

OPTIMIZACIÓN CON ENFOQUE A DISEÑO Y SIMULACIÓN EN LA IDEALIZACIÓN DEL PROCESO DE EMBALAJE

OPTIMIZATION WITH A FOCUS ON DESIGN AND SIMULATION IN THE IDEALIZATION OF THE PACKAGING PROCESS

Gutiérrez Martínez Héctor Luis
Tecnológico Nacional de México/ I.T. De Pachuca
<https://orcid.org/0009-0007-7820-9575>
hector.gm@pachuca.tecnm.mx

Mohedano Torres Enrique de Jesús
Tecnológico Nacional de México/ I.T. De Pachuca
<https://orcid.org/0000-0002-0219-5038>
enrique.mt@pachuca.tecnm.mx

Cortés Zapata Silvia Sarahi
Tecnológico Nacional de México/ I.T. De Pachuca
<https://orcid.org/0009-0008-7990-1595>
l20200703@pachuca.tecnm.mx

Isidro Manzano Sebastián Arath
Tecnológico Nacional de México/ I.T. De Pachuca
<https://orcid.org/0009-0004-6638-6636>
l20200711@pachuca.tecnm.mx

Anguiano Montiel Johana Melina
Tecnológico Nacional de México/ I.T. De Pachuca
<https://orcid.org/0009-0006-1151-915X>
l22200798@pachuca.tecnm.mx

DOI: <https://doi.org/10.61273/neyart.v4i1.159>

| Recibido: 02/12/2025 | Aceptado: 06/02/2026 | Publicado: 10/03/2026

Esta obra está bajo
una licencia internacional
Creative Commons Atribución 4.0.



Resumen-- El presente trabajo de investigación titulado “Optimización con enfoque a diseño y simulación en la idealización del proceso de embalaje”, tuvo como objetivo principal optimizar el sistema de embalaje en una empresa de giro cerámico. Conforme a ello, se aplicó metodología de ingeniería concurrente para rediseñar procesos de cubicaje enfocados en mejorar la eficiencia, seguridad y sostenibilidad del transporte de productos cerámicos.

Para lo ya mencionado, se realizó una primera fase con un análisis cualitativo con el personal de diversos departamentos involucrados, y a partir de estos hallazgos, se plantearon soluciones centradas en el diseño de empaques más resistentes, modulares y adaptables. Con el uso de SolidWorks 2024, se desarrollaron prototipos digitales y físicos que fueron sometidos a simulaciones y pruebas físicas que validaron su desempeño frente a los estándares de carga y estabilidad establecidos por la empresa. A su vez, también se desarrolló de una herramienta automatizada en Excel vinculada a SolidWorks 2024, la cual permite generar empaques personalizados a partir de un archivo base. Esta automatización ha reducido errores, estandarizado procesos y disminuido la dependencia del área de ingeniería, beneficiando directamente a departamentos como exportaciones, compras y producción.

Palabras clave-- Diseño, Embalaje, Ingeniería concurrente, Optimización, Simulación.

Abstract-- This research project, entitled “Optimization with a Design and Simulation Approach in the Idealization of the Packaging Process,” aimed to optimize the packaging system of a ceramics company. To this end, concurrent engineering methodology was applied to redesign cubing processes focused on improving the efficiency, safety, and sustainability of ceramic product transportation. Additionally, an automated Excel tool linked to SolidWorks 2024 was also developed, which allows for the generation of customized packaging from a base file. This automation has reduced errors, standardized processes, and decreased dependence on the engineering department, directly benefiting departments such as export, purchasing, and production.

Keywords: Concurrent Engineering, Design, Optimization, Packaging, Simulation

INTRODUCCIÓN

El proceso de cubicaje puede ser complejo si se desea obtener un resultado óptimo en cada una de sus etapas (Jiménez, 2015), parte de las nuevas tecnologías de simulación como SolidWorks, permiten

simular y analizar cargas las cuales son sometidas a transportes tanto nacionales como internacionales, por ello resulta indispensable apoyarse de herramientas digitales que prevean posibles fallas bajo condiciones reales. (Kruk, P, 2023)

Por ello actualmente, el *software* de *SolidWorks* es usado ampliamente en la industria para diversos procesos (Sánchez, 2020), uno de ellos es la simulación y creación de planos que dictan instrucciones para que departamentos de producción o calidad tengan un marco de referencia que facilite la creación y validación de la distribución en pallets para su transporte (Hernández J. A., 2018).

Por otro lado, según Bon, A. T. (2018) cuando no se tiene una estandarización se producen demoras significativas en las actividades, sin embargo, aplicando un nuevo método basado en tiempos definidos el tiempo ciclo se reduce hasta un 11.1 %, mejorando la sincronización de las tareas, no obstante, se corre el peligro de, en el caso de no ser identificadas las actividades al acomodar un producto, puede poner en peligro la estabilidad y la integridad de las cargas durante el transporte y por consiguiente la llegada del producto en mal estado al cliente.

Por dichas razones se puede decir que el uso de tecnologías y métodos de automatización dentro del proceso resulta favorable en un entorno industrial en donde se requiere el envío de productos (Ferreira y Reis, 2023). Además, minimiza la dependencia del criterio humano y reemplazarlo por estándares preestablecidos puede ayudar a disminuir errores que provengan de la experiencia y conocimiento del operador.

Para reconocer el alcance de las tecnologías ya mencionadas, así como la influencia que pueden tener se recurrió a una ruta metodológica que integre los enfoques de ingeniería concurrente y *Design Thinking* que permiten estructurar el desarrollo del proyecto bajo principios de simultaneidad, análisis técnico y comprensión empática del usuario final. La ingeniería concurrente, como método propuesto por Winner et al. (1988), plantea realizar actividades de diseño, validación y desarrollo de manera paralela, garantizando eficiencia en tiempos y calidad en resultados. Por su parte, el *Design Thinking*, conceptualizado por Brown (2009), ofrece una secuencia iterativa orientada a la innovación centrada en las personas, favoreciendo la identificación de oportunidades desde la observación directa y la experimentación práctica.

Aplicar ambos enfoques ha permitido diseñar soluciones enfocadas en el sistema de embalaje, con especial atención a las condiciones reales del entorno de trabajo. El proceso metodológico se ha

estructurado en etapas progresivas bajo un enfoque *SMART* (Specific, Measurable, Achievable, Relevant Timely) el cual permite documentar todo el sistema vinculado al embalaje de productos garantizando que cada fase del sistema de embalaje fuera clara, medible y orientada a resultados.

De esta manera, con una investigación de tipo mixta, es decir, tanto se recurrió a una investigación documental como a observación directa de los operarios, se identificó la problemática concreta de la empresa con respecto al cubicaje de piezas cerámicas y se obtuvo que la principal causa de los retrasos en el modelado de tarimas en *SolidWorks 2024* es la falta de capacitación del personal en el uso avanzado del software. Esta deficiencia impacta directamente en el asertividad del proceso, ya que los errores en la manipulación de herramientas, la interpretación de planos y la generación de modelos 3D provocan retrabajos y tiempos prolongados de diseño (Hmeshah, 2017). La disminución del criterio del operario optimiza el flujo de trabajo, reduce errores y mejorar la precisión en la elaboración de modelos.

Lo anterior se concluye en una falta de automatización en los procesos dentro de *SolidWorks 2024* y *Excel*. En la mayoría de los casos, el modelado de tarimas y cubicaje se realiza de manera manual, lo que incrementa la variabilidad y el tiempo de ejecución. La implementación de herramientas paramétricas o configuraciones predefinidas dentro del software podría acelerar significativamente la generación de modelos y minimizar la dependencia de procesos repetitivos, mejorando la productividad en la fase documental.

Lo anterior dirige a otra problemática, la ausencia de estandarización en los documentos técnicos, lo que genera inconsistencias en la comunicación entre los departamentos involucrados, lo cual coincide con hallazgos en otros sectores, donde la documentación no estandarizada se asocia a problemas en calidad, flujo de información y coordinación interdepartamental (Ebbbers, 2022).

Con dicho contexto esta investigación propone el siguiente objetivo, el cual es diseñar y optimizar un sistema de embalaje, utilizando ingeniería concurrente y el uso de la herramienta de simulación *SolidWorks*, con el propósito de garantizar cargas seguras y estables durante el transporte, maximizar el aprovechamiento del espacio y reducir costos logísticos, mejorando la eficiencia en la cadena de suministro en empresas del sector cerámico.

Por tanto, el trabajo se justificó mediante el impacto que genera un algoritmo de cubicaje para el acomodo de mercancía en la empresa y tiene como objetivo garantizar las cargas seguras y el aprovechamiento volumétrico de las tarimas al momento de cubicar los productos y ser transportada, minimizando la

intervención del juicio de operarios y con ello se pretende reducir costos logísticos y minimizar riesgos de caída.

A partir de esta investigación, se pretende generar la optimización en el proceso de embalaje dentro de la industria, donde es esencial asegurar la protección, estabilidad y eficiencia en la distribución de productos. En este sentido, Bernal-Carrillo et al. (2024) afirman que el rediseño y estandarización del empaque es un factor clave para evitar pérdidas y maximizar el desempeño logístico, especialmente en sectores con productos frágiles, como el cerámico, donde es esencial para asegurar la protección, estabilidad y eficiencia en la distribución de productos donde se presentaban limitaciones significativas que afectaban la eficiencia operativa, desaprovechando el espacio total de las tarimas.

Lo anterior es importante, ya que puede influir en aspectos tanto sociales como tecnológicos, considerando que actualmente ya existen herramientas que automatizan el proceso de cubicaje; sin embargo, estas técnicas se encuentran limitadas al público al requerir de un pago para acceder a ellas y obteniendo por medio de este protocolo una técnica y herramienta diferente.

Retomando la idea, este proyecto impacta en el ámbito social, donde antes de desarrollar la propuesta de contribución, por tanto, se realiza un pilotaje en una empresa de mercancía frágil del sector cerámico, para probar la propuesta de contribución que consiste en unificar procesos de simulación y documentación.

Por tal motivo, como aspecto tecnológico, la creación de un algoritmo como herramienta, busca integrar diferentes aspectos de la mercancía para generar una mayor compatibilidad en su cubicaje y maximizar la ocupación volumétrica de la carga y garantizar la estabilidad del conjunto. De esta manera, el desenlace del algoritmo representó una solución viable accesible, la cual se puede adaptar a diferentes escenarios, siendo esta la variedad de dimensiones en cajas con las que cuenta la empresa para empaquetar su producto, dónde se buscó mejorar la eficiencia y el aprovechamiento de los recursos materiales y humanos. Por consiguiente, una investigación de tipo mixta resulta justificada por el potencial para generar un impacto positivo dentro de empresas del sector cerámico y los clientes finales.

METODOLOGÍA

Como consiguiente el trabajo de investigación aborda la ingeniería concurrente como forma de metodología para el desarrollo del estudio y el cumplimiento de las metas, citando a Taboada (2021) la ingeniería concurrente integra diseño de producto, proceso de fabricación y soporte a lo largo del ciclo de

vida desde las fases tempranas, mediante enfoques multidisciplinarios que trabajan en paralelo, estas acciones e ideas se condensan en diversos pasos que se muestran y explicados más adelante.

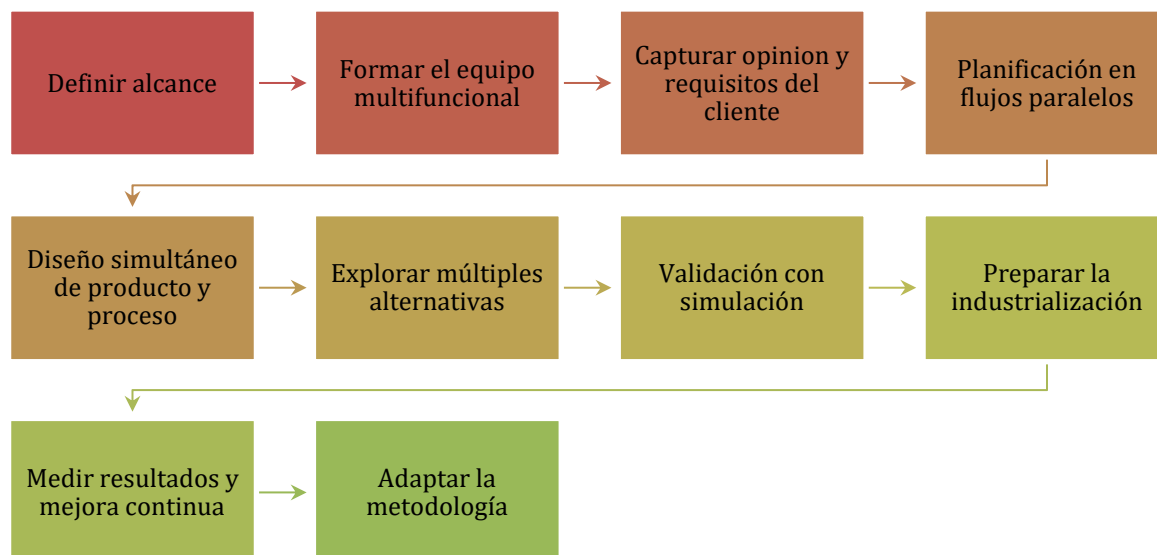


Figura 1. *Pasos de la metodología de ingeniería concurrente.*

Nota: Esta metodología se aplicó a el ámbito de empaque de productos cerámicos. Creación propia (2025).

Como primera instancia la ingeniería concurrente conlleva, según Mengual (2015), definir y delimitar el proyecto de forma que el desarrollo del diseño como los procesos relacionados están involucrados, con el objetivo de abordar el ciclo de vida completo del producto y del proceso, es decir, se abarca una investigación en todo su proceso de empaque en la planta de producción de productos de tipo cerámicos y los requisitos inmersos para el transporte de piezas frágiles.

Esta investigación tiene un enfoque multidisciplinario, pues de acuerdo con Raudberget (2024) se debe abordar desde diversas áreas con la colaboración de todos los actores para tener una mejora en la toma de decisiones, y llegados a este punto, McKenna (2021) señala que dicho enfoque debe recoger los requerimientos de forma interna y del ciclo de vida del producto, esto apoyado de herramientas como Mapa de empatía, 5 porqués, entre otras. Con el fin de conocer la opinión y experiencia de todos los colaboradores involucrados en el proceso de empaque y embalaje de los productos cerámicos.

Y acorde con la metodología a utilizar, se definen flujos paralelos donde varias actividades de investigación y diseño comienzan de forma simultánea, así como se establecen hitos de revisión integrados que son diseño, proceso, servicio así el enfoque reduce el tiempo total de desarrollo desde etapas

tempranas de acuerdo con Juárez (2015) este enfoque de trabajo genera que las decisiones de diseño incorporen restricciones de proceso evitando conflictos entre el área de diseño y manufactura.

Lo anterior conlleva a explorar múltiples alternativas, Pellerin (2020) menciona que se mantienen múltiples soluciones de diseño o proceso al principio, y posteriormente se descartan aquellas que no cumplen criterios relevantes, hasta converger en la mejor opción para proseguir con una validación temprana con prototipos y resolución de conflictos funcionales, según Sandoval (s.f) desde etapas tempranas, usar simulaciones digitales, prototipos físicos/lógicos, revisar ensamble, mantenimiento, producción; permite detectar problemas antes del lanzamiento, lo que reduce costos y tiempo de corrección y según Bertrand (1998) planificar la producción, logística y mantenimiento, garantiza que el sistema completo esté listo para su lanzamiento. La ingeniería concurrente considera el diseño del producto y de sus procesos relacionados incluyendo la fabricación y el soporte como un sistema integrado desde las fases iniciales.

Aunado a ello medir resultados, capturar lecciones aprendidas y mejora continua es parte fundamental para la investigación, Ashaab (2019) indica prioritario definir indicadores de rendimiento (tiempo de desarrollo, costo, defectos, retrabajos) y realizar revisiones posteriores al proyecto para documentar aprendizajes.

Finalmente se debe adaptar la metodología en un contexto de empaque y embalaje para industrias de productos cerámicos, Juárez (2015) señala que se debe implementar la ingeniería concurrente gradualmente, considerando la cultura, el tamaño de la empresa y sus recursos, para ello se recomienda comenzar con herramientas y pruebas piloto.

Tabla 1. Estado del arte.

Título	Objetivo	Limitantes	Metodología	Resultados	Referencia
1. Algoritmo de búsqueda en vecindarios grandes para resolver problemas de carga de contenedores (Solucionador de hojas de cálculo CLP)	- Mejorar el llenado y reducir espacios vacíos. - Desarrollar un algoritmo de búsqueda (LNS) para el problema de carga de contenedores y empaquetamiento 3D.	Excel limita el tamaño de las instancias y el tiempo de cómputo en problemas muy grandes. Requiere habilitar macros y usar Excel de escritorio	Investigación algorítmica: Investigación Algorítmica 1. Formulación del problema matemático CLP: Se define el problema de cubicaje considerando restricciones de peso, volumen, orientación y estabilidad. 2. Generación de solución: Ordena ítems y los inserta de forma inicial para tener un punto de partida. 3. Aplicación del algoritmo LNS 4. Iteración masiva del ciclo 5. Implementación práctica en Excel–VBA 6. Validación experimental	Logra altos porcentajes de utilización de volumen frente a otros métodos reportados, en conjuntos de pruebas estándar de CLP. Excel permite que operadores de logística o planeadores en PYMES puedan usar el algoritmo sin conocimientos de programación.	Şafak, Ö., & Erdoğan, G. (2023).
2. Modelo matemático híbrido	-Proponer un modelo matemático con heurísticas y técnicas	El software no se libera como	Modelo matemático Ingeniería Recurrente	El modelo logra soluciones satisfactorias en tiempos breves para	Rajadel Valdés, A., &

heurístico-combinatorio para carga balanceada de contenedores en la distribución de mercancías	combinatorias para el problema de cubillaje/carga de contenedores o camiones en la distribución de mercancías. -Garantizar el balance de carga para que los camiones sean estables y seguros	paquete open-source estándar No se compara experimentalmente con herramientas comerciales internacionales; la validación es principalmente conceptual y sobre casos prácticos internos.	1.Construcción de un modelo matemático formal con variables de peso, dimensiones, rotación y apilamiento y con restricciones de volumen, centrado de masa y balance de carga. 2. Diseño de una heurística “por muros”: Se divide el contenedor en franjas. 3. Algoritmo recursivo: El sistema genera posiciones y evalúa restricciones. 4. Integración con software especializado: El usuario carga una plantilla Excel. 5. Validación en casos reales: Se orienta a factibilidad técnica	situaciones prácticas de empresas de logística en Cuba. Considera explícitamente balance de carga, reduciendo el riesgo de accidentes por mala distribución del peso.	Cortés Cortés, M. (2025).
PackageCargo: Una herramienta de apoyo a la decisión para el problema de carga de contenedores con estabilidad	-Desarrollar PackageCargo, una herramienta de apoyo a la decisión para el problema de carga de contenedores que sea: modular, open source, capaz de combinar algoritmos de optimización aproximada con módulos de simulación de estabilidad dinámica	Unity y la arquitectura modular hacen que el software sea algo más complejo de desplegar que una simple plantilla Excel; puede requerir apoyo de TI. No se discute un estudio detallado de costo/beneficio de implementación en una empresa real concreta	Investigación aplicada 1.Revisión conceptual: Revisión de métricas de estabilidad dinámica en la literatura. 2. Diseño de arquitectura modular. 3.Integración de metaheurísticas de optimización. 4. Simulación de estabilidad: Permite validar la calidad del patrón de carga más allá del volumen. 5.Validación comparativa Se comparan resultados con software comercial.	PackageCargo logra patrones de empaquetamiento competitivos en términos de ocupación y calidad frente a soluciones comerciales. Permite evaluar la estabilidad dinámica de la carga, algo que muchos programas básicos de cubillaje no incluyen	Martínez-Franco, J., Céspedes-Sabogal, E., & Álvarez-Martínez, D. (2020).
SIC: Un sistema de embalaje inteligente con características de nivel industrial	-Presentar un sistema de empaquetamiento con “características de grado industrial” que extiende PackageCargo para hacerlo práctico para empresas reales. -Facilita a empresas una herramienta con interfaz amigable, amplias posibilidades de definición de instancias, guardado/edición/exportación y algoritmos de empaquetamiento.	Requiere desplegar una aplicación basada en Unity, lo cual puede ser más exigente técnicamente.	Investigación aplicada 1.Detección de necesidades industriales. 2. Reutilización y reconstrucción de PackageCargo. 3. Integración de heurísticas reactivas: Ajustan parámetros según rendimiento observado 4. Diseño centrado en el usuario 5. Validación funcional: Se evalúa la usabilidad y capacidad para resolver casos reales.	SIC proporciona una plataforma para uso industrial, manteniendo la posibilidad de adaptación y extensión. Utiliza algoritmos sofisticados pero encapsulados en una interfaz amigable, lo que acerca esos algoritmos a empresas sin equipo de I+D propio	Pachón, J. C., Martínez-Franco, J., & Álvarez-Martínez, D. (2022).

Nota: Se realizó un estudio de forma documental para conocer las herramientas existentes en la actualidad para industrias similares. Creación propia (2025).

DESARROLLO

Por medio de una investigación documental y de observación se detectaron las operaciones correspondientes a la concepción de un nuevo empaque hasta su llegada a producción en los departamentos correspondientes para productos cerámicos y con ello se determinó la siguiente línea de operaciones.

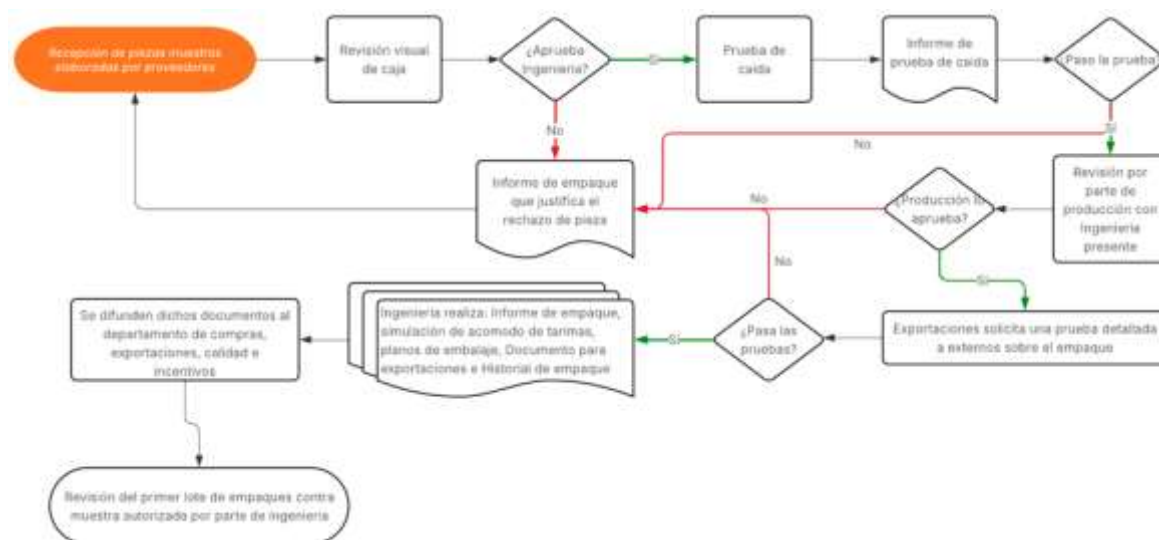


Figura 2. Diagrama de flujo en muestras de empaque.

Nota: Estatus actual de la empresa. Creación propia (2025).

Con lo anterior se determinó que la presente investigación conlleva el proceso de empaque desde su proceso de ideación, es decir, desde la búsqueda de un nuevo empaque, partiendo de un producto cerámico frágil, hasta un envío a nivel internacional bajo estándares impuestos por el cliente. Con ello se delimita la investigación a mejorar y automatizar el proceso de empaque en estas etapas.

Por otro lado, también se identificaron los requerimientos tanto de los usuarios como del cliente directamente, por medio de la observación directa de los colaboradores, de carácter tanto participativa como no participativa de diversos departamentos involucrados, en jornadas laborales continuas de 8 horas y en diferentes rangos temporales de su jornada, considerando el rendimiento variable. Se recurrió a investigación de tipo descriptiva por medio de encuestas y mapas de empatía, herramientas dirigidas a explorar la percepción del usuario sobre el sistema de empaque actual, las dificultades frecuentes, el nivel de entendimiento de los instructivos, y las sugerencias para mejorar el flujo de trabajo.

Con ello se detectó que este procedimiento se realiza de forma empírica y sin herramientas de automatización, aunado a que se observa escasa estandarización entre proyectos. Y varios colaboradores no están completamente familiarizados con el proceso establecido, lo cual los lleva a consultar apuntes previos, tutoriales o incluso a solicitar apoyo técnico externo, retrasando considerablemente los tiempos de entrega y generando posibles inconsistencias.

La falta de un sistema de comunicación fluido entre los departamentos, como calidad, compras, producción y ventas, agrava este problema, ya que la información sobre nuevas configuraciones de tarima o ajustes en el empaque no siempre llega de manera clara y oportuna. Esto puede derivar en errores operativos, retrasos logísticos o incluso inconformidades por parte de clientes que exigen estrictos estándares de presentación y protección

Este entendimiento profundo del entorno humano y técnico permitió identificar con mayor precisión las oportunidades de mejora. Asimismo, facilita el planteamiento de propuestas innovadoras tanto para la creación de nuevos empaques como para la implementación de un sistema de cubicaje más eficiente, automatizado y estandarizado, capaz de integrarse al flujo de trabajo de la empresa sin generar fricción entre áreas.

Atendiendo lo anterior y para determinar el flujo de trabajo paralelo se identificaron las líneas de investigación principales de la siguiente forma:

- Necesidad de estandarización en el diseño de empaques para facilitar la curva de aprendizaje de las operarias y mejorar su productividad.
- Necesidad de desarrollar un sistema de cubicaje más rápido, accesible y entendible para los miembros del área de ingeniería.
- Necesidad de mejorar la comunicación técnica entre ingeniería, calidad, producción y compras, mediante una documentación más clara de los empaques y sus configuraciones.
- Necesidad de integración digital de los sistemas de modelado y documentación del acomodo para agilizar su transferencia y consulta.

Con ello se generó una Tabla de requerimientos y criterios de diseño preliminares, basada en los hallazgos que representa las líneas de trabajo simultaneas a trabajar:

Tabla 2. *Criterios preliminares de diseño.*

Requerimiento identificado	Área relacionada	Criterio preliminar de diseño
Familiaridad con el empaque	Empacadoras	Rediseñar insertos y cajas con formas reconocibles y procesos repetitivos.
Reducción del tiempo en cubicaje	Ingeniería	Crear una herramienta automatizada de cubicaje

		mediante Excel u otro <i>software</i> accesible.
Transferencia de configuraciones entre departamentos	Producción, Calidad, Compras	Generar fichas técnicas de empaque con lenguaje visual claro y estandarizado.
Minimización del error en empaque	Empacadoras, Ingeniería	Incluir instructivos gráficos de armado y colocación, así como colores o códigos de empaque.

Nota: Se reunieron los puntos clave de diseño para cada involucrado en el proceso de empaque. Creación propia (2025).

Como resultado de la investigación previa se desarrollaron, durante una etapa de simulación y validación, un documento digital en formato *Excel* que tiene como propósito optimizar el flujo de trabajo documental, particularmente en lo relativo a la verificación de empaques solicitados para diferentes productos. Este archivo representa una solución integral que automatiza la recopilación y organización de datos técnicos esenciales para la evaluación y simulación de cajas de empaque. En la primera hoja del documento, el usuario tiene la posibilidad de introducir los datos clave de cada solicitud, comenzando por la identificación del producto (nombre, código, línea de diseño), sus dimensiones físicas (alto, largo y ancho), peso y tipo de material. Posteriormente, se incluye información específica sobre los insertos o elementos estructurales internos —como separadores, ajustadores o refuerzos— detallando su cantidad, medidas, disposición y materialidad, lo cual permite obtener un perfil completo de las características del empaque.

Una de las mayores ventajas de esta herramienta es su capacidad para generar, de manera automática, una segunda hoja con una ficha técnica que sirve como guía directa para realizar la simulación en el software *SolidWorks 2024*, esta hoja contiene los parámetros requeridos para construir el modelo digital del empaque, asegurando la estandarización y rapidez del proceso de diseño asistido por computadora. Con base a diez configuraciones predeterminadas diseñadas con el objetivo de ofrecer una variedad de esquemas estructurales que puedan adaptarse a las diferentes geometrías de los productos y a las dimensiones de las cajas, cada configuración representa una alternativa estratégica de distribución interna, considerando tanto la orientación del producto como su apilamiento.

El algoritmo implementado puede seleccionar la opción más adecuada o sugerir la más factible según el caso, ya sea priorizando la eficiencia de espacio o el ajuste preciso del producto al interior del contenedor. Asimismo, este análisis considera las dimensiones máximas permitidas en tarimas, el tipo de producto contenido y las restricciones logísticas definidas por los estándares de la empresa, lo cual permite brindar una recomendación técnicamente sólida y ajustada a las necesidades reales de transporte y almacenamiento.

Por otro lado para llevar a cabo la validación preliminar de las propuestas desarrolladas para comprobar la viabilidad funcional, operativa y estructural del rediseño de empaque, se procedió a la elaboración de prototipos tanto digitales como físicos, entendiendo esta fase como una etapa de experimentación tangible dentro del proceso de diseño centrado en el usuario y en las necesidades específicas del producto, la cual sugiere generar representaciones físicas del diseño para identificar mejoras potenciales, evaluar su interacción con el usuario y detectar oportunidades de optimización antes de la fase de implementación definitiva (Arastehfar, S., & Liu, Y., 2013)

En primer lugar, se desarrollaron prototipos digitales mediante la plataforma de diseño asistido por computadora SolidWorks 2024, recurso que permitió modelar con precisión las dimensiones reales de los productos y configurar los elementos del empaque, respaldando el principio de simulación y validación anticipada que promueve la Ingeniería Concurrente (Prasad, 1996), cuya integración metodológica ha permitido optimizar decisiones técnicas desde una perspectiva multidisciplinaria y transversal a lo largo de todo el proceso. Los modelos digitales generados ofrecieron información precisa en cuanto a la geometría, tolerancias y ensamblajes previstos en el sistema de empaque, permitiendo validar su ajuste perfecto con los productos cerámicos de diversas dimensiones.

Paralelamente, se elaboraron prototipos físicos utilizando cartón de calibre 32 ECT equivalente al previsto para producción final, lo cual permitió corroborar no solo la viabilidad técnica del diseño, sino también su facilidad de armado, la interacción directa por parte de las empacadoras durante la ejecución de pruebas piloto y la eficacia en condiciones reales de manipulación. Esta fase de prototipado físico se sustentó en los principios de iteración y prueba empírica propuestos por Kelley y Littman (2001), quienes destacan la importancia de validar ideas tangibles en contexto real para detectar con precisión sus aciertos, limitaciones y posibilidades de mejora antes de llegar a fases de escalado productivo.

.

Ingeniería concurrente aplicada a empaque de productos cerámicos



Figura 3. Ingeniería concurrente aplicada al empaque de productos cerámicos.

Nota: Se realiza en forma de diagrama para visualizar las operaciones simultaneas con los cambios implementados. Creación propia (2025).

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para proceder con un análisis fundamentado correctamente y derivado de que se va a relacionar la muestra con el seguimiento a conveniencia, en la metodología fue necesario especificar el tipo de prueba piloto utilizada y el método de muestreo aplicado. En primera instancia, se implementó una prueba piloto, la cual, de acuerdo con Díaz y Muñoz (2020), corresponde a un “estudio pequeño o corto de factibilidad o viabilidad, conducido para probar aspectos metodológicos de un estudio de mayor escala”. Esto permitió comprobar la claridad de los instrumentos, evaluar la logística operativa y verificar la viabilidad del diseño planteado antes de proceder con la implementación completa del estudio.

Asimismo, se recurrió a un muestreo no probabilístico a conveniencia. Conforme señalan Otzen y Manterola (2017), en este tipo de muestreo “la selección de los sujetos a estudio dependerá de ciertas características, criterios, etc. que el investigador considere en ese momento; por lo tanto no se utiliza sorteo ni al azar, asimismo no todos los miembros de la población tienen la misma probabilidad de ser elegidos”. Este enfoque fue pertinente ya que la investigación requiere observar directamente a los colaboradores que participan activamente en las operaciones de empaque durante sus jornadas laborales, seleccionando únicamente a quienes se encontraban disponibles en los procesos específicos analizados, lo que aseguró la pertinencia de la información recabada para el desarrollo del estudio.

El presente análisis tuvo como objetivo comparar los tiempos de trabajo en *SolidWorks 2024*, desde el ensamble hasta los planos de este y se aplicó a dos sujetos, primero a uno sin experiencia en el *software* y posteriormente otro con experiencia al ser un punto crítico de este proyecto utilizando dos métodos de trabajo distintos: el método nuevo propuesto sobre este protocolo y el método tradicional, Para ello, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor, con el fin de determinar si existen diferencias estadísticamente significativas en los tiempos promedio entre ambos métodos. El nivel de significancia utilizado fue del 5% ($\alpha = 0.05$).

Los resultados del análisis de varianza muestran un valor F muy elevado de 3833.91, con un correspondiente valor p de 0.000. Este valor p es considerablemente menor que el nivel de significancia especificado, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula que sostiene que no existen diferencias entre los métodos. Esto implica que hay una diferencia estadísticamente significativa en los tiempos promedio entre el método nuevo y el método tradicional, y esta información se respalda en la Tabla 3.

Tabla 3. *Análisis de varianza sobre trabajo en SolidWorks a sujeto No.1.*

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Método	1	132205	132205	3833.91	0.00
Error	18	621	34		
Total	19	132826			

Nota: Los datos fueron obtenidos por medio de Minitab 2019. Creación propia (2025).

Las medias de los grupos refuerzan esta conclusión. El método nuevo presenta un tiempo promedio de 103.76 minutos, mientras que el método tradicional tiene un promedio de 266.37 minutos. Esta diferencia es sustancial tanto en términos estadísticos como prácticos, pues representa una reducción significativa en el tiempo requerido al emplear el método nuevo, observable en la Tabla 4.

Tabla 4. *Evaluación de medias sobre levantamiento de tiempos a sujeto No.1.*

Medias				
Método	N	Media	Desv. Est	IC de 95%
Nuevo	10	103.76	4.43	(99.86, 107.67)
Tradicional	10	266.37	7.03	(262.47, 270.27)

**Desv. Est.
agrupada**

5.87223

Nota: Los datos fueron obtenidos por medio de Minitab 2019. Creación propia (2025).

En resumen, este análisis proporciona evidencia contundente para afirmar que el método nuevo es significativamente más eficiente que el método tradicional, permitiendo una reducción promedio de más de 160 minutos en los tiempos requeridos para completar la tarea. Esta diferencia no sólo es estadísticamente significativa, sino también altamente relevante en términos operativos, por lo que se recomienda considerar seriamente la implementación del nuevo método en los procesos evaluados sin embargo cabe resaltar que también se evaluó esta etapa con un segundo sujeto para evaluar la diferencia entre una persona que conoce y otra que desconoce el *software*.

Los resultados del ANOVA del segundo sujeto indican un valor F de 5743.76 con un correspondiente valor p de 0.000, el cual es claramente inferior al nivel de significancia definido. Este resultado permite rechazar la hipótesis nula, lo que significa que hay evidencia estadísticamente significativa para afirmar que los tiempos promedio difieren entre los dos métodos analizados que se observan en la Fig. 5.

Tabla 5. *Análisis de varianza sobre trabajo en SolidWorks a sujeto No.2.*

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Método	1	73658.2	73658.2	5743.76	0.00
Error	18	230.8	12.8		
Total	19	73889.1			

Nota: Los datos fueron obtenidos por medio de Minitab 2019. Creación propia (2025).

Al observar las estadísticas descriptivas en Tabla 6, se aprecia que el método nuevo tiene un tiempo promedio de 143.74 minutos, mientras que el método tradicional presenta un promedio considerablemente mayor: 265.11 minutos. La clara separación entre estos intervalos sugiere que la diferencia observada es contundente y no producto del azar.

Tabla 6. *Medias sobre trabajo en SolidWorks a sujeto No.2.*

Media				
Método	N	Media	Desv. Est	IC de 95%
Nuevo	10	143.74	4.02	(141.36, 146.12)
Tradicional	10	265.113	3.075	(262.734, 267.492)

**Desv. Est.
agrupada**

3.58107

Nota: Los datos fueron obtenidos por medio de Minitab 2019. Creación propia (2025).

Las representaciones gráficas, Tabla 7 refuerzan esta conclusión. La gráfica de caja muestra una diferencia marcada entre los métodos, evidenciando que el método tradicional requiere consistentemente más tiempo, además de tener una menor dispersión. En contraste, el método nuevo no solo es más eficiente, sino que también mantiene una distribución más compacta en torno a su media.

Tabla 7. *Tabla de tiempos.*

Tabla de Tiempos (Minutos)		
	Nuevo	Tradicional
Minutos (Rango)	100 - 150	250 - 270



Gráfica 7. *Gráfica de caja sobre Uso de SolidWorks a sujeto No.2.*

Nota: Los datos fueron obtenidos por medio de Minitab 2019. Creación propia (2025).

En resumen, este análisis demuestra de forma contundente que el método nuevo es significativamente más eficiente que el tradicional, con una reducción promedio en los tiempos de más de 120 minutos. Esta diferencia es estadísticamente significativa y operativamente relevante, por lo que se recomienda considerar la adopción del nuevo método como una mejora en los procesos actuales.

En este cuarto análisis se llevó a cabo una prueba ANOVA de un solo factor con el objetivo de comparar los tiempos, medidos en minutos, entre dos métodos distintos: el método nuevo y el método tradicional

durante la elaboración de documentación de cubillaje. La hipótesis nula establece que no existen diferencias entre las medias de ambos métodos, mientras que la hipótesis alternativa plantea que al menos una de las medias difiere. Se utilizó un nivel de significancia del 5 por ciento para evaluar esta hipótesis. En la Tabla 8 se observa el resultado del análisis muestra un valor p de 0.000, lo cual indica que la diferencia entre los métodos es estadísticamente significativa. Este valor p es inferior al nivel de significancia establecido, por lo que se rechaza la hipótesis nula. En consecuencia, se concluye que los tiempos de ejecución entre el método nuevo y el tradicional no son iguales.

Tabla 8. *Análisis de varianza sobre trabajo Documentación*

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Método	1	12005.5	12005.5	1921.96	0.00
Error	18	112.4	6.2	6.2	
Total	19	12117.9			

Nota: Los datos fueron obtenidos por medio de Minitab 2019. Creación propia (2025).

En cuanto a las medias, se observa que el método nuevo presenta un promedio de 6.267 minutos, mientras que el método tradicional muestra un promedio sustancialmente mayor, de 55.533 minutos. Los intervalos de confianza del 95 por ciento para cada grupo no se superponen, lo que refuerza la evidencia de una diferencia significativa. El método nuevo tiene un intervalo entre 4.637 y 7.897 minutos, y el tradicional entre 53.437 y 56.897 minutos, información respaldada en la Tabla 9.

Tabla 9. *Medias sobre trabajo Documentación a sujeto.*

Medias				
Método	N	Media	Desv. Est.	IC de 95%
Nuevo	10	6.227	0.853	(4.567, 7.887)
Tradicional	10	55.23	3.43	(53.57, 56.89)
Desv. Est. agrupada	2.49930			

Nota: Los datos fueron obtenidos por medio de Minitab 2019. Creación propia (2025).

La gráfica de caja de la Tabla 10 proporciona una representación visual clara de esta diferencia. Se observa que los tiempos asociados al método nuevo están considerablemente más concentrados y

presentan menor dispersión en comparación con los del método tradicional, que tienden a estar agrupados hacia valores mucho más altos.

Tabla 10. Grafica de caja sobre trabajo Documentación.



Tabla 10. Tabla de tiempos.

Tabla de Tiempos (Minutos)		
	Nuevo	Tradicional
Minutos (Rango)	0 - 10	50 - 60

Nota: Los datos fueron obtenidos por medio de Minitab 2019. Creación propia (2025).

En síntesis, los resultados obtenidos permiten concluir que el método nuevo es significativamente más eficiente que el tradicional, dado que logra reducir de forma considerable los tiempos promedio de ejecución ya sea en usuarios que conocen o no el programa con un intervalo de ahorro de 169 minutos a 209 minutos variando según su experiencia, cabe resaltar que, si hay una diferencia entre ellos, pero poco significativa y comprensible tomando en cuenta sus conocimientos previos. Esta evidencia estadística respalda firmemente la adopción del nuevo método como una alternativa efectiva para mejorar la eficiencia en los procesos analizados demostrando que en los términos de tiempos el método ya propuesto es efectivo, sin embargo, también se debe evaluar el factor de costos que conlleva su desarrollo para identificar su rentabilidad, aspecto que se aborda en los siguientes apartados.

Como complemento a esta investigación se llevó a cabo una evaluación económica con el objetivo de determinar la viabilidad financiera de implementar el protocolo desarrollado, analizando de forma

detallada los beneficios económicos esperados a mediano y largo plazo, como primera instancia se evaluaron los costos por horas hombre puesto que la mano de obra representa uno de los rubros más importantes en cualquier proyecto. Aquí se consideran las horas dedicadas por el equipo de trabajo, las cuales se valorizan según la especialidad y el tiempo estimado invertido. Este cálculo permite cuantificar el esfuerzo humano en términos económicos. En la Tabla 11 se aprecia el salario semanal de cada integrante del equipo, donde se aprecia una suma de \$2,100.00 MXN, dando un costo hora de \$43.80 MXN.

Tabla 11. *Costos totales de inversión.*

SUELDO SEMANAL	\$2,100.00
HORAS A LA SEMANA	48
COSTO POR HORA	\$43.80
DÍAS LABORADOS AL AÑO	288

Nota: Los datos fueron obtenidos con salarios del puesto actual de los colaboradores. Creación propia (2025).

En la Tabla 12 se puede apreciar las horas por jornada que realizan los integrantes del equipo, donde se ahorra un 50.86% de tiempo, este porcentaje se obtiene en razón de que con el método antiguo se demoraba un total de 365.52 minutos en realizar todo el proceso entorno a un empaque, mientras que con la nueva técnica se demora un total de 179.62 minutos aproximadamente correspondiente al 49.14% del tiempo total que antes se hacía, por lo tanto el ahorro corresponde a dicho porcentaje, lo que beneficia a la empresa a ahorrar un total de \$153,800.64 MXN anualmente por la reducción de tiempo que proporciona este proyecto.

Tabla 12. *Ahorro de horas hombre.*

HORAS HOMBRE	
HORAS AL DÍA	24
TURNOS	1
HORAS POR TURNO	8
PORCENTAJE POR AHORRAR	50.86%
HORAS EN PORCENTAJE	4.0688
PERSONAS POR ÁREA	3
HORAS POR AHORRAR	12.2064

COSTO POR HORA TRABAJADOR	\$43.8
DINERO POR AHORRAR DIARIAMENTE	\$534.03
AHORRO ANUAL	\$153,800.64

Nota: Los datos fueron obtenidos con salarios del puesto actual de los colaboradores. Creación propia (2025).

Costos del error

Todo proyecto está expuesto a fallas, imprevistos o repeticiones de actividades debido a errores humanos o técnicos. Así mismo en la Tabla 13 se observa la reducción de los errores en el desarrollo de actividades en la empresa de giro cerámico, teniendo un ahorro de 1% siendo un ahorro monetario de \$2,756.25 MXN anualmente, todo esto siendo un resultado favorable en el desarrollo de este protocolo de investigación.

Tabla 13. Costo del error.

COSTO DEL ERROR	
ERRORES POR JORNADA	7
% DE HORAS POR ERROR A SOLUCIONAR	1%
COSTO POR HORA TRABAJADOR	\$43.8
COSTO POR ERROR	\$0.46
COSTO DEL ERROR POR TURNO	\$3.20
AHORRO ANUAL POR PERSONA	\$918.75
AHORRO ANUAL TOTAL	\$2,756.25

Nota: Los datos fueron obtenidos con promedios de la empresa sobre la que se aplicó la investigación. Creación propia (2025).

CONCLUSIONES

El presente proyecto de investigación se desarrolló sobre un giro de industria cerámica, con el propósito de optimizar el sistema de embalaje en industrias de productos con una amplia y cambiante variedad que requiere de cuidados específicos sobre productos frágiles. Desde su concepción, el enfoque metodológico se sustentó en la aplicación de la ingeniería concurrente y el uso de herramientas avanzadas de simulación computacional, con el objetivo de diseñar soluciones funcionales, seguras y económicamente viables para el transporte y almacenamiento de productos cerámicos. La implementación parcial del proyecto y los resultados cuantitativos obtenidos mediante análisis estadísticos, como el ANOVA, evidencian mejoras

sustanciales en los tiempos de procesamiento y eficiencia logística, lo cual respalda la pertinencia técnica y económica de la iniciativa.

En relación con el objetivo general planteado, se puede decir que fue ampliamente alcanzado. Se logró diseñar y optimizar un nuevo sistema de embalaje que no solo cumple con los requisitos de protección del producto y aprovechamiento del espacio, sino que también considera criterios técnicos rigurosos derivados de la simulación y trabajo simultáneo. La solución propuesta garantiza la estabilidad de carga durante el transporte, a la vez que representa ahorro del 50.86% de tiempo con respecto al tiempo demorado con el método anterior.

En conclusión, el proyecto no solo cumplió con la mayoría de sus metas técnicas y metodológicas, sino que también demostró ser viable desde el punto de vista económico y operativo, representando una contribución significativa para la mejora continua con un ahorro monetario de \$153,800.64 MXN anualmente representando el ahorro de la hora hombre y \$2,756.25 MXN anualmente representativo del costo del error.

Por otro lado, a partir de los resultados obtenidos y de las limitaciones identificadas durante el desarrollo de la presente investigación, se plantea como investigación futura, realizar un desarrollo de un sistema avanzado basado en algoritmos inteligentes tales como heurísticos o metaheurísticos, debido a que se han demostrado ser eficaces para la resolución de problemas en el área de cubicaje y carga de contenedores en entornos industriales (Şafak & Erdoğan, 2023), dado que son capaces de generar de manera automática configuraciones para el empaque a partir de restricciones de un producto (dimensiones y peso), tarima (volumen, estabilidad y peso), normativas logísticas y requerimientos de un cliente, permitiendo evaluar diferentes configuraciones y compararlas con respecto a su costo y/o tiempo para sugerir la mejor opción sin la necesidad de una intervención humana, logrando que el sistema sea capaz de generar, evaluar y optimizar automáticamente configuraciones de embalaje en cuestión de minutos, logrando reducir tiempos considerablemente.

De igual forma, se propone realizar una evaluación del impacto ambiental respecto al sistema de embalaje, puesto que el rediseño del empaque impacta positivamente en la reducción del consumo de materiales, costos lógicos y huella ambiental (Bernal-Carrillo et al., 2024), donde se permitirá comparar el sistema actual con el optimizado con respecto a la cantidad de recursos utilizados, pesos totales, aprovechamiento volumétrico, eficiencia en el transporte, reprocesos (reempaques), desperdicios por productos dañados y

realizar una evaluación del ciclo de vida del empaque para medir el impacto desde la producción del cartón, su uso durante el empaque y su forma de reciclaje, logrando una gestión más sostenible del embalaje y un mejor desempeño ambiental de la empresa.

REFERENCIAS

- Arastehfar, S., & Liu, Y. (2013). *On design concept validation through prototyping: Challenges and opportunities*. In Proceedings of the 6th International Conference on Design and Analysis of Manufacturing Systems (DAMS). <https://www.semanticscholar.org/paper/On-design-concept-validation-through-prototyping%3A-Arastehfar-Liu/8adc617061a9e9e8d460e70f1f05be45a3226f47>
- Ashaab, T. (2019). Concurrent engineering practices and performance indicators in manufacturing systems. *International Journal of Production Research*, 1125–1137.
- Bernal-Carrillo, J. G., Chiwo-González, F. S., Susunaga-Notario, A. C., Monroy, M. Á., Arcos-Gutiérrez, H., & Garduño-Olvera, I. E. (2024). Desarrollo y rediseño de envases flexibles bajo criterios de sostenibilidad. *Revista de Ciencias Tecnológicas*, 7(1). <https://doi.org/10.37636/recit.v7n1e253>
- Bon, A. T. (2018). *Productivity improvement in assembly line by reduction cycle time using time study at automotive manufacturer*. En 8th Annual International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. IEOM Society International. ISBN 978-1-5323-5944-6. <https://index.ieomsociety.org/index.cfm/article/view/ID/2400>
- Brown, T. (2009). *Change by design: How design thinking creates new alternatives for business and society*. Harper Business.
- Díaz, G. (2020). Metodología del estudio piloto. *Revista Chilena de Radiología*. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-93082020000400172>
- Ebbers, T. (2022). *The impact of structured and standardized documentation on quality of notes in the electronic health record*. *International Journal of Medical Informatics*, 165, 104638. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9135789/PMC>
- Fernández, C., & Baptista, P. (2018). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education.

- Hmeshah, M. (2017). *Quality management approach of product data models* [Doctoral dissertation, Universität Rostock]. RosDok. https://rosdok.uni-rostock.de/file/rosdok_disshab_0000001750/rosdok_derivate_0000037174/Dissertation_Hmeshah_2017.pdf
- Jiménez Castillo, (2015). *Efecto del cubicaje en el costo logístico del transporte y competitividad empresarial*. Publicación Técnica No. 440, Instituto Mexicano del Transporte.
- Juárez, A. (2015). Aplicación de la ingeniería concurrente en proyectos de desarrollo de productos en PYMES manufactureras. *Revista de Ingeniería Industrial*, 45–60.
- Kruk, P., & Borowiec, M. (2023). *Computational modelling of dynamic loads of a container under viscous interaction with a flat wagon in sea transport*. Extrica. <https://www.extrica.com/article/21441>
- Martínez-Franco, J., Céspedes-Sabogal, E., & Álvarez-Martínez, D. (2020). *PackageCargo: A decision support tool for the container loading problem with stability* <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352711020303149?via%3Dihub>
- McKenna, J. (2021). Quality function deployment (QFD) and design for manufacturing and assembly (DFMA) integration in product development. *Journal of Engineering Design*, 355–370.
- Muhlisin, I., Candra, A., Feblidiyanti, N., & Sudiman. (2025). Análisis de los efectos de la variación de carga sobre los factores de seguridad para CP-Ti G4 (UNS R50700) usando SolidWorks Simulation. *Jurnal Teknik Industri*, 15(2). <https://doi.org/10.XXXX/xxxxxx>
- Muñoz, R. (2020). Metodología del estudio piloto. *Revista Científica de Investigación Educativa*, 87–94.
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *International Journal of Morphology*. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Pachón, J. C., Martínez-Franco, J., & Álvarez-Martínez, D. (2022). SIC: An intelligent packing system with industry-grade features. *SoftwareX*, 20(101241), 101241. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2022.101241>
- Pellerin, R. (2020). Exploring multiple design alternatives in concurrent engineering projects. *Journal of Product Innovation Management*, 298–310.
- Rajadel Valdés, A., & Cortés Cortés, M. (2025). Modelo matemático híbrido heurístico-combinatorio para carga balanceada de contenedores en la distribución de mercancías. *Revista Investigación*

Operacional, 46(3), 406–414. Recuperado de
<https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2647>

Raudberget, D. (2024). Multifunctional teams and concurrent engineering: Improving decision-making and collaboration. *International Journal of Engineering Management*, 12–25.

Şafak, Ö., & Erdoğan, G. (2023). A large neighbourhood search algorithm for solving container loading problems. *Computers & Operations Research*, 154(106199), 106199.
<https://doi.org/10.1016/j.cor.2023.106199>

Sánchez, J. A. (2020, 4 de junio). *Los beneficios de SOLIDWORKS en el sector de la automatización industrial*. CIMWORKS. <https://www.cimworks.es/los-beneficios-de-solidworks-en-el-sector-de-la-automatizacion-industrial/>

Sandoval, P. (s.f.). Prototipos tempranos y resolución de conflictos funcionales en ingeniería concurrente. *Revista Innovación y Tecnología*.

Taboada, E. (2021). Ingeniería concurrente: Integración de diseño, manufactura y soporte. *Revista de Ingeniería y Producción*, 99–107.

Torres-Hernández, J. A. (2018). *Implementación del modelo SCOR en la mejora del proceso de abastecimiento de materiales en una empresa manufacturera* [Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica del Valle de Toluca]. Repositorio Institucional.

TABLA TRABAJO COLABORATIVO

Rol	Autor (es)
Conceptualización	Héctor Luis Gutiérrez Martínez
Metodología	Enrique de Jesús Mohedano Torres
Software	Cortés Zapata Silvia Sarahi
Validación	Sebastián Arath Isidro manzano
Análisis Formal	Sebastián Arath Isidro manzano
Investigación	Enrique de Jesús Mohedano Torres
Recursos	Sebastián Arath Isidro manzano
Curación de datos	Johana Melina Anguiano Montiel
Escritura - Preparación del borrador original	Cortés Zapata Silvia Sarahi
Escritura - Revisión y edición	Cortés Zapata Silvia Sarahi

Visualización	Johana Melina Anguiano Montiel
Supervisión	Héctor Luis Gutiérrez Martínez
Administración de Proyectos	Enrique de Jesús Mohedano Torres
Adquisición de fondos	Héctor Luis Gutiérrez Martínez