. The document concludes with data governance guidelines and a staged scale-up plan that supports replicability and continuous improvement.

Keywords: corrugated packaging; generative artificial intelligence; sheet utilization; CAD to cut automation; traceability; pre/post evaluation.

1. Fundamentación del trabajo

En la industria del cartón, uno de los principales desafíos es la optimización del uso de materiales durante los procesos de diseño y producción de empaques. Actualmente, las empresas enfrentan problemas significativos relacionados con el desperdicio de material y la baja eficiencia en los procesos de producción, lo cual incrementa los costos operativos y limita la capacidad de las empresas para ser competitivas en un mercado que demanda innovación y sostenibilidad (Martínez et al., 2014). De acuerdo con Martínez et al. (2014), “la cultura dominante es la de mercado y la estrategia predominante es la de costos” en la industria del papel y cartón en México, lo que sugiere que las empresas buscan reducir costos como estrategia competitiva para mejorar su posicionamiento en el mercado.

La empresa de Salvador López enfrenta problemas similares, relacionados principalmente con la baja eficiencia en el uso del material y con procesos ineficientes, como el suajado o el plegado de empaques. Estos desafíos son comunes en el sector y afectan directamente los costos y la sostenibilidad de las operaciones, retrasando los pedidos o forzando la ejecución de procesos de último momento. La implementación de metodologías como Six Sigma en empresas cartoneras ha demostrado ser eficaz para reducir desperdicios y aumentar la productividad en esta industria, evidenciando que existen enfoques diversos para mejorar la eficiencia (Universidad Tecnológica del Perú, 2020). El problema central que aborda este trabajo es la ineficiencia en el uso de materiales de cartón, que resulta en un desperdicio considerable durante el diseño y la producción.

Para resolver esta problemática, el trabajo propone desarrollar e implementar un sistema basado en inteligencia artificial generativa que optimice el diseño y la producción de empaques de cartón. Este sistema contará con una base de datos creada desde cero, permitiendo revisar y analizar detalladamente cada producto realizado para reducir el desperdicio de material y aumentar la eficiencia en los procesos industriales.

1.1. Identificación y caracterización del problema a atender

El proyecto se centrará en optimizar el uso de materiales en el diseño y la producción de empaques de cartón para la empresa de Salvador López. La falta de estandarización en los procesos de corte dentro de los espacios de las láminas de cartón ha incrementado tanto los costos como las mermas, disminuyendo así las ganancias y forzando a adquirir más material, lo que a su vez eleva los precios de producción y reduce la competitividad de la empresa en el mercado.

La problemática se encuentra en las áreas de producción y diseño, que son claves para la rentabilidad y la sostenibilidad de la empresa. No contar con procesos optimizados podría derivar en una dificultad aún mayor, particularmente en un contexto donde reducir costos y mejorar la eficiencia operativa es imprescindible.

A lo largo del tiempo, la empresa ha dependido de procesos manuales y ha carecido de una integración adecuada de tecnologías en el diseño de empaques y la planificación de la manufactura. En ocasiones, la maquinaria no logra satisfacer los volúmenes exigidos por los clientes, lo que incrementa los tiempos de entrega o requiere horas adicionales para cumplir con los plazos establecidos. Esta dependencia limita la capacidad de la empresa para adaptarse a las demandas del mercado, que exige soluciones más ágiles y eficientes.

El impacto de estos procesos ilustra los desafíos que enfrenta la empresa en aspectos como la gestión de la cadena de suministro y la calidad del producto final. Si bien otros factores también juegan un papel importante, la ineficiencia en el uso de materiales durante la producción es un área crítica que, al ser abordada, puede generar mejoras significativas en los costos operativos y fortalecer la competitividad de la empresa.

La solución propuesta se centra en la optimización del uso de materiales mediante la implementación de inteligencia artificial generativa. Con este enfoque, el proyecto no solo busca reducir costos, sino también establecer un estándar de calidad superior en la industria. Esta estrategia permitirá que la empresa se diferencie de sus competidores y fortalezca su posición en el mercado. Actualmente, la empresa trabaja exclusivamente para clientes extranjeros,

principalmente en Estados Unidos, lo que implica cumplir con altos estándares de calidad en el corte, tiempos de entrega y materiales específicos.

1.2 Contexto de la organización, equipo de investigación, comunidad

La empresa de Salvador López ha operado en diversas locaciones a lo largo de su historia. Inició en Agua Blanca, en la colonia de Santa Anita, y luego se trasladó a la calle Orquídea en Santa Ana Tepatitlán. Actualmente, la ubicación de la empresa es en C. Robles 3623, Loma Bonita Ejidal, San Pedro Tlaquepaque.

Con más de una década activa, la empresa comenzó como un proyecto de estructura simple en el que Salvador realizaba y supervisaba todos los procesos de forma manual. A partir del año 2021, ha incorporado maquinaria especializada y se ha adaptado a las demandas del mercado, enfocándose en producir empaques especiales. Actualmente, el equipo es reducido, compuesto por cinco trabajadores, lo que facilita un control operativo eficiente, aunque también presenta desafíos en cuanto a capacidad de producción y flexibilidad operativa.

La estructura organizacional de la empresa es sencilla y funcional; Salvador López, como propietario, supervisa todas las operaciones, desde la gestión de pedidos hasta la entrega final de los productos. El equipo incluye a un diseñador de productos, dos operarios en la sección de empaque, uno en el área de suajado y otro encargado de la logística y fletes. Para manejar picos de trabajo, la empresa recurre a la asignación flexible del equipo o, cuando es necesario, a la contratación externa.

En términos de maquinaria, la empresa cuenta con una Suajadora semiautomática, una cortadora CNC de navaja, una pegadora de rollo, una troqueladora y una máquina de corrugado. Estas herramientas permiten producir empaques especiales con acabados precisos, aunque presentan ciertas limitaciones en cuanto al tamaño y tipo de cortes que pueden realizar; este es un aspecto relevante para el proyecto de intervención, ya que la capacidad actual de las máquinas limita el tipo de pedidos que se pueden aceptar. Los empaques grandes o los que requieren cortes

complejos no pueden producirse internamente, lo que reduce la competitividad de la empresa frente a otras con maquinaria más avanzada.

El volumen semanal de producción ronda los 10,000 empaques. Sin embargo, cuando se procesan pedidos más pequeños, la empresa se enfoca en maximizar sus márgenes de beneficio, apuntando a una rentabilidad del 65%. Estos pedidos suelen involucrar cortes detallados, acabados especiales o materiales de mayor complejidad, lo cual justifica el margen elevado y permite a la empresa mantenerse competitiva en un mercado donde la personalización de los empaques y la calidad en los acabados son elementos clave que la diferencian de sus competidores.

1.3 Contexto del entorno

La empresa de Salvador López, ubicada en Zapopan, Jalisco, tomó la decisión estratégica de posicionarse en el mercado internacional como distribuidora de empaques especiales, enfocándose en clientes clave en Estados Unidos, particularmente en las ciudades de Los Ángeles y Atlanta. Esta decisión fue motivada por la baja rentabilidad del mercado nacional, donde los márgenes de ganancia se han reducido debido al aumento de los costos de producción; los precios de materias primas como el cartón han incrementado de forma significativa, impactando los costos operativos y disminuyendo la competitividad en México. Esta situación ha llevado a la empresa a reducir sus operaciones a nivel nacional, limitándose a clientes selectos dentro del país.

El sector de la fabricación de productos de cartón y papel en México alcanzó un ingreso total de \$175,790 millones de pesos en 2019, con la producción concentrada principalmente en estados como el Estado de México y Nuevo León (Secretaría de Economía, 2019). Sin embargo, los últimos años han traído grandes desafíos: la pandemia de COVID-19, junto con el crecimiento del comercio electrónico, provocó un incremento de hasta el 200% en la demanda de empaques de cartón. Como observó Flores Berrios (2021), “la pandemia aumentó la demanda de empaques de cartón hasta un 200%” (p. 1). A esto se suma el hecho de que los costos de producción se han elevado debido a factores externos, como la guerra en Ucrania y la inflación global, los cuales han

afectado el suministro de materias primas esenciales, tales como el papel y el almidón (QuimiNet, 2022).

En 2020, la producción de cartón corrugado en México disminuyó un 2.5% en comparación con el año anterior, reflejando las dificultades que enfrenta el sector. Axel Sánchez (2020) subraya que “el acceso limitado a materias primas, junto con restricciones ambientales, ha obligado a las empresas a optimizar sus procesos y mantener inventarios estratégicos para asegurar la continuidad en la producción” (p. 10).

1.4 Análisis causa-efecto

Durante la primera fase de identificación, se desarrolló la idea de introducir inteligencia artificial en la industria del cartón, con el objetivo de lograr avances significativos en el diseño y optimizar tanto los procesos de diseño como de producción mediante propuestas más específicas. En esta primera fase, se exploraron conceptos de diseño ergonómico y propuestas que se desviaban de las normas del mercado, destacando por su estructura innovadora. Sin embargo, en ese momento no se discutieron algunas limitaciones fundamentales, como las características de los materiales, la capacidad de la maquinaria, los costos, los tiempos de producción y las demandas reales de los clientes.

En el segundo periodo de IDI, el concepto de aplicar inteligencia artificial continuó desarrollándose, pero fue necesario ajustar su alcance, ya que las limitaciones se volvían más evidentes. Al tratarse de productos destinados al mercado, era importante comprender mejor las expectativas de los clientes para adaptar los diseños a una realidad práctica y viable. Como resultado, se decidió que la inteligencia artificial usaría redes GANs, que son modelos compuestos por dos redes neuronales que trabajan de manera competitiva: una red generadora y una red discriminadora. La red generadora crea datos sintéticos, como diseños o patrones, mientras que la discriminadora evalúa si estos datos cumplen con las características de los datos reales abriendo el panorama a nuevas oportunidades de innovación al permitir que el sistema creara

sus propios modelos a partir de una base de datos, ya sea de imágenes o de datos específicos previamente recopilados. Esta visión más precisa fue el resultado de una investigación continua y de modificaciones en el concepto original, respondiendo a la necesidad de hacer el proyecto más aplicable y realista.

Se eligieron GAN en lugar de otros métodos por tres razones principales. Primero, por su capacidad para aprender la distribución real y crear variaciones de alta fidelidad, algo particularmente útil en diseño de empaques, donde la apariencia, la regularidad geométrica y los detalles influyen la aceptación del cliente. Segundo, porque las GAN permiten condicionar la generación a rasgos de interés, como dimensiones, tolerancias o tipo de material, de modo que las propuestas mantengan viabilidad de fabricación desde el inicio, mientras que enfoques puramente discriminativos no generan alternativas y los métodos paramétricos tradicionales dependen de reglas rígidas difíciles de escalar. Tercero, frente a otros enfoques generativos, como los modelos que primero comprimen la información de entrada en una representación interna y luego reconstruyen una salida a partir de esa representación, o los modelos que simulan un proceso de refinamiento progresivo desde ruido hasta una imagen nítida, las GAN ofrecen resultados visualmente nítidos con menor posprocesamiento y pueden aprovechar bases de datos moderadas mediante estrategias de curado y aumento de datos, lo que se ajusta a las restricciones reales del proyecto. Esta elección metodológica surgió de la investigación continua y de la necesidad de contar con un generador capaz de proponer diseños plausibles y controlables, manteniendo alineación con los requerimientos del cliente y con las limitaciones de producción.

En el periodo actual, se desarrollaron tres prototipos de código como base para implementar inteligencia artificial generativa con un enfoque definido para el sector. Para orientar su diseño hacia los cuellos de botella correctos, la Tabla 1 sintetiza las situaciones observadas en producción, sus síntomas, causas y impactos económicos y operativos. Este mapeo permite priorizar dónde intervenir primero y qué restricciones técnicas deben incorporarse a los prototipos.

Tabla 1

Situaciones identificadas en el área de producción, detallando los síntomas observados, las causas subyacentes, y los impactos negativos que resultan de estas ineficiencias

Situación	Síntomas	Causas	Impactos
Desperdicio de material en el proceso de corte	Alto volumen de material sobrante después de cortes	Falta de optimización en los patrones de corte	Aumento en los costos de producción
Producción limitada por maquinaria manual	Baja capacidad de producción y tiempos prolongados	Uso de máquinas semiautomáticas, supervisión constante	Menor competitividad en el mercado
Variaciones en los cortes	Inconsistencia en la precisión de los cortes	Dependencia en la supervisión manual	Retrabajos y desperdicio de material
Dificultad para integrar nuevos equipos	Espacio limitado en la bodega	Tamaño reducido del área de almacenamiento	Limitaciones en la expansión de la capacidad productiva
Costos elevados de mantenimiento	Incremento de costos operativos	Máquinas antiguas y falta de mantenimiento predictivo	Menor margen de ganancia, tiempos muertos

Nota. Datos tomados de la observación de la empresa de Salvador López (2022). Elaboración propia.

La evidencia de la Tabla 1 muestra un patrón consistente: los síntomas se concentran en desperdicio de material, tiempos prolongados y variabilidad de cortes; las causas subyacentes remiten a ausencia de optimización del acomodo en lámina, dependencias de operación manual y limitaciones de infraestructura; los impactos se reflejan en costo unitario elevado, capacidad restringida y retrabajos. En términos de priorización, el desperdicio por falta de optimización de

patrones y la inconsistencia dimensional son los puntos con mayor efecto en costo y tiempos, por lo que justifican enfocar la primera versión de los prototipos en: 1 selección y acomodo asistidos por reglas que reduzcan merma y establezcan tolerancias, y 2 estandarización de archivos de manufactura para disminuir preparación y correcciones en línea. Adicionalmente, las limitaciones de espacio y mantenimiento sugieren que el enfoque tecnológico debe ser ligero en gastos de capital y apoyado en trazabilidad de datos, a fin de sostener mejoras sin requerir cambios de maquinaria inmediatos.

1.5 Matriz de marco lógico del problema

Este proyecto tiene como objetivo mejorar la eficiencia en el uso de materiales durante la producción de empaques de cartón, utilizando un enfoque de prueba y error que ha permitido realizar ajustes continuos y lograr que la solución propuesta evolucione constantemente. La meta principal es implementar un sistema de inteligencia artificial que optimice tanto el diseño como la producción de los empaques, reduciendo el desperdicio de material y aumentando la eficiencia operativa de la empresa.

Para alcanzar este objetivo, se han definido varias metas específicas. La primera consiste en desarrollar un sistema de inteligencia artificial que automatice los procesos de diseño y corte; esta fase ha requerido pruebas y ajustes constantes desde los primeros scripts que se desarrollaron. Un segundo objetivo es disminuir el desperdicio de material en un porcentaje significativo, mejorando el modo de usar las hojas de cartón. Por último, el proyecto se enfoca en mejorar la precisión de los cortes y la calidad del producto final, con la intención de reducir la variabilidad y asegurar una mayor consistencia en los resultados.

A lo largo del proceso, se utilizarán indicadores específicos para evaluar los avances, como la cantidad de procesos automatizados, la reducción en el desperdicio de material en comparación con los niveles anteriores y la consistencia en la calidad del producto final. Con este enfoque integral, se espera que la empresa pueda lograr un uso más eficiente de los recursos y fortalecer su posición competitiva en el mercado. A continuación, se presenta la matriz de marco lógico del proyecto:

Tabla 2

Marco Lógico

Nivel	Indicadores Verificables	Medios de Verificación	Supuestos Importantes
Visión final	- Aumento del 20% en la eficiencia operativa.	- Reportes financieros.	- Estabilidad económica del mercado.
	- Reducción del 15% en los costos de producción.	- Indicadores de desempeño anual.	- Demanda constante de empaques de cartón.
Propósito	- Disminución del 25% en el desperdicio de material.	- Registros de producción.	- Disponibilidad de recursos tecnológicos.
	- Automatización del 30% de los procesos de diseño y corte.	- Informes del sistema de IA.	- Aceptación del personal al cambio tecnológico.
Componentes	1. Sistema de IA operativo en 6 meses.	- Cronograma de proyecto.	- Colaboración efectiva del equipo.
	2. Reducción del desperdicio a menos del 5% del material utilizado.	- Estadísticas de desperdicio.	- Mantenimiento adecuado de la maquinaria.
	3. Aumento del 10% en la calidad percibida por los clientes.	- Encuestas de satisfacción al cliente.	
Actividades	- Número de horas dedicadas al desarrollo.	- Reportes de actividad.	- Acceso a herramientas de desarrollo.
	- Cantidad de pruebas realizadas.	- Documentación de pruebas.	- Tiempo asignado para capacitación sin afectar producción.
	- Número de empleados capacitados.	- Certificados de capacitación.	

Nota. Datos tomados de la observación de la empresa de Salvador López (2022). Elaboración propia.

La matriz explicita una cadena de resultados que conecta impacto, propósito, productos y actividades con indicadores cuantificables y fuentes de verificación internas. En el nivel de visión, el aumento de eficiencia operativa y la reducción de costos se respaldan con reportes financieros y KPIs anuales, sujetos a supuestos de demanda y estabilidad del mercado. En el propósito, la disminución del 25 % de desperdicio y la automatización del 30 % se sostienen con registros de producción y salidas del sistema de IA; aquí, la aceptación del personal y la disponibilidad tecnológica son condiciones críticas que deben gestionarse con capacitación y soporte. En componentes, se establecen productos ejecutables sistema de IA operativo, desperdicio $\leq 5\%$, +10 % en calidad percibida con cronograma, estadísticas de desperdicio y encuestas de satisfacción como medios de verificación; el mantenimiento preventivo y la colaboración del equipo son supuestos que impactan directamente la viabilidad. Finalmente, en actividades, los indicadores de horas de desarrollo, pruebas ejecutadas y personal capacitado anclan el avance de corto plazo y proveen evidencia mínima para auditoría de proceso.

1.6 Objetivos de la intervención/investigación

Objetivo General:

Desarrollar e implementar un sistema de inteligencia artificial generativa que optimice los patrones de corte en la producción de empaques de cartón, con el propósito de reducir el desperdicio de materiales, mejorar la eficiencia operativa y fortalecer la competitividad de la empresa en el mercado internacional.

Objetivos Específicos:

1. Diseñar e implementar un modelo de inteligencia artificial generativa que permita optimizar los patrones de corte, reduciendo el desperdicio de material en al menos un 3%.

2. Crear una base de datos centralizada que integre información clave sobre medidas, materiales y resistencias de los empaques, facilitando su consulta y análisis para la toma de decisiones.
3. Desarrollar un sistema de trazabilidad que registre y organice la información de los productos, permitiendo identificar detalles clave como dimensiones, materiales y especificaciones del cliente.
4. Automatizar procesos repetitivos en la producción mediante la integración del sistema de inteligencia artificial con las máquinas de corte actuales, mejorando la precisión de los cortes y reduciendo la dependencia de tareas manuales.

1.7. Delimitaciones y área funcional por intervenir

La intervención que se propone se origina en la necesidad de mejorar la eficiencia operativa en la empresa cartonera. En el estado actual, los procesos muestran tasas de desperdicio totales en el entorno de 10–13 % del metraje producido. Para validar metas realistas y ajustar el diseño a condiciones de planta, se realizó una prueba interna en cortadora CNC con dos condiciones sobre láminas de igual formato y material: (A) con cálculo previo de acomodo y archivo CNC prueba de diseño y (B) sin cálculo previo, trabajando solo con las dimensiones de la lámina sin muestra CNC. Bajo la condición A, el desperdicio total promedio se situó en 9.6 % y la merma de conversión en 1.3 % (n=6 lotes piloto), verificándose la concordancia entre el porcentaje estimado en el diseño y el medido postcorte. En la condición B, el desperdicio total alcanzó 12.1 % y la merma de conversión 2.6 % (n=6), evidenciando pérdidas adicionales por acomodos manuales y ajustes en línea. Estos resultados sostienen la implementación de un sistema de inteligencia artificial generativa integrado con reglas de diseño y acomodo en lámina, orientado a contener el desperdicio total por debajo de ~10 % y a reducir la merma de conversión hacia ~1.0–1.5 %, con impacto directo en ahorro de costos y sostenibilidad ambiental, además de mejoras en precisión y calidad dimensional que facilitan la respuesta a las exigencias del mercado.

1.8 Justificación y pertinencia del trabajo

La intervención se justifica por la necesidad de elevar eficiencia y competitividad en una empresa cartonera con pedidos personalizados y exigencias de calidad, plazos y trazabilidad. El estado inicial registraba desperdicio de material, tiempos de ciclo extensos y variabilidad dimensional que encarecían el costo unitario y limitaban la capacidad efectiva. Ante ello, se integró inteligencia artificial generativa con estandarización del flujo CAD a corte y una Matriz de Decisiones con reglas explícitas y trazabilidad por lote, orientada a reducir merma, acortar tiempos y estabilizar la precisión, con impacto directo en sostenibilidad y respuesta a auditorías de clientes internacionales.

Metodológicamente, el trabajo es pertinente porque articula captura depurada de datos, reglas de decisión, generación de archivos listos para manufactura y evaluación comparativa pre y post con instrumentos estandarizados (bitácoras, checklist dimensional y lecturas de adopción). Este encuadre facilita atribuir efectos, gestionar riesgos y realizar ajustes tempranos, a la vez que sienta bases para módulos generativos cuando no existan plantillas equivalentes. En términos organizacionales y formativos, la propuesta sustituye el ensayo y error por decisiones informadas, eleva el aprovechamiento de material, libera tiempo de máquina, mejora productividad y costo por unidad, y promueve cultura de medición y mejora continua transferible a nuevas familias de producto, alineada con la estrategia general de la organización.

2. Marco conceptual o de referencia

El propósito principal de este proyecto es aprovechar tecnologías avanzadas, como la inteligencia artificial (IA), para optimizar los procesos industriales. En los últimos años, la IA se ha consolidado como una herramienta clave para mejorar la eficiencia operativa, automatizar tareas repetitivas y realizar análisis predictivos. Según Rodríguez (2020), “la IA se ha convertido en una herramienta eficiente en la mejora de la eficiencia operativa, la automatización de tareas repetitivas y el análisis predictivo” (p. 12). Un caso relevante de su aplicación en el sector industrial es el mantenimiento predictivo, que permite a las empresas anticipar fallos en los equipos al analizar datos de sensores y otros sistemas. Esto resulta en “una mayor eficiencia y reducción de costos al minimizar los tiempos de inactividad no planificados” (Rodríguez, 2020, p. 13).

Además, la IA juega un rol fundamental en el control de calidad, al facilitar la detección temprana de problemas mediante el análisis en tiempo real de grandes volúmenes de datos. Esta capacidad no solo mejora la calidad de los productos, sino que también “reduce el desperdicio y los retrabajos”, aspectos críticos en la industria de empaques de cartón (Colprinter, 2021).

Otra área importante dentro del marco conceptual es la optimización de procesos. Iván Buhigas (2022) destaca que la minería de procesos, una técnica que mide y mejora la eficiencia de los flujos de trabajo, permite “identificar cuellos de botella y áreas donde la IA puede ser implementada para mejorar la eficiencia”. Este método resulta especialmente aplicable en el corte y diseño de empaques de cartón, ya que contribuye al desarrollo de patrones más eficientes y a la reducción significativa del desperdicio de materiales.

Finalmente, en el campo de la ingeniería de materiales, la IA optimiza tanto el diseño como la disposición de los cortes en el cartón, maximizando el uso de recursos y reduciendo los costos operativos. Como indica Carolina Esteban (2019), la automatización mediante IA posibilita “la producción de diseños complejos sin la necesidad de inversiones inmediatas en nuevas maquinarias”, lo cual es especialmente beneficioso para empresas que enfrentan limitaciones de espacio y recursos.

2.1. Estado de la cuestión

La introducción de la inteligencia artificial (IA) en el diseño industrial ha revolucionado la forma en que se crean y optimizan los productos. En este contexto, las Redes Generativas Adversariales (GANs) destacan por su capacidad para generar soluciones innovadoras a partir de datos existentes. Estas redes operan mediante dos componentes: una red generadora, que produce datos sintéticos, y una red discriminadora, que evalúa la calidad de estos datos en comparación con los originales. Según IBM (2020), las GANs "permiten crear datos nuevos y realistas a partir de un conjunto de datos existente", lo que las convierte en herramientas ideales para automatizar la creación de modelos iniciales en el diseño de empaques.

La implementación efectiva de estas redes requiere una infraestructura técnica sólida, donde el lenguaje de programación Python juega un papel central. Su sintaxis intuitiva facilita un desarrollo ágil y simplifica tareas complejas (Python Software Foundation, 2024). Python no solo es versátil, sino que también cuenta con un ecosistema de bibliotecas que lo posicionan como la herramienta preferida en proyectos de IA. Entre las bibliotecas más relevantes se encuentran TensorFlow y PyTorch, que ofrecen entornos optimizados para el desarrollo y entrenamiento de redes neuronales profundas. TensorFlow, desarrollado por Google, destaca por su capacidad para distribuir tareas computacionales entre GPUs y CPUs, acelerando el entrenamiento de modelos y permitiendo la creación de redes complejas (TensorFlow, 2024). Por su parte, PyTorch, desarrollado por Meta AI, se caracteriza por su flexibilidad y gráficos computacionales dinámicos, ideales para prototipar y ajustar modelos de manera iterativa (PyTorch, 2023).

Además de estas bibliotecas, otras herramientas complementan el flujo de trabajo en proyectos basados en GANs. Por ejemplo, Pandas y NumPy son esenciales para el manejo y análisis eficiente de datos, permitiendo estructurarlos y transformarlos según las necesidades del modelo (Pandas, 2024; NumPy, s.f.). OpenCV sobresale en el procesamiento de imágenes, ofreciendo capacidades avanzadas como la segmentación y detección de patrones, fundamentales para analizar y optimizar los diseños. Finalmente, modelos generativos como DALL·E y Stable Diffusion aportan un enfoque creativo, permitiendo la visualización de empaques

en 2D y 3D, lo que expande las posibilidades de personalización y experimentación en el diseño (OpenAI, 2021).

La integración de estas herramientas no solo simplifica el desarrollo de redes GANs, sino que también potencia su aplicación práctica. En proyectos donde la eficiencia operativa y la reducción del desperdicio son objetivos centrales, el uso de Python y su ecosistema de bibliotecas permite abordar problemas complejos de manera eficiente. Además, la amplia adopción de Python en la comunidad de IA asegura acceso a recursos educativos, soporte técnico y actualizaciones constantes, reforzando su relevancia como estándar en el ámbito del aprendizaje automático (Real Python, 2020).

2.2. Conceptos y enfoques teóricos relacionados

En este proyecto, los conceptos clave son optimización de materiales, eficiencia operativa, y aplicación de inteligencia artificial generativa en el diseño y producción de empaques de cartón. La optimización de materiales busca reducir el desperdicio en el proceso de corte y fabricación, un desafío fundamental en esta industria, ya que el uso ineficiente de recursos impacta directamente en los costos y la competitividad. Por otro lado, la eficiencia operativa resulta crucial, dado que cumplir con tiempos de entrega, reducir el trabajo manual y adaptarse a las demandas del mercado son aspectos determinantes para la rentabilidad de la empresa. La inteligencia artificial generativa emerge como una herramienta innovadora para abordar estos desafíos, automatizando el diseño de empaques y generando propuestas en 2D o 3D que optimicen tanto el uso de materiales como los tiempos de diseño. Estos conceptos están interrelacionados y se refuerzan mutuamente. La inteligencia artificial generativa facilita la optimización de materiales al proponer patrones de corte que minimizan el desperdicio, lo que a su vez contribuye a la eficiencia operativa al reducir los costos y el tiempo de producción. Además, este sistema permite personalizar el diseño industrial, ajustándose a las especificaciones del cliente sin aumentar los tiempos de producción ni el desperdicio. Este enfoque también responde a las tendencias actuales de sostenibilidad en los procesos industriales, al promover un uso

responsable de los recursos y contribuir a una menor huella ambiental, lo cual fortalece la imagen de la empresa y su posición competitiva en el mercado.

Este marco conceptual permite una comprensión profunda de las relaciones entre los conceptos clave de la intervención, destacando el impacto de la inteligencia artificial generativa en la industria del cartón. La coherencia entre los conceptos ayuda a delimitar el problema central y confirma que la optimización de materiales, la eficiencia operativa y la sostenibilidad son pilares fundamentales para mejorar la competitividad de la empresa y alinearse con las tendencias globales en la industria.

2.3. Herramientas tecnológicas o de innovación consideradas en el trabajo

Para desarrollar este proyecto y cumplir con los objetivos de optimizar procesos y reducir el desperdicio en la producción de empaques de cartón, se emplearán diversas herramientas de software e innovaciones tecnológicas que han demostrado ser efectivas en proyectos similares.

Una de las principales herramientas es Visual Studio Code, un entorno de desarrollo integrado (IDE) muy versátil que facilita la escritura y depuración de código en diferentes lenguajes de programación. Su interfaz intuitiva y personalizable permite trabajar de manera eficiente, mejorar la productividad y agilizar el desarrollo del proyecto.

Asimismo, se emplean Grimoire, ChatGPT y Gemini, tres herramientas de inteligencia artificial que serán fundamentales en distintas etapas del proyecto. Grimoire ayuda a manejar y entrenar modelos complejos de aprendizaje automático y profundo, permitiendo ajustar parámetros y visualizar resultados de forma sencilla. ChatGPT contribuirá en la generación de ideas y la creación de scripts enfocados en la optimización de procesos, automatizando tareas como la redacción de documentación técnica y la resolución de dudas sobre programación y algoritmos. Por su parte, Gemini actúa como un asistente inteligente que facilita la integración de los diferentes componentes del proyecto, mejorando la coordinación de tareas y la comunicación entre sistemas y plataformas. La combinación de estas herramientas nos permitirá desarrollar soluciones basadas en IA de manera más rápida y eficiente, adaptándolas a las necesidades específicas del proyecto.

Al combinar estas herramientas tecnológicas, permite abordar los desafíos del proyecto de manera más efectiva y precisa. Visual Studio Code nos proporcionará un entorno sólido para desarrollar y gestionar el código fuente, mientras que Grimoire, ChatGPT y Gemini potenciarán nuestras capacidades en inteligencia artificial, innovación y colaboración.

3.Soluciones conceptuales e ingeniería previa

Al inicio de este proyecto, la idea era desarrollar una inteligencia artificial que pudiera diseñar empaques completos, incorporando dobleces y todos los detalles necesarios, basándose en imágenes de diferentes tipos de empaques. Sin embargo, a medida que el proyecto avanzaba se decidió enfocar la estrategia hacia algo más manejable: implementar un sistema en Python que generara estos diseños de manera automatizada. Este enfoque permitió comenzar sin depender de la recopilación de grandes volúmenes de imágenes, concentrándose en la generación y optimización de modelos geométricos básicos.

Como primer paso, se desarrolló un código que simulaba una lámina de cartón, organizando figuras geométricas como círculos y cuadrados de forma aleatoria en un plano rectangular. Esta simulación inicial fue fundamental para probar cómo optimizar el espacio y confirmar que el código podía organizar las figuras de manera eficiente, aumentando así el número de elementos colocados en el plano.

Con este primer éxito, se creó una pequeña base de datos que almacenaba dimensiones básicas: largo, ancho y profundidad, lo que permitió generar cubos en 3D. Utilizando esta base de datos, se implementó un código que mostraba los cubos en un archivo 3D, marcando un avance significativo en la visualización de los empaques. Una vez que el modelo funcionó correctamente, se decidió ampliar la base de datos para incluir atributos más detallados, como el número de ID, medidas exactas, costos, tipo de corte, tipo de impresión, resistencia del material y el sector al que está destinado el producto. Con esta información, el código era capaz de migrar todos los

datos y generar un modelo 3D del empaque, lo que permitió revisar automáticamente los distintos modelos en la base de datos y crear un diseño personalizado para cada uno. Este avance impulsó a explorar la inclusión de elementos adicionales, como tapas para los empaques.

No obstante, esta fase presentó los primeros desafíos técnicos importantes. Al intentar añadir una tapa como un inserto en la figura, el código encontró dificultades para interpretarla correctamente debido al ruido en los datos. A pesar de los ajustes realizados, los resultados no fueron satisfactorios. Posteriormente, se probó con un diseño de empaque más simple, pero el código continuó presentando complicaciones. A raíz de estos desafíos, se decidió concentrarse en el desarrollo de un único tipo de empaque, lo que permitirá perfeccionar el código para generar un diseño específico acorde a las necesidades del cliente. En una base de datos se registrarán los diferentes pedidos realizados por los clientes, que servirán como base para crear soluciones futuras. Esta estructura, similar a una matriz, facilitará la personalización y la generación de modelos adaptados a las especificaciones y patrones identificados en pedidos anteriores.

4. Estrategia de desarrollo de ingeniería de detalle

Este capítulo presenta la ruta técnica para llevar la solución con inteligencia artificial a operación, definiendo objetivos, alcances y supuestos, así como la arquitectura del flujo CAD a corte, la Matriz de Decisiones con sus reglas de validación y trazabilidad, y los criterios de diseño que rigen tolerancias, materiales y capacidades de la maquinaria. Se describen las fases de trabajo desde la preparación y depuración de datos hasta la parametrización de plantillas y la generación de archivos de manufactura, con asignación de responsables, entregables y puntos de control de calidad. Además, se establecen las métricas operativas que guiarán el seguimiento y la mejora continua, entre ellas merma, tiempos por etapa, precisión dimensional, productividad y costo unitario.

4.1. Justificación de la estrategia metodológica o de intervención/investigación

El presente proyecto adopta una estrategia metodológica mixta debido a que combina técnicas cuantitativas y cualitativas para abordar integralmente el problema identificado en los procesos de diseño y producción de empaques de cartón. El enfoque mixto permite no solo obtener datos numéricos precisos sobre aspectos como el desperdicio de materiales, tiempos de producción y eficiencia en los procesos industriales, sino también comprender a profundidad las necesidades específicas de los clientes y la percepción cualitativa de los empleados respecto a la implementación de nuevas tecnologías en la empresa.

La metodología cuantitativa proporcionará información objetiva y medible mediante la recolección sistemática de datos relacionados con la reducción del desperdicio de material, tiempos operativos, costos de producción y rendimiento de los patrones de corte generados mediante inteligencia artificial generativa. Esta información permitirá evaluar cuantitativamente el impacto económico y operativo del proyecto, así como realizar comparaciones antes y después de la implementación del sistema.

En contraste, la metodología cualitativa será esencial para captar y analizar las percepciones, opiniones y experiencias del personal involucrado en los procesos de diseño y producción, así como para identificar las necesidades específicas de los clientes. Este enfoque proporcionará información valiosa sobre la aceptación de las nuevas tecnologías, posibles barreras en la implementación y la satisfacción del cliente con respecto a los empaques personalizados generados mediante inteligencia artificial.

La combinación de ambos enfoques metodológicos asegura un análisis más completo y profundo del problema, permitiendo no solo optimizar los procesos productivos en términos numéricos, sino también mejorar la calidad percibida por el cliente y garantizar la adaptabilidad del sistema a las demandas específicas del mercado internacional. De esta manera, el proyecto puede asegurar no solo beneficios inmediatos en eficiencia operativa, sino también sostenibilidad a largo plazo mediante la satisfacción continua de las necesidades cambiantes de los clientes.

4.1.1. Consideraciones costo/beneficio de la estrategia

La implementación de la estrategia no implica costos monetarios significativos hasta el momento de esta investigación, ya que el modelo está siendo desarrollado internamente, utilizando software gratuito como Python, y aprovechando recursos existentes como ArtiosCAD, software especializado en cortes, y una máquina CNC de corte con navaja. Por lo tanto, en esta fase inicial no se contemplan inversiones adicionales. Cualquier futura inversión monetaria será evaluada y justificada en su momento oportuno, considerando su impacto en la eficiencia operativa y la reducción de costos.

Los beneficios esperados incluyen una significativa reducción en el desperdicio de materiales, optimización del uso del cartón y una mayor eficiencia en tiempos de producción. Actualmente, el proyecto ha avanzado hasta desarrollar un sistema que permite al usuario seleccionar formas geométricas predeterminadas (triángulo, cilindro, esfera) e ingresar dimensiones específicas. El sistema busca automáticamente en una base de datos en Excel y muestra opciones de empaques previamente diseñados, adecuados al objeto solicitado por el cliente, incluyendo archivos de corte en ArtiosCAD listos para su revisión y adaptación inmediata.

A largo plazo, el proyecto tiene previsto desarrollar un sistema basado en inteligencia artificial que aprenderá progresivamente de los datos recolectados, prediciendo con precisión el porcentaje de merma según las dimensiones de la lámina utilizada y el diseño específico solicitado por el cliente. Esto permitirá una respuesta inmediata y precisa a las solicitudes de los clientes, mejorando considerablemente la capacidad de personalización, la eficiencia operativa, y fortaleciendo la competitividad de la empresa en el mercado internacional.

4.2. Herramientas e instrumentos

Para llevar a cabo el proyecto, se utilizan diversas herramientas tecnológicas e instrumentos metodológicos específicos que permiten la recolección, procesamiento y análisis efectivo de datos. Las principales herramientas utilizadas son:

- **Base de datos en Excel (Base de datos Matriz de Decisiones.xlsx):** Contiene información detallada sobre dimensiones, características y diseños previos de empaques, constituyendo la fuente principal para el análisis cuantitativo y la toma de decisiones.
- **Código desarrollado en Python (Matriz De Decisiones.py):** Aplicación informática que facilita el análisis automático de las dimensiones de objetos introducidos por el usuario, selecciona automáticamente el empaque adecuado según criterios predefinidos, y permite la visualización en 3D mediante integración con el software ArtiosCAD.

Adicionalmente, para recopilar información cualitativa relevante sobre la percepción y necesidades específicas del cliente y personal involucrado, se aplicaron entrevistas breves a informantes clave, específicamente Salvador López y el tutor Juan Pablo Mora. La información obtenida de estas entrevistas se complementó con observación directa durante las fases de diseño y producción, permitiendo una visión integral y enriquecedora del contexto real en que se desarrolla el proyecto.

4.3. Muestra o sujetos de investigación

La muestra de participantes del proyecto está integrada por dos actores principales: el propietario de la empresa, Salvador López, quien funge como usuario clave del sistema y responsable de la toma de decisiones sobre diseño y producción, y un diseñador interno, encargado de la generación y ajuste de archivos de diseño. Adicionalmente, se contó con la participación operativa puntual de personal de planta para la realización de validaciones en máquina. No se trata de una muestra estadísticamente representativa, ya que el tamaño es reducido y no obedece a un muestreo probabilístico; sin embargo, resulta pertinente para este estudio de caso, porque concentra a los actores decisores y ejecutores del flujo de diseño y corte sobre el cual recae la intervención (definición de requisitos, generación de archivos y verificación en máquina). En términos de datos analizados, la base empírica del proyecto está conformada

por 49 diseños de empaques y 21 registros en la base de datos sistematizada para esta fase, que incluyen información sobre dimensiones, materiales, resistencia, tolerancias y condiciones de producción, correspondientes a productos reales que reflejan condiciones habituales de operación.

No se establecieron criterios probabilísticos de inclusión; la selección fue intencional y funcional al objetivo de prototipado y validación en entorno real, privilegiando participantes con acceso directo a datos, capacidad de operar o ajustar el flujo de CAD a corte y responsabilidad sobre calidad y tiempos de entrega. En consecuencia, los resultados no deben generalizarse estadísticamente, sino interpretarse con validez analítica y aplicarse a contextos con procesos y restricciones comparables. En fases posteriores, se prevé ampliar la participación (incorporación de más operadores y turnos) y aumentar el volumen de datos analizados con el fin de reforzar las inferencias y explorar la variabilidad entre subgrupos.

4.4. Etapas del proceso de aplicación de la intervención/investigación

El proyecto comenzó con un diagnóstico integral enfocado en identificar claramente las necesidades internas de la empresa. Se observó que el proceso tradicional de diseño tomaba considerable tiempo debido a la complejidad de ciertas especificaciones solicitadas por los clientes. Además, la capacidad de realizar cotizaciones rápidas y precisas era limitada. Por lo tanto, surgió la necesidad de generar una alternativa que permitiera entregar bocetos rápidos y eficientes para convencer al cliente y agilizar el proceso comercial. Esta etapa incluyó entrevistas con el dueño de la empresa, Salvador López, revisión exhaustiva de documentos y registros existentes, y un análisis detallado de procesos previos utilizados en producción. La fase de diagnóstico se extendió durante aproximadamente tres meses.

Inicialmente, se propuso una solución basada en inteligencia artificial, específicamente mediante el uso de Redes Generativas Antagónicas (GANs). Sin embargo, surgieron importantes dificultades, como limitaciones de recursos económicos, falta de tiempo suficiente y un limitado conocimiento técnico especializado en inteligencia artificial, además de una base de datos

insuficiente para el entrenamiento adecuado del modelo, lo que generaba resultados inconsistentes y ruidosos.

Posteriormente, se exploraron diferentes alternativas prácticas. Una de ellas fue la implementación de un sistema inicial que realizaba un acomodo aleatorio de figuras, cuyo objetivo principal era evaluar cómo el sistema podía aprender progresivamente a optimizar el uso del espacio. Esta propuesta fue implementada parcialmente, mostrando resultados variados pero una leve mejoría en el aprendizaje gradual del modelo. La principal dificultad en esta fase radicó en el proceso de entrenamiento y la falta de datos estructurados.

En una siguiente etapa, se experimentó con un modelo basado en regresión lineal, con el fin específico de optimizar el acomodo de empaques para minimizar el desperdicio de materiales. Aunque se obtuvieron resultados parciales prometedores, las limitaciones técnicas persistieron, requiriendo ajustes continuos.

Adicionalmente, se desarrollaron visualizaciones básicas en 2D y 3D, que aunque simples, fueron fundamentales al demostrar las capacidades y potencial del sistema para realizar tareas más complejas y precisas. Estos modelos visuales sirvieron como prueba conceptual, facilitando la transición hacia soluciones más avanzadas y funcionales.

Finalmente, se consolidó la matriz de decisiones, que actualmente está en uso. Esta herramienta permite a los usuarios ingresar fácilmente las medidas específicas necesarias, buscando en tiempo real en una base de datos existente el empaque que mejor se ajusta a los requerimientos, mostrando visualizaciones 3D y ofreciendo la posibilidad de abrir archivos directamente en ArtiosCAD. Esto ha significado una ventaja sustancial en la simplificación del proceso de diseño y revisión, aunque actualmente depende de una base de datos finita de diseños.

Para el futuro, se plantea implementar una inteligencia artificial avanzada que permita automatizar aún más este proceso. Esta futura implementación pretende superar la limitante actual al generar automáticamente nuevos diseños cuando no existan coincidencias en la base de datos, ampliando así continuamente las opciones disponibles. Las expectativas incluyen reducir

significativamente los tiempos de cotización, minimizar el desperdicio de materiales, incrementar la precisión en los diseños generados y fomentar la generación automática de propuestas innovadoras y funcionales, garantizando una mejora constante y significativa en la eficiencia operativa.

4.4.1. Cronograma de trabajo

La siguiente tabla organiza la ejecución de la ingeniería de detalle en un horizonte de dos años, segmentado por estaciones y estructurado en etapas y subetapas con entregables, responsables y puntos de control de calidad. Su propósito es dar visibilidad a la secuencia lógica del trabajo desde la preparación y depuración de datos, la parametrización de plantillas y la definición de criterios de diseño, hasta la generación de archivos de manufactura y su validación en planta, así como establecer los hitos que habilitan la toma de decisiones. Cada celda sintetiza la actividad principal de la fase correspondiente y se conecta con métricas de seguimiento (merma, tiempos por etapa, precisión dimensional, productividad y costo unitario), de modo que el avance pueda verificarse con evidencia y la mejora continua quede incorporada al propio cronograma.

El cronograma sintetiza la ingeniería de detalle en un horizonte de dos años, segmentado por estaciones y organizado en etapas y subetapas con entregables, responsables y puntos de control de calidad. Su función es dar trazabilidad a la secuencia de trabajo desde la preparación y depuración de datos, la parametrización de plantillas y la definición de criterios de diseño, hasta la generación de archivos de manufactura y su validación en planta y fijar hitos que habilitan decisiones informadas. Cada celda resume la actividad principal de la fase y se vincula con métricas de seguimiento (merma, tiempos por etapa, precisión dimensional, productividad y costo unitario), de modo que el avance sea verificable y la mejora continua quede integrada al propio plan.

Tabla 3

Cronograma de los procesos realizados en la maestría.

Etapa del proceso	Año 1			Año 2		
	Primavera	Verano	Otoño	Primavera	Verano	Otoño
Etapa 1	Preparación metodológica y técnica: objetivos, depuración de datos, catálogos y tolerancias; reglas de captura y trazabilidad.	Cierre de documentación base y plantilla de registro; capacitación inicial.	Ajustes menores y verificación de preparativos.			
Etapa 2	Diseño de la arquitectura CAD a corte (borrador).	Implementación del módulo de selección, acomodo en lámina y exportación a manufactura; plantillas parametrizadas v1.	Ajustes tras pruebas de escritorio.	Ampliación de plantillas y validaciones; integración del tablero de indicadores.		
Sub-etapa 1		Generación de archivos listos y protocolo de pruebas de escritorio.	Corridas piloto controladas; medición de tiempos y precisión.			
Etapa 3	Validación en planta por familia; ajustes y lecciones operativas.			Estandarización y ampliación de cobertura; manual de operación y diccionario de variables.	Evaluación comparativa pre-post técnica y económica.	Consolidación operativa; procedimientos normalizados; carpeta técnica para auditoría.

Sub-etapa 1	Configurar validaciones y campos obligatorios en la Matriz de Decisiones.	Instrumentar trazabilidad por lote.	Evidencia de repetibilidad en ≥ 3 lotes por familia.	Tablero de indicadores semanal.	Trazabilidad completa en la evaluación; análisis por subgrupos.	Auditoría interna y preparación de escalamiento.
Sub etapa 2	Identificación de riesgos y plan de mitigación; plan de capacitación.	Capacitación operativa; checklist dimensional en uso.	Gestión de incidencias y ajustes.	Microcapacitaciones por rol; onboarding por familia.	Gestión de curva de aprendizaje en evaluación; comunicación de resultados.	Cierre de adopción; lecciones aprendidas.

Nota. Datos tomados de la observación sobre el proceso de TOG de Salvador López (2022).

Elaboración propia.

En conjunto, el cronograma asegura continuidad técnica entre fases, explicita puntos de control y alinea responsabilidades con entregables verificables, lo que reduce iteraciones de ensayo y error y facilita la lectura de riesgos y capacidades por periodo. Esta planificación respalda la evaluación pre y post y la interpretación de resultados operativos y económicos, al tiempo que deja establecida la carpeta técnica para auditoría y escalamiento. Con este cierre, se da paso al siguiente apartado, donde se describen los avances y evidencias asociados a cada hito y su impacto en merma, tiempos, precisión, productividad y costo unitario.

4.4.2. Plan de manejo de riesgos

El análisis de modo y efecto de la falla se incorpora como herramienta central del plan de manejo de riesgos para anticipar desviaciones técnicas y operativas antes de su impacto en calidad, tiempo o costo. Su uso permite identificar, describir y priorizar los modos de falla más probables del flujo desde diseño hasta corte y ensamble, valorando su severidad, su frecuencia de ocurrencia y la capacidad actual de detección. Con base en esta priorización, se establecen

acciones preventivas y correctivas, responsables, plazos y evidencias de cierre, de manera que cada riesgo cuente con un tratamiento explícito y verificable.

Imagen 1

Plantilla de Análisis de modo y efecto de la falla.

Análisis de Modo y Efecto de la Falla														
Nombre de Proceso o Proyecto: Código Matriz de decisión			Preparado por: Elías Salazar López et al			Página: 1 de 1								
Enviado por: Elías Salazar López et al			FMEA Fecha (Orig): 02/04/2025			Rev. A1								
Paso o Clave del Proceso	Modo de Falla Potenciales	Efectos de Fallas Potenciales	S E V	Causas Potenciales O C U	Controles de Ocurrencia	D E T	N P R	Acciones Recomendadas	Resp.	Acciones Implementadas	S E V	O C U	D E T	N P R
¿Cuáles es el paso del proceso?	¿De qué manera puede fallar el paso del proceso?	¿Cuál es el impacto de las variables de los pasos clave cuando hay un fallo (cliente o requerimiento o sistema)?	¿Qué tan severo es el efecto para el cliente?	¿Qué causa que el paso clave falle?	¿Que tan seguido o ocurre la causa o Modo de Fallo?	¿Cuáles son los controles existentes y procedimientos preventivo de Causa o Modo de Fallo?	¿Qué tan bien pueden detectar la Causa o Modo de Fallo?	¿Cuáles son las acciones para reducir la Ourrencia de la Causa o mejorar la Detección?	¿Quién es responsable de las acciones implementadas? Incluye fecha de completación.					
Funcionamiento de código	Errores en las líneas de código	Requerimientos internos	10	El código tenga alguna mala redacción	5	Revisión del código	10	600	Revisión del código	Elías López	10	5	10	600
Lectura de la base de datos	Llamados incorrectos entre código y base de datos	Requerimientos internos	10	Las entradas estén mal redactadas	4	Revisión del código	10	400	Revisión del código	Elías López	10	4	10	400
Dimensiones inválidas por parte del usuario	Que las dimensiones sean 0 o no numéricas	Cliente	1	No se pongan valores numéricos o dentro de parámetros	3	Mensajes específicos donde el valor esta erroneo	10	30	Mensajes específicos donde el valor esta erroneo	Elías López	1	3	10	30
Medidas que no se encuentran en la base de datos	Valores mayores a los previstos	Cliente	4	Que los valores sean mayores de los que tenemos en nuestra base de datos	8	Aumentar la base de datos	10	320	Aumentar la base de datos	Elías López	4	8	10	320
Visión del 3D	Errores en la visión 3d por parte del código	Requerimientos internos	4	Crashoo en el programa	2	Revisión del código	10	80	Revisión del código	Elías López	4	2	10	80
Visión de las especificaciones del empaque	Fallo en la interfaz	Requerimientos internos	6	Fallo de la interfaz por parte del código	1	Revisión del código	10	60	Revisión del código	Elías López	6	1	10	60
Apertura del 2d ArtiosCAD	No abra el programa ArtiosCad	Requerimientos internos	10	Mal funcionamiento del programa	3	Tener actualizado el programa	10	300	Tener actualizado el programa	Elías López	10	3	10	300
Validación con el 3d ArtiosCad	Crashoo del paso 2d a 3d	Requerimientos internos	8	Mal funcionamiento del programa	3	Tener actualizado el programa	10	240	Tener actualizado el programa	Elías López	8	3	10	240
Conversión a DXF	No se realice correctamente la conversión de programas	Requerimientos internos	1	Mal funcionamiento del programa	1	Tener actualizado el programa	10	10	Tener actualizado el programa	Elías López	1	1	10	10
Corte en CNC	Mal funcionamiento en la maquina	Requerimientos internos	2	Errores en la revisión del equipo	1	Calibración antes de iniciar con los cortes	9	18	Calibración antes de iniciar con los cortes	Elías López	2	1	9	18
Revisión Física	Las medidas quedaron distintas por tolerancias o errores de corte	Requerimientos internos	3	Que la maquina no haya sido calibrada correctamente	1	Validación de los materiales y medidas ingresadas	10	30	Validación de los materiales y medidas ingresadas	Elías López	3	1	10	30
Validación por parte del cliente	No sea lo que el cliente desea	Cliente	10	Que no satisfaga las necesidades del cliente por errores de los valores o la validación	3	Revisar donde se fallo, revisión postmortem	10	300	Revisar donde se fallo, revisión postmortem	Elías López	10	3	10	300

Nota. Datos tomados de la observación de la empresa de Salvador López (2025). Elaboración propia.

En el contexto de la ingeniería de detalle, el análisis se aplica sobre las etapas críticas del proceso y sus puntos de control, alineando las recomendaciones con las métricas operativas del proyecto: aprovechamiento de lámina, merma, precisión dimensional, tiempos de ciclo, productividad y trazabilidad por lote. El resultado es un mapa de riesgos ordenado por prioridad que guía decisiones de ajuste de plantillas, validaciones en la Matriz de Decisiones, parámetros de máquina y prácticas de capacitación, asegurando la continuidad técnica del cronograma y la mejora continua del sistema.

4.5. Metas de información

Las metas de información del proyecto se enfocan en recolectar datos precisos y significativos que permitan evaluar objetivamente la efectividad del sistema implementado y guiar decisiones futuras. Específicamente, se medirán métricas cuantitativas tales como la reducción en el desperdicio de materiales expresada en porcentaje, el tiempo promedio necesario por diseño, la velocidad para cotizar empaques antes y después de la implementación del sistema, el incremento esperado en la productividad general y el tiempo de respuesta ante nuevos proyectos. En el aspecto cualitativo, las metas incluyen evaluar el nivel de satisfacción del cliente respecto a los productos y servicios brindados, así como la percepción de los empleados sobre la facilidad de uso, la utilidad del sistema y las áreas potenciales de mejora continua.

La recolección de estos datos se realizará mediante entrevistas, observaciones directas, cuestionarios específicos, análisis documental y revisión periódica de registros internos de procesos, siendo Elías Salvador López el responsable principal de esta actividad. La frecuencia de evaluación y recolección de la información será mensual durante la ejecución del proyecto y posteriormente se ajustará a una evaluación bimestral tras la implementación definitiva del

sistema. Los resultados obtenidos serán utilizados directamente para realizar ajustes y mejoras continuas, validar la efectividad del proyecto y proporcionar información clave para decisiones estratégicas futuras dentro de la empresa.

5. Exposición y análisis de resultados y hallazgos

Este capítulo presenta, de manera ordenada y verificable, los resultados obtenidos con la estrategia de intervención, junto con su análisis técnico y operativo. Se describen las categorías de medición, los instrumentos y las escalas utilizadas, y se contrastan los indicadores clave en un diseño pre y post, incorporando intervalos de confianza y pruebas de significancia. La evidencia se organiza desde lo cuantitativo hacia lo cualitativo: eficiencia de material, tiempos de ciclo, precisión dimensional, productividad, costo unitario, trazabilidad y adopción, apoyándose en tablas y figuras con notas metodológicas y lectura económica. Finalmente, se discuten los impactos observados y su alineación con los objetivos de mejora, manteniendo trazabilidad entre datos, análisis e implicaciones para la toma de decisiones.

5.1. Sistematización y aplicación de escalas de medición

Para evaluar con claridad el efecto de la intervención, se organizó la información en categorías operativas y se asignó a cada una una escala de medición adecuada. La sistematización agrupa los datos en: eficiencia de material, aprovechamiento y merma; tiempos de ciclo, diseño, preparación y producción; calidad dimensional y precisión; productividad; costos unitarios; trazabilidad y adopción de la herramienta. Se utilizan escalas de razón para variables continuas con cero absoluto como minutos, milímetros, unidades por hora y costos; escalas de intervalo cuando interesa la magnitud de la desviación, por ejemplo, la precisión en milímetros; escala ordinal tipo Likert de 1 a 5 para captar percepciones de aceptación y usabilidad; y escala nominal para clasificaciones de familia, material y turno. La captura se realiza mediante instrumentos

estandarizados: Matriz de Decisiones con cálculos automáticos y campos obligatorios, bitácora de producción para tiempos, paros y retrabajos, checklist dimensional, encuesta Likert breve que evalúa facilidad, utilidad, rapidez, confianza y disposición de uso, y entrevista semiestructurada a informantes clave.

Tabla 4. *Relación entre categorías, variables, escala e instrumento (incluyo fórmulas cuando aplica).*

Categoría	Variable (definición)	Escala	Unidad	Instrumento / Fuente	Aplicación / Fórmula
Eficiencia de material	Aprovechamiento = área útil / área total	Razón	%	Matriz de Decisiones	Área tota/Área Útil ×100
Eficiencia de material	Merma = (ingresado – útil) / ingresado	Razón	%	Bitácora + pesaje	I-U/I×100
Tiempos de ciclo	Diseño, preparación, producción	Razón	min	Logs/cronometría	Diferencia marcas inicio–fin (promedio por lote)
Calidad dimensional	Precisión = real – nominal	Intervalo/Razón	mm	Calibrador + checklist	Media y p95 por lote; objetivo ±0.5 mm
Calidad de resultado	Cumplimiento de tolerancias	Nominal→ Proporción	% piezas	Muestreo por lote	Dentro/Muestrax100
Defectos	Retrabajos por lote	Razón (conteo)	n° /lote	Bitácora	Tasa por 100 unidades
Productividad	Unidades por hora	Razón	unidades/h	Bitácora	Unidades/Tiempo efectivo
Costos	Costo unitario	Razón	MXN/unid	Hoja de costos	Costo lote/Unidades
Datos de proceso	Trazabilidad (registros completos)	Nominal→ Proporción	% lotes	Matriz (validaciones)	% de lotes con todos los campos válidos
Adopción	Aceptación de la herramienta (5 ítems)	Ordinal (Likert 1–5)	Índice 1–5	Encuesta breve	Promedio por ítem y global

Nota. Datos tomados de la base de datos de PuntoPack (2025). Elaboración propia.

Con base en la Tabla 4, el procedimiento inició con la estandarización de plantillas y una capacitación breve para asegurar criterios únicos de medición. Se levantó una línea base sin soporte de IA que permitió caracterizar la situación inicial. Posteriormente, se desplegó la intervención mediante un prototipo con selección automática de empaque, acomodo en lámina y generación de archivo de corte, y se registró el periodo posterior bajo el mismo protocolo y en condiciones comparables. A lo largo del proceso se controlaron sesgos mediante la

documentación sistemática de cambios de materia prima, mezcla de producto, mantenimientos y micro paros; además, se excluyeron observaciones atípicas cuando existió justificación por causa especial.

5.2. Organización de la información obtenida

La organización de la información sigue el mismo recorrido que vive el usuario cuando trabaja con el prototipo, de modo que los resultados no se presentan como datos aislados, sino como parte de un flujo completo de decisión y producción. En el primer tramo, el usuario ingresa las dimensiones del producto y selecciona la familia de empaque; a partir de ello, el código desarrollado en Python consulta la base de datos y genera, de forma automática, un conjunto de alternativas viables. Estas alternativas se muestran en una tabla con largo, ancho, alto, volumen y capacidad, y al mismo tiempo el algoritmo de anidado calcula cuántas piezas caben en cada tamaño de lámina disponible, el porcentaje de aprovechamiento y de merma y un costo aproximado por lámina. La interfaz integra estos cálculos en un solo panel: arriba, la tabla con las opciones de empaque; al centro, una representación tridimensional que permite visualizar el volumen y la disposición interna; a la derecha, un resumen por tamaño de lámina con desperdicio, número de láminas requeridas y costo total, además de una recomendación automática de la alternativa más conveniente. En términos de datos, este momento del flujo ya concentra varias de las variables que después se analizan como eficiencia de material, tiempos de ciclo y costos unitarios, y muestra cómo el código traduce dimensiones y reglas de diseño en decisiones concretas para la operación.

Imagen 2

Interfaz del prototipo

Matriz de Decision de Empaques - v3 - Imposicion de Laminas

Parametros del objeto
 Selecciona la forma del objeto: Seleccionar X Mostrar tabla de todos los empaques que aplican

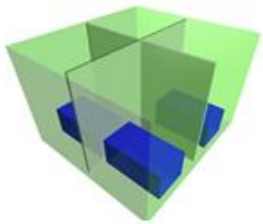
Dimensiones y restricciones
 Peso (kg): Holgura interna (mm): 3.0 Separacion minima (mm) piezas/paredes: 10.0 Unidades (1-20): 1

Separadores internos (opcional)
 Usar separadores (rejilla) Celdas totales (0-12): 0 Grosor separador (mm): 2.0

Imposicion en lamina (stock)
 Plano Ancho (mm): Plano Alto (mm): Cantidad a fabricar: 50 **Optimizar lamina**
 Margen lamina (mm): 10 Separacion entre planos (mm): 4 **Editar laminas stock**

Resultados

Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Volumen (mm ³)	Capacidad (unidades)	Activo/CallBack
62.00	23.00	30.00	19600	4	no
93.00	46.00	30.00	19600	4	no
93.00	46.00	60.00	19600	4	no



Imposicion - Resultado

Resumen por lamina:

- Chica 1200x600 mm cap: 54 laminas: 1 desperdicio: 14.8% costo total: \$55.00
- Mediana 1600x1200 mm cap: 108 laminas: 1 desperdicio: 16.1% costo total: \$78.00
- Grande 2000x1400 mm cap: 185 laminas: 1 desperdicio: 12.6% costo total: \$105.00
- Extra 2400x1600 mm cap: 228 laminas: 1 desperdicio: 12.3% costo total: \$112.00

Recomendacion -> Chica (1200x600 mm), 1 lamina(s), costo total aprox: \$55.00

Aceptar

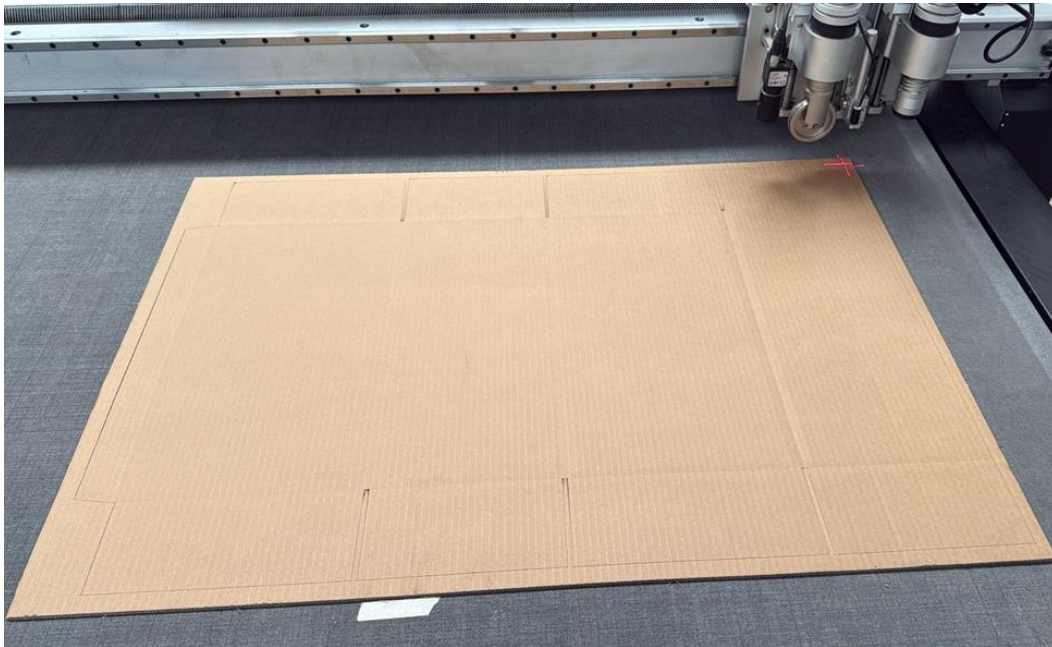
Nota. Interfaz donde el usuario puede ir agregando los requisitos necesarios para su prototipo.

Una vez seleccionada la alternativa recomendada, el prototipo genera el archivo de corte con la geometría del empaque y lo deja listo para abrir en ArtiosCAD o enviarlo directamente al control numérico de la mesa CNC. En el fondo, el código no solo dibuja líneas: también arrastra consigo la información de dimensiones, tolerancias, familia de producto, capa de corte y versión del diseño, lo que permite vincular cada lote producido con su archivo de origen y con las condiciones en que fue generado. Cuando el archivo se ejecuta en la mesa RINO, la lámina de cartón se posiciona, el cabezal se desplaza y se realiza el corte completo de la muestra; en esta fase se cronometran los tiempos de preparación y producción, se registran posibles ajustes o retrabajos y se documenta el resultado en la bitácora. La imagen 3 ilustra este tramo del flujo, donde el prototipo se materializa en una pieza física lista para evaluación dimensional y funcional. De esta forma, el proyecto articula de manera continua lo digital y lo operativo: los campos capturados en la Matriz de Decisiones, las salidas del algoritmo de anidado y los registros de la CNC alimentan las tablas y gráficas de resultados, permitiendo reportar, en las secciones

siguientes, cambios en aprovechamiento, merma, tiempos de ciclo, precisión, productividad, costo por unidad, trazabilidad y adopción con una base de datos estructurada y trazable desde el código hasta la lámina cortada.

Imagen 3

Corte de la muestra



Nota. Corte de la muestra de cartón en la mesa CNC RINO a partir del archivo generado por el prototipo.

Este flujo asegura que cada decisión del prototipo quede reflejada en indicadores observables en planta, como que las medidas reales coincidan con las especificadas en el diseño, que el material utilizado sea el correcto y que el acomodo en lámina respete las tolerancias y el sentido de la fibra. Esto permite mitigar errores de interpretación y de ejecución, reducir retrabajos y correcciones de último momento, mejorar los tiempos de entrega y disminuir la probabilidad de fallas en el producto final. Sobre esta base el análisis presentado en el apartado

5.3, donde se cuantifica el impacto de la estrategia en merma, tiempos, precisión, productividad, costos y trazabilidad, y se contrasta con los objetivos de mejora planteados para la organización.

5.3. Impacto de la estrategia en la solución del problema

La intervención implementada, basada en la selección automática de empaque, el acomodo en lámina y la generación de archivos listos para corte, responde de manera directa al problema identificado en la empresa: merma elevada, tiempos extensos y variabilidad dimensional en el proceso de diseño y fabricación de empaques de cartón. A partir del diseño pre y post y de la metodología descrita en los apartados anteriores, la evidencia cuantitativa y cualitativa muestra que la estrategia reduce el material desperdiciado, acorta los tiempos de diseño, preparación y producción, mejora la precisión dimensional y estandariza la trazabilidad. Estos efectos se traducen en métricas operativas concretas, como láminas evitadas por semana, minutos ahorrados por lote y costo por unidad, con reportes de medias, diferencias absolutas y relativas, pruebas de significancia e intervalos de confianza. De esta forma, los resultados no solo confirman que la intervención funciona, sino que permiten dimensionar su impacto en términos comprensibles para la toma de decisiones.

En términos de eficiencia de material, el sistema incrementa el aprovechamiento de lámina y reduce la merma por dos vías principales. Por un lado, el algoritmo selecciona el diseño con mejor relación piezas/área al considerar restricciones de máquina, dimensiones del producto y tolerancias de fabricación, evitando configuraciones poco eficientes que antes podían pasar por ensayo y error. Por otro lado, la estandarización de los archivos de corte estabiliza la preparación, previene recortes adicionales y facilita la repetibilidad entre lotes. Este comportamiento se refleja en una disminución de la merma y en un menor costo unitario, al requerir menos láminas para producir la misma cantidad de piezas, además de liberar tiempo de máquina para otros pedidos. En cuanto a los tiempos de ciclo, la automatización acorta la etapa de diseño porque resuelve de manera integrada la selección del empaque, la documentación de dimensiones, materiales y tolerancias, y la generación del archivo de corte. Al mismo tiempo, reduce los tiempos de preparación al entregar archivos consistentes para suajadora o control numérico y estabiliza la

producción al disminuir correcciones en línea, lo que se observa en curvas de tiempo más compactas y con menor dispersión entre lotes.

La calidad dimensional mejora al reducir la diferencia entre la medida real y la medida nominal y al aumentar el porcentaje de piezas que cumplen la tolerancia objetivo de ± 0.5 milímetros. La vinculación entre archivo, lote y mediciones facilita la detección de desviaciones sistemáticas y permite corregir parámetros de corte o acomodo de manera oportuna. La trazabilidad se fortalece mediante validaciones y control de versiones en la Matriz de Decisiones y en los archivos generados, lo que habilita auditorías internas, análisis por subgrupos de material, familia y turno, y aumenta la reproducibilidad de los resultados. Para atribuir de forma adecuada los efectos observados a la estrategia y no a factores externos, se controlaron cambios en la mezcla de producto, el material y el proveedor, así como mantenimientos y eventos extraordinarios; además, se modelaron o excluyeron los primeros lotes del periodo posterior cuando presentaron curva de aprendizaje, y las diferencias por familia o material se reportaron por subgrupos, evitando generalizar sin evidencia estadística suficiente. En síntesis, la estrategia se traduce en menos merma, menor tiempo de ciclo y menos retrabajos, junto con mayor precisión, productividad y trazabilidad, ofreciendo una lectura económica suficiente para decidir, cotizar y escalar con mayor certeza. Estos resultados se enlazan de manera directa con los objetivos de mejora planteados en el proyecto, al mostrar que es posible elevar el desempeño del sistema sin depender de nueva maquinaria, sino a partir de datos, reglas y automatización del flujo CAD a corte.

5.3.1. Alineación con la estrategia general de la organización

La intervención se alineó con la estrategia y la forma de operar de la empresa, basada en combinar eficiencia operativa, personalización para clientes internacionales y sostenibilidad con una inversión de capital limitada. El objetivo central fue reducir merma, tiempos de ciclo y variabilidad dimensional sin depender de nueva maquinaria, aprovechando al máximo los recursos existentes. En coherencia con ello, se priorizó la estandarización de datos y procesos, la automatización del flujo de CAD a corte y el fortalecimiento de la trazabilidad como palancas de

mejora continua, alineadas con la búsqueda de competitividad en costos y un servicio confiable para el cliente. La intervención no introduce un cambio aislado, sino que reordena la forma en que se decide, se diseña y se corta, para que cada pedido pueda pasar por un proceso más predecible, medible y replicable.

Esta alineación se concretó en acciones específicas dentro del día a día de la planta. Con cada cliente nuevo, o cuando se incorpora un producto distinto, se registra un nuevo prototipo en la base de datos con las dimensiones, resistencias, materiales y requisitos particulares de ese proyecto, de manera que las siguientes cotizaciones y corridas partan de información ya estructurada y validada. El sistema se actualiza de forma incremental: se ajustan reglas de acomodo, se refinan parámetros del algoritmo y se corrigen detalles de código conforme se detectan oportunidades de mejora en la operación real. En paralelo, se realizan microcapacitaciones al personal de diseño, cotización y producción para mostrar cómo ingresar datos, interpretar las salidas del prototipo y aprovechar las recomendaciones de empaque, lo que reduce la dependencia de conocimientos informales y facilita que más personas puedan utilizar la herramienta con confianza.

Sobre esta base, la Matriz de Decisiones funciona como una fuente única de verdad para medidas, materiales y tolerancias, asegurando consistencia entre diseño, cotización y producción y reduciendo discrepancias que antes podían surgir entre áreas. La selección automática del tipo de empaque y el acomodo en lámina sustituyen el ensayo y error y elevan el aprovechamiento del cartón, integrando en la práctica el criterio técnico que antes dependía de la experiencia individual. La generación de archivos listos para suajadora o control numérico acorta los tiempos de preparación y reduce los retrabajos, al disminuir configuraciones manuales y errores de interpretación. La trazabilidad por lote, que integra versión de archivo, tiempos e incidencias, habilita un mejor control de calidad y auditoría interna, mientras que las validaciones estandarizadas actúan como una red de seguridad que evita omisiones críticas. Finalmente, los indicadores de merma, tiempos, precisión, productividad y costo por unidad se integran en un tablero con metas de corto plazo y una lectura económica clara, que permite monitorear avances, corregir desvíos y tomar decisiones informadas. En conjunto, la intervención se inscribe de forma natural en la estrategia de la organización, al traducir la visión de eficiencia y personalización en

prácticas concretas sustentadas en datos, aprendizaje incremental y un uso más inteligente de la tecnología disponible.

6. Discusión final

Este capítulo ofrece una lectura integral de los resultados y de lo que significan tanto para la organización como para el campo de estudio. A partir de la comparación entre el antes y el después, y apoyándose también en la evidencia cualitativa, se analizan las razones por las que la estrategia logró reducir merma y tiempos, estabilizar la precisión dimensional y fortalecer la trazabilidad. La discusión se organiza en tres planos. En el plano operativo, los hallazgos se traducen en efectos concretos sobre la productividad y el costo por unidad. En el plano metodológico, se revisan las decisiones de medición, el control de sesgos y el diseño de la intervención. Finalmente, en el plano conceptual, se ubica la propuesta dentro del debate sobre eficiencia, automatización con la persona aún en el bucle y mejora continua guiada por datos.

6.1. Consecuencias de la aplicación de la estrategia de innovación

En primer término, se redujo la merma hasta alcanzar niveles de 10–15% de desperdicio, independientemente del tamaño de lámina de cartón o del diseño acomodado en ella, lo que elevó el aprovechamiento de material. La eliminación del ensayo y error en el anidado, junto con la selección sistemática del diseño con mejor relación piezas/área y la emisión de archivos de corte uniformes, disminuyó el desperdicio, mejoró el costo por unidad y liberó tiempo de máquina. De forma paralela, se acortaron los tiempos de ciclo: el tiempo de diseño se redujo al automatizar la selección y documentar dimensiones, con un tiempo cronometrado de alrededor de 30 minutos por diseño y de 2–3 minutos para generar la muestra en la máquina CNC. El tiempo de preparación también descendió gracias a archivos consistentes para suajado o control numérico, y la producción se estabilizó al disminuir las correcciones en línea. Operativamente, estos cambios se tradujeron en mayor productividad y en un incremento de la capacidad efectiva sin inversión adicional, con una estimación económica basada en minutos ahorrados y costo por hora.

En segundo lugar, mejoró la calidad dimensional y disminuyeron los retrabajos. Al limitar el acomodo a alternativas dentro de tolerancia y validar con una lista de verificación, se redujo la dispersión entre la medida real y la nominal y aumentó el porcentaje de piezas dentro del objetivo de ± 0.5 milímetros. Como consecuencia, cayó la tasa de retrabajos por cada cien unidades, con un impacto directo en tiempos y costos. Paralelamente, se fortalecieron la trazabilidad y el gobierno de datos: la Matriz de Decisiones, apoyada en validaciones y control de versiones, incrementó el porcentaje de lotes con registro completo, habilitó auditorías internas y permitió análisis por subgrupos de material, turno y familia, favoreciendo la reproducibilidad y la mejora continua. La adopción interna se consolidó con niveles altos de usabilidad y confianza, apoyados en una curva de aprendizaje corta mitigada mediante capacitación focalizada y reglas de validación claras.

Para atribuir estas consecuencias a la estrategia y no a factores externos, se controlaron la mezcla de producto, los cambios de material y proveedor y los mantenimientos. Asimismo, se modelaron o excluyeron los lotes iniciales del periodo posterior cuando evidenciaron una curva de aprendizaje. Las diferencias por familia o material se reportaron siempre por subgrupos y no se generalizaron sin evidencia estadística suficiente. En conjunto, la intervención se tradujo en menos merma, menos minutos y menos retrabajos, junto con mayor precisión, productividad y trazabilidad, articulando de forma transparente categorías, escalas e instrumentos con una lectura operativa y económica útil para decidir y escalar.

6.1.1. Aspectos de mejora para intervenciones subsecuentes

Las siguientes iteraciones buscan fortalecer la validez y el alcance del proyecto sin afectar la operación diaria. El diseño pre y post aplicado inicialmente en una sola familia permitió robustecer la validez interna, aunque limitó la posibilidad de extrapolar resultados. Por ello, se propone ampliar la evaluación por subgrupos (familia, material y turno), definiendo tamaños mínimos de muestra y, cuando sea viable, incorporando grupos control concurrentes para reducir efectos de estacionalidad. Además, se establecerán metas trimestrales por indicador, con bandas de control alrededor de la media para detectar desviaciones a tiempo y activar ajustes tempranos.

En paralelo, se reforzará la integridad de datos desde la captura mediante validaciones más estrictas, listas controladas y una auditoría muestral continua sobre una fracción fija de lotes por semana, cruzando la Matriz de Decisiones con la bitácora y manteniendo un diccionario vivo de variables (definiciones, unidades y responsables).

En el flujo técnico, el proceso de CAD a corte evolucionará de una automatización guiada a una automatización basada en reglas claras. Se ampliará la biblioteca de plantillas parametrizadas, haciendo visibles dimensiones, pestañas, radios mínimos y tolerancias, e incorporando reglas de acomodo que consideren sentido de la fibra, márgenes de seguridad y zonas prohibidas. Se habilitará la exportación nativa a suajadora o control numérico, con preajustes por material (velocidad, profundidad y número de pasadas), y se integrarán alertas que bloqueen el envío cuando el archivo no cumpla tolerancias o distancias mínimas, evitando reprocesos. La escalabilidad se gestionará por oleadas, familia por familia, apoyándose en micro capacitaciones por rol, documentos de onboarding breves y criterios de salida que combinen metas de merma y precisión. En la dimensión económica, se desagregará el costo por unidad con un costeo basado en actividades simplificado y se aplicarán análisis de sensibilidad (precio de material, costo por hora) para priorizar iniciativas por retorno, cuantificando además kilogramos de cartón evitados y porcentaje de reutilización de retazos para comunicar valor sostenible a clientes clave.

En gobernanza y riesgos, se formalizará una matriz de probabilidad e impacto con planes de contingencia por evento, se consolidará el respaldo y versionado de datos, scripts y plantillas mediante copias automáticas y responsables designados, y se establecerán protocolos ante incidencias que contemplen reprocesos, comunicación con el cliente y ajuste de parámetros tras el análisis de causa raíz. Se mantendrá un ciclo quincenal de retroalimentación breve para acordar ajustes de reglas y documentar lecciones aprendidas. En la agenda de desarrollo se iniciará un piloto con modelos generativos entrenados con diseños históricos y sus restricciones, comparando su desempeño frente a las plantillas actuales; en paralelo, se explorarán heurísticas de anidado y un gemelo digital ligero para simular tiempos y merma antes de liberar cambios a producción. En conjunto, estas líneas refuerzan la calidad de los datos y de las reglas,

profesionalizan la adopción, mejoran la lectura económica y ambiental y preparan un escalamiento controlado con innovación gradual.

6.2. Relevancia y trascendencia disciplinaria del caso

El caso crea una relación entre ingeniería de productos y procesos, diseño asistido por computadora y adopción responsable de inteligencia artificial generativa en manufactura real. La intervención no solo resolvió un problema operativo, sino que también puso a prueba una forma de hacer ingeniería basada en datos trazables, reglas explícitas, cierre del flujo CAD a corte y evaluación pre y post para atribuir efectos.

En el plano metodológico, suma una ruta reproducible que integra definición operacional de variables con escalas idóneas, control de sesgos y lectura técnica y económica en un mismo marco. En el plano conceptual, articula optimización combinatoria con restricciones reales, automatización situada mediante estándares entre diseño y manufactura y mejora continua basada en datos mediante bandas de control, análisis por subgrupos y priorización de defectos. La relevancia llega hasta la sostenibilidad y gobernanza de datos. La cuantificación de material evitado y el fortalecimiento de la trazabilidad alinean la innovación con metas ambientales y con exigencias de auditoría de clientes nacionales e internacionales. La gobernanza de datos, con definiciones, validaciones y control de versiones, habilita investigación acumulativa y escalamiento responsable.

Referencias bibliográfica

Applied IT. (2022). *La revolución de la inteligencia artificial en la optimización de procesos*.

Applied IT. Recuperado de <https://applieditweb.com/es/la-revolucion-de-la-inteligencia-artificial-en-la-optimizacion-de-procesos/>

Colprinter. (2021). *Impacto de la inteligencia artificial en el packaging*. Colprinter. Recuperado

de <https://www.colprinter.com/blog/impacto-de-las-ia-en-el-packaging>

DealIII. (2019). *Inteligencia artificial en el packaging*. DealIII. Recuperado de

<https://dealidos.com/blog/inteligencia-artificial-en-el-packaging/>

Flores Berrios, N. (2021, abril 15). *Por pandemia, aumenta 200% demanda de empaques de*

cartón: Canacintra. Milenio. Recuperado de

<https://www.milenio.com/negocios/pandemia-aumenta-200-demanda-empaques-carton-canacintra>

IBM. (2020, 12 de mayo). *What are Generative Adversarial Networks?* Recuperado de

<https://www.ibm.com/cloud/learn/generative-adversarial-networks>

Martínez, J., Sánchez, P., & López, M. (2014). *La cultura organizacional y las estrategias*

competitivas en la industria de celulosa, cartón y papel en México. *Revista de Ciencias*

Sociales, 20(2), 95-110. Recuperado de

https://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-02792014000200005

NumPy. (s.f.). *NumPy: the absolute basics for beginners*. Recuperado de [NumPy: the absolute](#)

[basics for beginners — NumPy v2.3 Manual](#)

OpenAI. (2021). DALL·E: *Creating Images from Text*. Recuperado de

<https://openai.com/blog/dall-e/>

Pandas. (2024). *Essential basic functionality*. Recuperado de

[Essential basic functionality — pandas 2.3.3 documentation](#)

PyTorch. (2025). *User Guide*. Recuperado de

[User Guide — PyTorch 2.9 documentation](#)

Python Software Foundation. (2024). *Using Python on Windows*. Recuperado de [4. Using](#)

[Python on Windows — Python 3.14.0 documentation](#)

QuimiNet. (2022, julio 20). *Pese a aumento en costos de empaques de cartón la demanda crece.*

QuimiNet. Recuperado de <https://www.quiminet.com/noticias/pese-a-aumento-en-costos-de-empaques-de-carton-la-demanda-crece-4587060.htm>

Real Python. (2020, 10 de junio). *Why Is Python So Popular in Data Science?* Recuperado de

<https://realpython.com/what-can-i-do-with-python/>

Rodríguez, S. (2020). *El rol de la inteligencia artificial en la optimización de procesos industriales.*

BRR. Recuperado de <https://brr.mx/el-rol-de-la-inteligencia-artificial-en-la-optimizacion-de-procesos-industriales/>

Secretaría de Economía. (2019). *Fabricación de productos de cartón y papel* - Data México.

Secretaría de Economía. Recuperado de

<https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/industry/converted-paper-product-manufacturing>

TensorFlow. (2024). *TensorFlow Documentation*. Basic classification: Classify images of clothing.

Recuperado de <https://www.tensorflow.org/learn>

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). (2020). *También hay desabasto de cartón en México... y subieron de precio los empaques*. Recuperado de [También hay desabasto de cartón en México... y subieron de precio los empaques](#)
[|Archivos de la Pandemia en México](#)

Universidad Tecnológica del Perú. (2020). *Técnicas y métodos para la reducción de desperdicios en los procesos de fabricación de la industria del cartón y del papel usadas a nivel mundial en los últimos 5 años*. Repositorio UTP. Recuperado de <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/4186>