

<https://doi.org/10.69639/arandu.v12i2.1152>

Impacto ambiental y estructural de los materiales plásticos en techos ecológicos: un meta-análisis basado en revisiones sistemáticas

Environmental and structural impact of plastic materials in green roofs: a systematic review-based meta-analysis

Edison Noe Buenaño Buenaño

ebuenano@upse.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0001-7586-9523>

Universidad Estatal Península de Santa Elena
Universidad Nacional de Trujillo

John Enrique Montenegro Carvajal

jmontenegroc@upse.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0006-2597-193X>

Universidad Estatal Península de Santa Elena

Evelyn Carolina Villón Ramírez

evelyn.villonramirez@upse.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0007-0077-3301>

Universidad Estatal Península de Santa Elena

Alex Mauricio Clemente González

alex.clementegonzalez@upse.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0006-8325-0997>

Universidad Estatal Península de Santa Elena

Mónica Isabel Paredes Castro

izab1701@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-0032-2186>

Investigador Independiente

Artículo recibido: 10 mayo 2025

*- Aceptado para publicación: 20 junio 2025
Conflictos de intereses: Ninguno que declarar.*

RESUMEN

En la investigación científica y tecnológica, la revisión sistemática de la literatura se ha consolidado como un método fundamental para recopilar, analizar y sintetizar información relevante. Este análisis adopta una revisión bibliográfica como base metodológica para estructurar el marco teórico y fundamentar los criterios de diseño del prototipo automático para envases de plástico. Para ello, se realizó una búsqueda sistemática de artículos científicos en las bases de datos Scielo y Science Direct, seleccionando los artículos de investigación que correspondían a las variables dependientes e independientes. Los artículos seleccionados y analizados mediante Bibliometrix (un paquete del software Rstudio) fueron incluidos y excluidos. Este enfoque garantizó la selección de fuentes relevantes. Esto permitió evaluar las tendencias actuales, la evolución de las metodologías empleadas y la utilidad de los enfoques documentados en la

literatura. Los resultados de esta revisión sistemática proporcionan una base teórica para la toma de decisiones en el diseño del prototipo, garantizando que el estudio se realice con base en principios validados y estrategias de ingeniería innovadoras. Además, este método facilita la comparación de metodologías, la identificación de oportunidades de mejora y el establecimiento de directrices para la ejecución del estudio.

Palabras clave: revisión de la literatura, método ahp, benchmarking, DFMA, polímeros

ABSTRACT

In the execution of scientific and technological research, the systematic literature review has been established as a fundamental method for collecting, analyzing, and synthesizing relevant information. This analysis adopts a bibliographic review as a methodological foundation to structure the theoretical framework and support the design criteria for the automatic prototype for plastic packaging. To this end, a systematic search for scientific articles was conducted in the Scielo and Science Direct databases, selecting research articles that corresponded to the dependent and independent variables. The articles selected and analyzed using Bibliometrix (a package in the Rstudio software package) were included and excluded. This approach ensured the selection of relevant sources. This allowed for the evaluation of current trends, the evolution of the methodologies employed, and the usefulness of the approaches documented in the literature. The results of this systematic review provide a theoretical foundation for decision-making in the prototype design, ensuring that the study is conducted based on validated principles and innovative engineering strategies. Furthermore, this method facilitates contrasting methodologies, identifying opportunities for improvement, and establishing guidelines for study execution.

Keywords: literature review, AHP method, benchmarking, DFMA polymers

Todo el contenido de la Revista Científica Internacional Arandu UTIC publicado en este sitio está disponible bajo licencia Creative Commons Attribution 4.0 International. 

INTRODUCCIÓN

Las industrias han empezado a elaborar prensas hidráulicas resaltando su diseño eficaz y componente esenciales que destacan, esto se ve reflejado a cambios profundos en la industria de la construcción. Las técnicas empleadas en la fabricación de las máquinas van a ocasionar que minimicen el consumo de energía, la generación de residuos, las emisiones de gases invernadero y mejora la eficiencia energética, eso está estipulado en los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) (CARABAJO et al., 2021)

Este enfoque no solo impulsa la sostenibilidad ambiental, la calidad del techo, al reducir significativamente la demanda de recursos naturales, sino que también promueve la economía circular. Al reintegrar materiales en de uso en nuevos procesos de fabricación, se establece un ciclo virtuoso que favorece tanto la salud del medio ambiente como el crecimiento económico sostenible (Coromoto-Martínez et al., 2014).

En la revisión sistemática de investigaciones científicas y tecnológicas, la revisión sistemática de la literatura para la fabricación de prototipos automáticos, se hallaron varios estudios que mencionaban el uso de moldes de fabricación propia. Estos trabajos sirvieron como base para diseñar el molde automatizado, garantizando que se cumplirán los estándares de calidad y sostenibilidad. Este enfoque permite desarrollar moldes accesibles fomentando la innovación en el uso de materiales sostenibles (Nunes et al., 2022).

Según (Almeida-Marcia & Diaz-Cesar, 2020) indica que este tipo de proyectos no solo contribuyen a la sostenibilidad ambiental, sino que también pueden tener un impacto positivo en la economía local.

Indican en su proyecto de investigación el proceso de diseño de una prensa hidráulica térmica Gabriel & Bijarro (2020), que dispone de un sistema con motor eléctrico de 2.5 hp, bomba de 30.7 L/min, un cilindro doble efecto de 44,5 mm, un depósito de 4 L, prensa de 12 tn y un modelo térmico que alcanza los 200 °C. La experimentación permitió demostrar que la máquina trabaja sin problemas y sin deformaciones estructurales a los 160°C y una carga de 8,500 kg, al usar como material base acero ASTM A36 y placas de ½ in. Al utilizar resistencias eléctricas de tipo tubulares, permite la transferencia homogénea de calor hacia el polialuminio reciclado de las cajas tetra pak, logrando eficientemente producir placas de 0,40x0,40 m con buenas condiciones de resistencia a la flexión.

Los resultados de esta revisión sistemática proporcionan un fundamento teórico sólido para la toma de decisiones en el diseño del prototipo, garantizando que el estudio se lleve a cabo en torno a principios validados y estrategias innovadoras en el ámbito de la ingeniería. Además, este método facilita contrastar metodologías, identificar oportunidades de mejora y establecer directrices para la ejecución del proyecto.

Estableciendo un objetivo claro, marcado en realizar una revisión sistemática de la literatura del diseño y elaboración de prensas hidráulica para producir techos ecológicos, con materiales sostenibles de empaques plásticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Según Vargas et al. (2015) ejecuta un marco metodológico para recuperar y describir con un balance e inventario bibliográfico, que permite identificar el estado actual sobre un concepto. Se enfoca en realizar una larga lectura de fuentes confiables, crear una bibliografía organizada con la descripción detallada del proyecto investigativo, para realizar una evaluación sistematizada y consistente.

En base a las fuentes encontradas del método de revisión sistemática de la literatura, se pretende analizar la veracidad de los criterios de diseño de las máquinas para prensado de láminas de polialuminio, Diana Peñalba et al. (2023) asegura que el modelo del proceso de análisis jerárquico (AHP) en conjunto con el método Saaty, comprenden un sistema logístico que evalúa alternativas basándose en la experiencia y conocimiento de los actores en el proceso, este incluye cálculos complejos que ayudan a la toma de decisiones realizando comparaciones entre criterios de estudio. Por otro lado, J. María et al. (2021) complementa el análisis sobre el uso del método, demostrando su viabilidad de pasos como: a) Priorización de elementos, b) Comparación binaria, c) Evaluación de elementos, d) ranking de alternativas, e) síntesis y f) análisis de sensibilidad, a esto le adjunta la escala de valoración comprendida con los números, 1,3,5,7, 9 y números pares 2,4,6, 8.

En la figura 1 se muestra un esquema de revisión sistemática de la literatura, basado en una secuencia lógica que permite recolectar conocimientos de estudios bajo evidencias publicadas en fuentes primarias según (Revelo-Sánchez et al., 2015). Este consta de seis etapas de acción: planificación, búsqueda, selección, evaluación de calidad y extracción y síntesis, se aplican con el objetivo de realizar una búsqueda estratificada didáctica.

Figura 1

Proceso de revisión sistemática



Menciona que los fundamentos para la elegibilidad comprenden restricciones de criterios de búsqueda Eduardo Vasquez Caceres et al. (2024), que permiten incluir o excluir los estudios en la etapa de análisis, esto con el fin de agrupar investigaciones relativas y con mayor peso en la descripción del tema que se quiere indagar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Eduardo Vasquez-Caceres et al. (2024) menciona que los fundamentos para la elegibilidad se comprenden en restricciones de criterios de búsqueda, que permiten incluir o excluir los estudios en la etapa de análisis, esto con el fin de agrupar investigaciones relativas y con mayor peso en la descripción del tema que se quiere indagar.

En la tabla 1 se muestran los criterios de inclusión y exclusión que tienen contraste con la etapa de selección de artículo científicos, relacionados con la fabricación de un prototipo automático para la producción de techos ecológicos, comprendido por los factores de búsqueda como: procesos de diseño, análisis computarizado, tratamiento de compuestos posconsumo, diseño de máquinas termo hidráulicas y producción de techos ecológicos.

Tabla 1

Definición de criterios de selección

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Artículos que disponen de los procesos de diseño de máquinas automatizadas.	Artículos con deficientes procesos de diseño de máquinas automatizadas.
Artículos con bases en el diseño asistido por computador para análisis cualitativo de componentes mecánicos.	Artículos que no desarrollan el diseño asistido por computador para el análisis cualitativo de componentes mecánicos.

Artículos que contengan información sobre el tratamiento de los compuestos del tetra pak posconsumo.	Artículos que no contengan información sobre el tratamiento de compuestos tetra pak posconsumo.
Artículos con estudios de diseño y fabricación de prensas termo hidráulicas para compactar compuestos.	Artículos que no dispongan de estudios sobre la fabricación de prensas termo hidráulicas.
Artículos con información de procesos de producción de techos ecológicos para su inclusión en construcciones sostenibles.	Artículos que no dispongan de información de procesos de producción de techos ecológicos para su inclusión en construcciones sostenibles.

En la Tabla 2 muestra las bases de datos utilizadas para recopilar artículos relacionados con las variables de estudio, indicando la cantidad de registros obtenidos en cada una. Esta información permite realizar un análisis comparativo y una interpretación más clara de los datos recogidos.

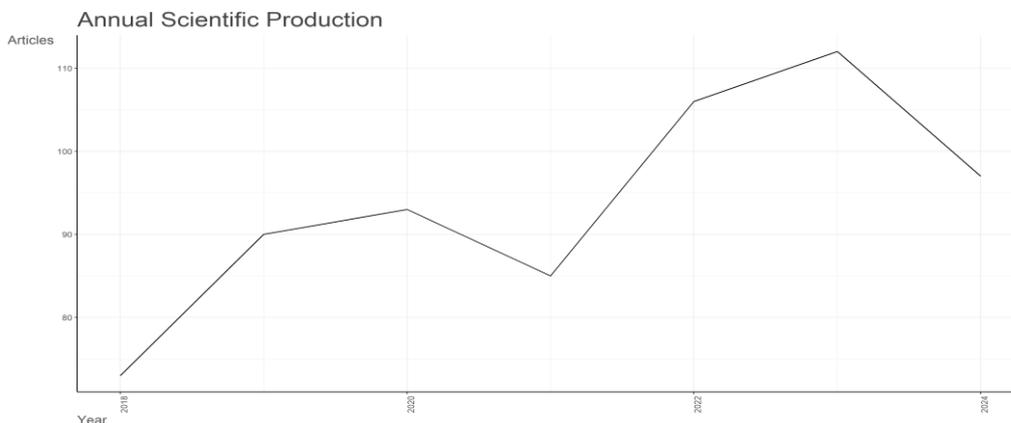
Tabla 2

Resultados de la base de datos

Base de datos	Artículos
ScienceDirect	469
Scielo	187
Total	656

Figura 2

Producción científica anual



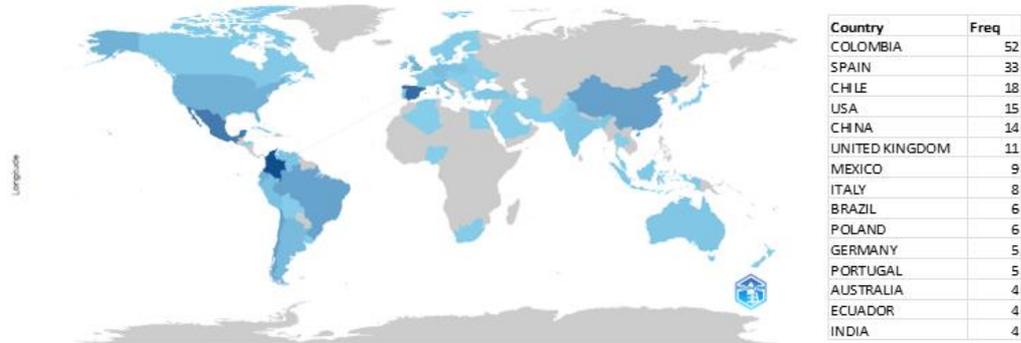
Como principal fuente de información en la Figura 2, se muestra una línea de tendencia en orden ascendente del área investigativa relacionadas a las variables de estudio, se especifica la producción anual de artículos científicos en los motores de búsqueda, pues a partir del año 2018

hasta la actualidad, han tomado gran potencial investigativo los temas relacionados con la fabricación de máquinas industriales.

Figura 3

Frecuencia en países

Country Collaboration Map

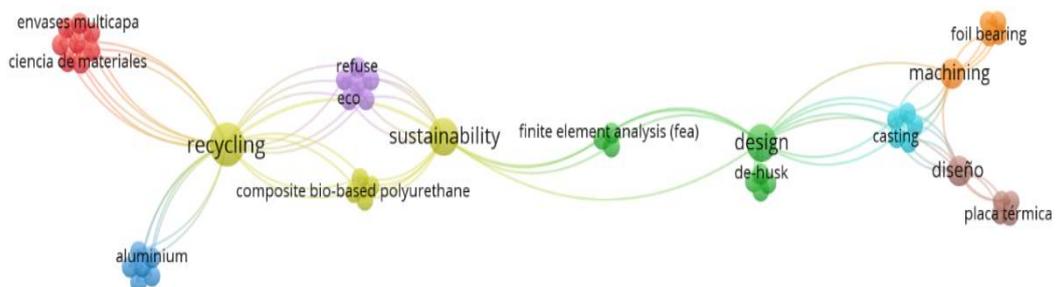


En la figura 3, los países que mayor contribución en la investigación científica, la imagen muestra a Colombia con 26,8% del global teniendo 52 artículos y es la principal que denota su incidencia de investigaciones científicas, por otro lado, España con un 17% teniendo 33 artículos y realizando su aportación a la investigación. En el top 3, tenemos a Chile con un 9,3% teniendo 18 artículos que han logrado su aporte al tema de estudio. Los siguientes países como Portugal, Italia, entre otros, se logra observar que hay un crecimiento por la investigación científica, a diferencia de Latinoamérica hay un crecimiento considerable de países como, Brasil, Ecuador que tienen un 3,1% y 2,1% teniendo en cuenta la cantidad de 6, 4 artículos publicados respectivamente.

En la figura 4 se puede observar un mapa de red conceptual, donde se muestra la actividad científica de los datos bibliográficos y términos de interés. Esto se realiza mediante el software VOSviewer, gestionado con el tipo de archivo RIS extraído de las fuentes bibliográficas identificadas en mendeley, donde se emplea el tipo de análisis de coocurrencia y el método de conteo rápido, precisamente para abordar un esquema amplio de las palabras simplificadas claves.

Figura 4

Mapa de red conceptual



La búsqueda de artículos se concreta en la selección de investigaciones que tengan relación con los términos relacionados, en base a los criterios de inclusión y exclusión se deprecian estudios que no tengan bases científicas que respalden los procesos de diseño de máquinas o productos, para finalmente llegar a la conclusión de que 27 contienen información adecuada para el análisis comparativo Tabla 3.

Tabla 3

Selección de investigaciones

No	Fuentes	Cantidad	Excluidos	Diferencia	Porcentaje
1	ScienceDirect	469	453	16	59%
2	Scielo.org	187	176	11	41%
	Total	656	629	27	100%

En la tabla 3, se muestra el contenido de las investigaciones que tienen el aporte científico de los conocimientos encontrados en los proyectos de fabricación, estos disponen de los autores, el título que los caracteriza, el país de origen y la fuente donde se encuentra publicada, estos fueron encontrados mediante técnicas de búsqueda como el uso de operadores booleanos, criterios de inclusión y exclusión, además de determinar un alcance relativo, para identificar la influencia de métodos adecuados para el proyecto.

Tabla 4

Investigaciones seleccionadas

No	Autor	Título	País	Fuente
1	(Dey & Ashok, 2024)	Fuzzy logic based qualitative indicators for promoting extended producer responsibility and sustainable food packaging waste management	India	ScienceDirect
2	(Wu et al., 2022)	Diseño conceptual de equipos de fabricación inteligente basado en un método de mapeo de requisitos heterogéneos de múltiples fuentes	China	ScienceDirect
3	(Ishikawa & Sasaki, 2020)	A balanced design for plural performances of technology,	Japon	ScienceDirect

		economy and environment in product design		
4	(Alvarez-Cabrales et al., 2018a)	Soluciones conceptuales de un molino de cuchillas a partir de sus requerimientos funcionales	Cuba	Scielo
5	(Antonio Echeverría et al., 2023)	Design and manufacture of a metal mold for cast aluminum	Rusia	Scielo
6	(González et al., 2019a)	Application of the design for manufacturing and assembly method to the chassis	Colombia	Scielo
7	(Pasetti Monizza et al., 2024)	Exploring applications of Computational Design techniques and design for manufacturability for costs reduction of prefabricated timber-based façades	Italia	ScienceDirect
8	(Rianmora & Werawatganon, 2021)	Applying Quality Function Deployment in Open Innovation Engineering	Thailand	ScienceDirect
9	(Vidal et al., 2023)	Análisis y evaluación del desempeño térmico de sistemas de cubiertas utilizadas en construcciones en seco para edificaciones de vivienda ubicadas en la ciudad de Santiago de Cali y su área de influencia	Colombia	Scielo.org
10	(Jagusiak-Kocik & Idzikowski, 2023)	Implementation of the Kano model in a company providing public transport services	Polonia	ScienceDirect

11	(Liñan-Pérez et al., 2023)	Validation of the incorporation of emotional response in consumer-based sensory development: case study	Peru	Scielo.org
12	(Cruz-Rivero et al., 2023)	El despliegue de la función de la calidad y la teoría para la solución de problemas de inventiva	México	Scielo.org
13	(Erazo-Arteaga & Erazo-Arteaga, 2022)	El diseño, la manufactura y análisis asistido por computadora (CAD/CAM/CAE) y otras técnicas de fabricación digital en el desarrollo de productos en América Latina	Ecuador	ScienceDirect
14	(Rey et al., 2020)	Conceptual design in integrative projects in courses for higher university technicians in mechatronics	Mexico	Scielo.org
15	(M. María et al., 2022a)	Main Design Parameters of a Vermicompost Screening Machine Principales parámetros de diseño de una máquina cribadora de vermicompost	México	Scielo.org
16	(Santamaría-Piedrahita et al., 2022)	Implementación de nuevos procesos de fabricación y ensamble de carrocerías para buses tipo BRT	Colombia	Scielo.org
17	(López De Asiaín-Alberich et al., 2022)	Addressing sustainability. Construction of a prototype as a teaching design tool	España	Scielo.org
18	(Figueroa Hernández et al., 2023)	Design and manufacture of a machine for tensile tests on	Cuba	Scielo.org

		materials used in tissue engineering		
19	(Khan et al., 2024)	Design and development of machine vision robotic arm for vegetable crops in hydroponics	Pakistán	ScienceDirect
20	(Poon et al., 2024)	Machine tool cross beam design, fabrication, and testing using metal big area additive manufacturing	EE.UU	ScienceDirect
21	(Khandelwal et al., 2024)	Set-based design application on dates harvesting machine	Arabia Saudita	ScienceDirect
22	(Kumar et al., 2019a)	Rethinking modular jigs' design regarding the optimization of machining times	Portugal	ScienceDirect
23	(Abuzied et al., 2024)	Design and simulation of eco-friendly smartphone controlled forklift	Egipto	ScienceDirect
24	(Seyam et al., 2024)	Laser powder bed fusion of WC-Co form turning tools with integrated cooling features: Design	Canadá	ScienceDirect
25	(Takawira-Nyakuchena & Mushiri, 2020)	Design of an automated maize de-husking machine for the case of Zimbabwe	Johannesburgo	ScienceDirect
26	(Stratton & Corneal, 2023)	Development of a tiny house design tool to increase safety, efficiency, and cost-effectiveness	EE. UU	ScienceDirect
27	(Bakogianni et al., 2024)	Multidisciplinary design and manufacturing of a Tesla pump prototype	Reino Unido	ScienceDirect

En la tabla 4 contiene el proceso metodológico, técnica e instrumento de evaluación de los proyectos de investigación, que los autores destacan como tecnologías innovadoras para la

fabricación de equipos o productos que conlleven una complejidad en sus tratamientos de producción. Esta recolección de datos permite abordar un tema de relación de criterios para la evaluación de los métodos encontrados.

Tabla 5

Métodos referentes a las investigaciones

No	Metodología	Técnica	Instrumento
1	Ecomodulación Diseño conceptual	Análisis documental	<ul style="list-style-type: none"> • Indicadores cualitativos difusos
2	Desglose la función de la calidad (QFD)	Mapeo de requisitos	<ul style="list-style-type: none"> • Desglose de la función de la calidad (QFD) • Demanda de inteligencia • Restricciones de fabricación
3	Diseño basado en conjuntos	Análisis cuantitativo	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño conceptual • SolidWorks
4	Matriz morfológica extendida	Análisis cualitativo	<ul style="list-style-type: none"> • Método Kano • Diagrama de estructura funcional • Diseño asistido por computador.
5	Diseño conceptual	Análisis cualitativo	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de molde • Análisis térmico asistido por computador • Análisis de elementos finitos
6	Diseño para la manufactura y ensamblaje (DFMA)	Análisis cuantitativo	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño conceptual • DFA • DFM • Análisis de costos • Pruebas de elementos finitos en SolidWorks
7	Diseño para la manufactura y ensamblaje (DFMA)	Análisis cuantitativo	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño conceptual • Diseño asistido por computador.
8	método de integración Kano-QFD	un enfoque cuantitativo que utiliza la programación por objetivos y el modelo de Kano	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar las características y los requisitos del producto. • Determinar la relación entre los requisitos del cliente y los atributos de ingeniería. • Determinar la relación entre los atributos de ingeniería. .

9	Prueba objetiva de techo ecológico (Estudio de impacto térmico)	investigación de tipo experimental descriptiva	<ul style="list-style-type: none"> • Recopilación y análisis de la información • Estimación del impacto térmico.
10	Aplicación de etapas individuales del modelo de Kano	un enfoque cuantitativo que utiliza el desarrollo de objetivos en base al modelo Kano	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar las características y los requisitos del producto. • Determinar la relación entre los requisitos del cliente y los atributos de ingeniería. • Determinar la relación entre los atributos de ingeniería. • Diseño del nuevo producto.
11	Validar mediante la aplicación del EPM, la incorporación del modelo Kano en el diseño	Modelo de desarrollo de prototipo en base a características de la metodología.	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de prototipos representativos en el mercado • Agrupamiento y análisis de características • Aplicación del Napping • Análisis estadístico
12	El despliegue de la función de la calidad (QFD) y la teoría para la solución de problemas de inventiva (TRIZ)	Modelo de análisis y combinación de metodologías	<ul style="list-style-type: none"> • Requerimientos del cliente • Matriz de planeación • Características técnicas del producto • Matriz de relaciones • Techo • Relaciones • Problema específico
13	Estudio de diseño asistido por computadora	Análisis documental	<ul style="list-style-type: none"> • CAD • CAM • CAE
14	Desarrollo conceptual del diseño de ingeniería	Análisis documental	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis morfológico • Evaluación de múltiples criterios
15	Diseño de maquina (DFMA)	Análisis documental	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis morfológico • Evaluación de múltiples criterios
16	Prueba de estabilidad y la prueba de filtraciones (FEM)	Investigación de tipo experimental	<ul style="list-style-type: none"> • Recopilación y análisis de la información • Estimación del impacto

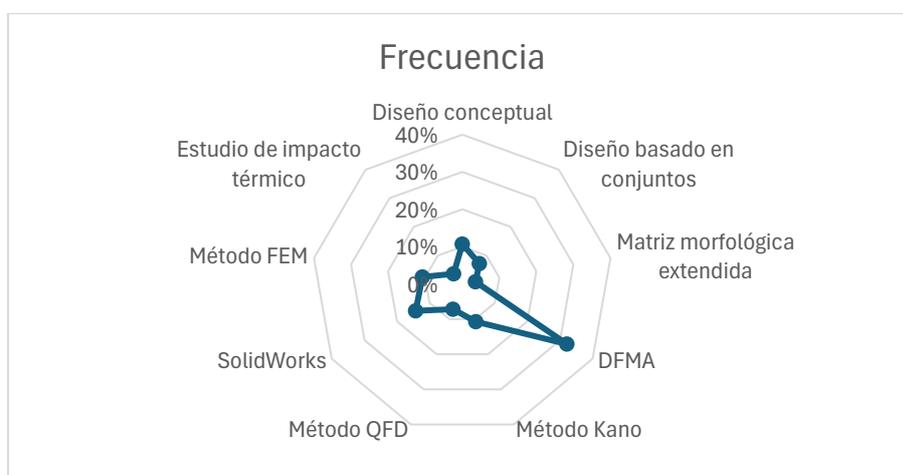
17	Construcción y simulación del prototipo (SolidWorks)	Investigación de tipo experimental	<ul style="list-style-type: none"> • Recopilación y análisis de la información • Estimación del modelo
18	Diseño y fabricación (DFMA)	Valoración de características	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de prueba • Capacidad • Dimensiones • Estructura de la maquina • Diseño de la maquina • Construcción
19	Diseño, fabricación y automatización (DFMA)	Metodología de diseño y principios de fabricación	<ul style="list-style-type: none"> • Modelado • Planificación • Control
20	Diseño, fabricación y pruebas del prototipo (DFMA)	Estrategias de diseño	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño • Enfoque del diseño • Modelado • Fabricación
21	Diseño basado en conjuntos	Diseño basado en conjuntos para máquinas	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión de la literatura relacionada con el diseño basado en conjuntos y las máquinas. • Aplicación de las actividades de diseño basado en conjuntos. • Estudio de campo. • Aplicación del SBD y diseño final
22	Diseño y fabricación (DFMA)	Estrategias de diseño	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión de la literatura • Diseño de prototipo • Mecanizado del prototipo • DFSS • Implementación
23	Diseño y simulación (FEM)	Enfoque innovador del diseño	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso de diseño mecánico • Análisis del sistema de control
24	Diseño para la manufactura (DFMA)	Enfoque innovador del diseño	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso de diseño • Diseño y análisis de herramientas mediante simulación numérica • Pruebas de temperatura • Evaluación de efectividad

25	Diseño para la manufactura (DFMA)	Enfoque innovador del diseño	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso de diseño • Análisis del diseño • Implementación del diseño • Prueba del diseño
26	Desarrollo de herramienta de diseño en SolidWorks	Modelos configurables	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión de la literatura • Análisis de datos • Modelo de SolidWorks configurable • Análisis estructural • Resultados
27	Diseño y fabricación multidisciplinar de un prototipo con análisis FEM	Enfoque innovador del diseño	<ul style="list-style-type: none"> • Modelado básico • Validación del modelado • Diseño de prototipos • Análisis CFD • Análisis FEM • Análisis de diseño

Con el fin de identificar la frecuencia de los métodos en la tabla 5, se muestra el figura 5, este plantea que metodología es utilizada con mayor frecuencia en los estudios referentes al caso, con un 32% de aceptación en los procesos de diseño de equipos se encuentra el diseño para la manufactura y ensamblaje, continua el diseño y validación en el software SolidWorks con el 14%, seguido de esto con un 11% están el diseño conceptual, método de análisis de nodos y fallas (FEM) y el método Kano para la selección de los parámetros de diseño, con el 7% está el diseño basado en conjuntos y método QFD, para finalmente con tan solo el 4% se identifica la matriz morfológica extendida y el estudio de impacto térmico.

Figura 5

Frecuencia de métodos



Evaluación de calidad y análisis de registros

Según Beltrán Ayala et al. (2021) el modelo matemático del proceso jerárquico analítico (AHP), se caracteriza por ser una forma efectiva de establecer una medida para ciertos elementos e implementarlos como un modelo de toma de decisiones, esta teoría se respalda en identificar que método o herramienta es el más adecuado para las situaciones de investigaciones planteadas, es decir, esto se puede aplicar en distintos aspectos técnicos, económicos, políticos, entre otros. Por ello, se han establecido criterios como: C1 al diseño basado en conjuntos, C2 Diseño conceptual, C3 SolidWorks, C4 método Kano, C5 método FEM, C6 método QFD, C7 estudio de impacto térmico, C8 matriz morfológica y C9 DFMA.

En la tabla 6 se muestra un esquema de evaluación multicriterio, estableciendo relaciones dependiendo el nivel de importancia y comparación de los métodos ya encontrados, una de las características principales de este análisis es que permite ponderar con valores de la escala de saaty y su recíproca, determinando el nivel de importancia que tienen los unos con los otros. A modo de ejemplo, C3 con C4 se consigue su inversa con la relación C4 C3 que es lo mismo $1/C3C4$, aplicando esto en cada una de las combinaciones posibles y realizar una sumatoria total.

Tabla 6

Esquema de evaluación multicriterio

Criterios de evaluación									
C/C	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	1	1	1	1/2	1	1	1	2	1
C2	1	1	1	1/2	2	1/2	1	1	1/2
C3	1	1	1	2	3	2	2	1	1/3
C4	2	2	1/2	1	2	1	3	2	1
C5	1	1/2	1/3	1/2	1	1	1	1	1/5
C6	1	2	1/2	1	1/2	1	1/2	1/2	1
C7	1	1/3	1/2	1/3	1	2	1	3	1
C8	1/2	1	1	1/2	1	2	1/3	1	1/2
C9	1	2	3	1	5	1	1	2	1
Total	10	11	9	7	17	12	10	12	7

La tabla 6 muestra el resultado de la diferencia entre el valor de cada ponderación de los criterios, con el total de cada columna de datos, esto con el fin de identificar una media o promedio esperado para cada método encontrado, lo que da como resultado la identificación de metodologías importantes para el proceso de diseño de máquinas, estas son: C9, C4 y C3 con un valor de 0.18, 0.16 y 0.14 respectivamente.

Tabla 7*Valores normalizados*

Tabla normalizada										Ponderación
C1	0,11	0,09	0,11	0,07	0,06	0,09	0,10	0,17	0,15	0,11
C2	0,11	0,09	0,11	0,07	0,12	0,04	0,10	0,09	0,08	0,09
C3	0,11	0,09	0,11	0,27	0,18	0,17	0,20	0,09	0,05	0,14
C4	0,21	0,18	0,06	0,14	0,12	0,09	0,31	0,17	0,15	0,16
C5	0,11	0,05	0,04	0,07	0,06	0,09	0,10	0,09	0,03	0,07
C6	0,11	0,18	0,06	0,14	0,03	0,09	0,05	0,04	0,15	0,09
C7	0,11	0,03	0,06	0,05	0,06	0,17	0,10	0,26	0,15	0,11
C8	0,05	0,09	0,11	0,07	0,06	0,17	0,03	0,09	0,08	0,08
C9	0,11	0,18	0,34	0,14	0,30	0,09	0,10	0,17	0,15	0,18

En la tabla 7 se muestra la veracidad del proceso de selección, la relación de consistencia entre los criterios da un total de 0,0898 estando dentro del margen de confiabilidad, si el resultado fuera mayor a 1, no es posible optar por la selección de los métodos encontrados tal y como lo indica, esto se obtuvo mediante el cálculo del índice de consistencia y la consistencia aleatoria cuyas formulas determinaron AxP correspondiente a cada criterio.

Tabla 8*Veracidad del proceso de selección*

	A X P	Índice de consistencia	
C1	1,0355	CI= (nmax-n)/(n-1)	0,1384
C2	0,8855		
C3	1,4146	Consistencia aleatoria	1,5400
C4	1,5287	RI= (1.98*(n-2)/n)	
C5	0,6706		
C6	0,9176	Relación de consistencia	0,0898
C7	1,0564	CR = CI/RI	
C8	0,8311		
C9	1,7667		
SUMA	10,107		

En la tabla 8 se detalla la ponderación en orden jerárquico de los resultados dispuestos por el cálculo aplicado en las secciones anteriores, tres métodos de diseño destacan su uso en

investigaciones y su relación con los otros. El método Kano, da un apartado técnico considerado como el método de diseño para la manufactura y ensamblaje que dispone de una serie de pasos para diseñar y simular el producto que se quiere fabricar, integrando las fases de simulación cualitativa y de esfuerzos normales con el software SolidWorks, como fase de prueba de los componentes mecánicos diseñados.

Tabla 9

Ponderación de evaluación en orden jerárquico

C	Crterios	Ponderación
C9	Diseño para la manufactura y ensamblaje (DFMA)	0,18
C3	Diseño y pruebas en SolidWorks	0,16
C4	Método Kano	0,14
C1	Diseño basado en conjuntos	0,11
C7	Estudio de impacto térmico	0,11
C6	Método QFD	0,09
C2	Diseño conceptual	0,09
C8	Matriz morfológica extendida	0,08
C5	Método FEM	0,07

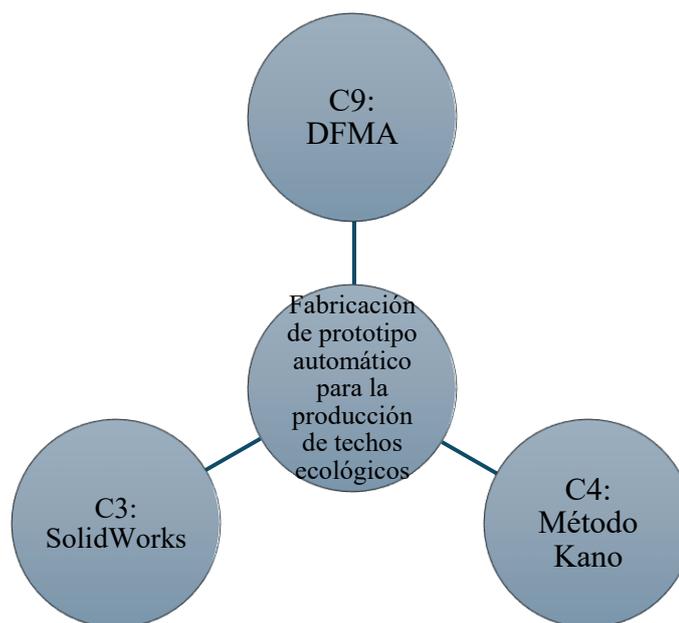
Al emplear un modelo de revisión sistemática de la literatura, con sus parámetros de búsqueda, permitió encontrar información de manera rápida y eficiente en fuentes confiables, con un total de 27 artículos que se analizaron a fondo para determinar que técnica, método e instrumento de diseño y fabricación de máquinas están presentes en el marco de la literatura científica y puedan ser aplicados para este trabajo. Los resultados de evaluación de las metodologías indican que, un proceso ideal es el uso del método Kano como base para la identificación de parámetros de diseño, seguido de una etapa técnica denominada diseño para la manufactura y ensamblaje, integrando las operaciones de modelación con el uso del software SolidWorks y sus parámetros de pruebas.

Extracción y síntesis

Al utilizar un modelo de análisis jerárquico de las herramientas de diseño encontradas en el marco de la literatura científica, se pudo determinar un procedimiento lógico conformado por tres métodos, el diseño para la manufactura y ensamblaje (DFMA), el método Kano y el uso del software SolidWorks. Este consta de la identificación de parámetros de diseño, con el fin de realizar un listado de los requerimientos funcionales, seguido del método estructurado por una parte conceptual, propiedades de ensamblaje (DFA), manufactura a través del (DFM) y la simulación en el software para concluir la producción de la máquina. Figura 6

Figura 6

Métodos seleccionados



DISCUSIÓN

Es evidente la importancia del seguimiento de las bases de diseño para la elaboración de equipos modernos, conectar con el cliente para satisfacer sus necesidades en base a los requerimientos que se puedan identificar en una investigación cualitativa, por ello, Alvarez-Cabrales et al. (2018a) propone en su trabajo de investigación la implementación del método Kano, un sistema que integra bases de indagación con preguntas claves que permiten destacar una evaluación de parámetros para determinar los requerimientos funcionales del diseño del prototipo.

Antonio Echeverría et al. (2023) destaca la implementación de modelos conceptuales, partiendo de planos de piezas que representen el esquema geométrico de los componentes de la máquina que se quiere diseñar, este impulso ofrece una solución completa en la participación de métodos modernos para la manufactura. Las exploraciones y los resultados dispuestos en una investigación de diseño permiten realizar moldes metálicos, procesos de fundición, maquinado de materiales, entre otras alternativas que puedan ser provechosas para la fabricación de techos ecológicos.

En ese sentido, la etapa de fabricación, funcionalidad y ensamblaje se complementan con el diseño asistido por computador, con el fin de optimizar los errores durante la producción, se crean modelos de simulación cualitativa para los componentes en un plano 3D, con el fin de profundizar en las alternativas creativas que la tecnología puede ofrecer, así como cálculos estructurales, ajustes de componentes, estudios térmicos, relación de componentes por análisis de elementos finitos, cargas, esfuerzos, entre otros. Tal y como lo indica el autor González et al. (2019b).

Uno de los métodos más innovadores durante el proceso de diseño, es la utilización de la conocida tabla morfológica extendida de decisiones, es un esquema que permite comparar tecnologías que pueden ser aplicables y evaluadas bajo ciertos criterios de ponderaciones, M. María et al. (2022b) destaca en su estudio la utilización de este método, anticipando la toma de decisiones durante el proceso de diseño para cumplir con las expectativas de los clientes y así cubrir una necesidad de la forma más accesible, económica y ergonómicamente posible.

Este trabajo se sustenta bajo la implementación de la investigación, diseño y mecanizado de piezas, que conllevan a un proceso de fabricación y ensamblaje, las iteraciones de los componentes se estudian bajo la modalidad del diseño asistido por computador, que por su compleja estructura de representar los componentes en un entorno 3D, facilita la comprensión de los resultados propuestos para optimizar el proceso de ensamblaje, tal y como lo indica el autor Kumar et al. (2019b).

CONCLUSIONES

Se empleó el método de revisión sistemática de la literatura científica, en conjunto con el método bibliográfico con un estudio bibliométrico utilizando el paquete Bibliometrix, con el propósito de examinar la producción científica anual, identificar los países con mayor contribución en la investigación y analizar las tendencias temáticas en la literatura. Este enfoque facilitó la construcción de un mapa de red conceptual, permitiendo la visualizar las interrelaciones entre los principales temas abordados. Se seleccionaron 27 artículos claves que sirvieron de base para definición de la metodología aplicada en la investigación.

Entre los hallazgos más relevantes, Alvarez-Cabrales et al. (2018b) indica el uso de estudios de benchmarking entregados en el método Kano, lo que permite recopilar información para definir los requerimientos funcionales del prototipo a diseñar. Por otra parte González et al. (2019c) integra el proceso metodológico DFMA para representar las necesidades del producto con diseños que inicien con una parte conceptual, pasen por una planificación DFA, selección de materiales, rediseño conceptual y simulación en software de diseño SolidWorks, para concretar con el diseño para ensamblaje DFM y comenzar con las pruebas objetivas del funcionamiento del equipo.

REFERENCIAS

- Abuzied, H., Nazih, N., & Sahbel, A. (2024). Design and simulation of eco-friendly smartphone controlled forklift. *Heliyon*, *10*(9), e30682. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2024.E30682>
- Almeida-Marcia, & Diaz-Cesar. (2020). Economía circular, una estrategia para el desarrollo sostenible. Avances en Ecuador _ Estudios de la Gestión_ Revista Internacional de Administración. *Revista Internacional de Administración*. <https://doi.org/10.32719/25506641.2020.8.10>
- Alvarez-Cabrales, A. I., Pérez-Rodríguez, R. I., Gabriel Gaskins-Espinosa, B. I., & Zayas-Figueras III, E. E. (2018a). Soluciones conceptuales de un molino de cuchillas a partir de sus requerimientos funcionales//Conceptual solutions of a mill with blades from his functional requirements. *Ingeniería Mecánica. Revista Electrónica. ISSN 1815-5944*, *21*(1), 28–35. <https://ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/577>
- Alvarez-Cabrales, A. I., Pérez-Rodríguez, R. I., Gabriel Gaskins-Espinosa, B. I., & Zayas-Figueras III, E. E. (2018b). Soluciones conceptuales de un molino de cuchillas a partir de sus requerimientos funcionales//Conceptual solutions of a mill with blades from his functional requirements. *Ingeniería Mecánica. Revista Electrónica. ISSN 1815-5944*, *21*(1), 28–35. <https://ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/577>
- Antonio Echeverría, J., Mir-Labrada I, V. M., García-Hernández, T. I., Parada-Expósito, A. I., Arzola-Ruiz, J. I., Monzon-Yepe, D. I., Cuesta-Figueroa III, Y., Habana Cuba, L., Labrada, M. V., Hernández, G. T., Expósito, P. A., Ruiz, A. J., Yepe, M. D., & Figueroa Diseño, C. Y. (2023). Diseño y fabricación de un molde metálico para fundición de aluminio // Design and manufacture of a metal mold for cast aluminum. *Ingeniería Mecánica. Revista Electrónica. ISSN 1815-5944*, *26*(1), e662–e662. <https://ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/719>
- Bakogianni, A., Anselmi, E. P., Rajendran, D. J., Bufalari, L., Talluri, L., Ungar, P., & Fiaschi, D. (2024). Multidisciplinary design and manufacturing of a Tesla pump prototype. *Applied Thermal Engineering*, *255*, 123973. <https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2024.123973>
- Beltrán Ayala, J. M., Acurio Hidalgo, G. F., Alulema Zurita, P. S., Beltrán Ayala, J. M., Acurio Hidalgo, G. F., & Alulema Zurita, P. S. (2021). Método AHP de Saaty para determinar los factores del quantum indemnizatorio por daño inmaterial en materia penal en Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, *13*(2), 249–256.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202021000200249&lng=es&nrm=iso&tlng=es

- CARABAJO, S., TORRES, R., & REYES, B. (2021). Proyecto arquitectónico como laboratorio vivo de investigación. *Espacios*, 42(09), 01–11. <https://doi.org/10.48082/espacios-a21v42n09p01>
- Coromoto-Martínez, E., Pérez-Laurens, L., Llimpe-Celso E, & Gallardo-Magalis. (2014). Aislamiento acústico de prototipos de techos ecológicos multicapas. Hacia una arquitectura verde con calidad acústica. *Ciencias Del Agro, Ingeniería y Tecnología*, 5(11), 76–654. <http://produccioncientificaluz.org/index.php/rluz/article/view/19841>
- Cruz-Rivero, L., Meráz-Rivera, J., Lince-Olguín, E., Cruz-Rivero, L., Meráz-Rivera, J., & Lince-Olguín, E. (2023). El despliegue de la función de la calidad y la teoría para la solución de problemas de inventiva: un análisis de aproximación para la satisfacción de los requerimientos del cliente. *Ingeniería Industrial*, 45(45), 91–108. <https://doi.org/10.26439/ING.IND2023.N45.6595>
- Dey, A., & Ashok, S. D. (2024). Fuzzy logic based qualitative indicators for promoting extended producer responsibility and sustainable food packaging waste management. *Environmental and Sustainability Indicators*, 24, 100534. <https://doi.org/10.1016/J.INDIC.2024.100534>
- Diana Peñalba, V., Blanco, L., & Álvarez, H. (2023). *Application of the AHP method for the prioritization of social investment projects in the NGĀBE-BUGLÉ region*. <https://doi.org/10.33412/idt.v20.1.3976>
- Eduardo Vasquez Caceres, J., Nacional Agraria La Molina Lima, U., Antonio Orellana Pardave, J., Carlos Rebaza Pino, A., & Alberto Altamirano Chunga, L. (2024). Gestión de mantenimiento de maquinaria y equipos en diferentes sectores agroindustriales: Revisión sistemática. *Revista Alfa*, 8(23), 559–575. <https://doi.org/10.33996/REVISTAALFA.V8I23.286>
- Erazo-Arteaga, V. A., & Erazo-Arteaga, V. A. (2022). El diseño, la manufactura y análisis asistido por computadora (CAD/CAM/CAE) y otras técnicas de fabricación digital en el desarrollo de productos en América Latina. *Información Tecnológica*, 33(2), 297–308. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642022000200297>
- Figuroa Hernández, C., Carvajal de la Osa, J., Garcés Silveira, L., William Sandino del Busto, J., & Fumero Pérez, A. (2023). *Design and manufacture of a machine for tensile tests on materials used in tissue engineering*. <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v15n2/2218-3620-rus-15-02-584.pdf>
- Gabriel, J., & Bijarro, O. (2020). *Diseño de una Prensa Hidráulica Térmica para Elaborar Placas de Polialuminio Reciclado*. <https://hdl.handle.net/20.500.12098/937>
- González, Y. E., Violet, M. A., Agudelo, H. D., González, Y. E., Violet, M. A., & Agudelo, H. D. (2019a). Aplicación del método de diseño para manufactura y ensamblaje al chasis de

un vehículo de tracción humana de tres ruedas tipo recumbent como alternativa de transporte en la ciudad de Montería. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 13(25), 35–44. <https://doi.org/10.31908/19098367.4012>

González, Y. E., Violet, M. A., Agudelo, H. D., González, Y. E., Violet, M. A., & Agudelo, H. D. (2019b). Aplicación del método de diseño para manufactura y ensamblaje al chasis de un vehículo de tracción humana de tres ruedas tipo recumbent como alternativa de transporte en la ciudad de Montería. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 13(25), 35–44. <https://doi.org/10.31908/19098367.4012>

González, Y. E., Violet, M. A., Agudelo, H. D., González, Y. E., Violet, M. A., & Agudelo, H. D. (2019c). Aplicación del método de diseño para manufactura y ensamblaje al chasis de un vehículo de tracción humana de tres ruedas tipo recumbent como alternativa de transporte en la ciudad de Montería. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 13(25), 35–44. <https://doi.org/10.31908/19098367.4012>

Ishikawa, H., & Sasaki, N. (2020). A balanced design for plural performances of technology, economy and environment in product design. *Procedia Manufacturing*, 43, 119–126. <https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2020.02.124>

Jagusiak-Kocik, M., & Idzikowski, A. (2023). Implementation of the Kano model in a company providing public transport services. *Transportation Research Procedia*, 74, 57–63. <https://doi.org/10.1016/J.TRPRO.2023.11.112>

Khan, H. A., Farooq, U., Saleem, S. R., Rehman, U. ur, Tahir, M. N., Iqbal, T., Cheema, M. J. M., Aslam, M. A., & Hussain, S. (2024). Design and development of machine vision robotic arm for vegetable crops in hydroponics. *Smart Agricultural Technology*, 9, 100628. <https://doi.org/10.1016/J.ATECH.2024.100628>

Khandelwal, P., Al-Ashaab, A., Oad, N. M., Kumar Masetty, V. S., Yan, P., Abdelrahman, M., & Alkhateeb, A. A. (2024). Set-based design application on dates harvesting machine. *Heliyon*, 10(5), e27005. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2024.E27005>

Kumar, S., Campilho, R. D. S. G., & Silva, F. J. G. (2019a). Rethinking modular jigs' design regarding the optimization of machining times. *Procedia Manufacturing*, 38, 876–883. <https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2020.01.169>

Kumar, S., Campilho, R. D. S. G., & Silva, F. J. G. (2019b). Rethinking modular jigs' design regarding the optimization of machining times. *Procedia Manufacturing*, 38, 876–883. <https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2020.01.169>

Liñan-Pérez, J., Puma-Isuiza, G., Valdez-Arana, J., Liñan-Pérez, J., Puma-Isuiza, G., & Valdez-Arana, J. (2023). Validation of the incorporation of emotional response in consumer-based sensory development: case study in Peruvian craft beers. *Scientia Agropecuaria*, 14(3), 375–384. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2023.033>

- López De Asiaín-Alberich, M., Hernández-Valencia, M., Roa-Fernández, J., & Limones, R. H. (2022). Addressing sustainability. Construction of a prototype as a teaching design tool abordando la sustentabilidad. *Revista Hábitat Sustentable*, 12(1). <https://doi.org/10.22320/07190700.2022.12.01.04>
- María, J., Ayala, B., Fabricio, G., Hidalgo, A., Sebastián, P., & Zurita, A. (2021). *Volumen 13 | Número 2 | Marzo-Abril*. <https://orcid.org/0000-0001-5982-1151>
- María, M., Gómez-Águila, V., Luis, I., Castellanos-Serrano, T., Soriano-Avenidaño, A., José, I., Castellanos Suárez, A., Josué, M. C., Cervantes-Bazán, V., Aurelio Pérez-Vivar, I. M., & Ramiro Chávez-Mota, I. (2022a). *Main Design Parameters of a Vermicompost Screening Machine Principales parámetros de diseño de una máquina cribadora de vermicomposta* (Vol. 31, Issue 1).
- María, M., Gómez-Águila, V., Luis, I., Castellanos-Serrano, T., Soriano-Avenidaño, A., José, I., Castellanos Suárez, A., Josué, M. C., Cervantes-Bazán, V., Aurelio Pérez-Vivar, I. M., & Ramiro Chávez-Mota, I. (2022b). *Main Design Parameters of a Vermicompost Screening Machine Principales parámetros de diseño de una máquina cribadora de vermicomposta* (Vol. 31, Issue 1).
- Nunes, J. V. D. S., Nogueira, K. M. V., Deus, E. P. de, & Rios, M. A. D. S. (2022). Desenvolvimento de molde para produção de briquetes em escala de bancada. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 39(1), 26997. <https://doi.org/10.35977/0104-1096.cct2022.v39.26997>
- Pasetti Monizza, G., Di Blasio, I., & Matt, D. T. (2024). Exploring applications of Computational Design techniques and design for manufacturability for costs reduction of prefabricated timber-based façades: The ‘LegnAttivo’ design prototype. *Developments in the Built Environment*, 19, 100489. <https://doi.org/10.1016/J.DIBE.2024.100489>
- Poon, T., West, J. L., Betters, E. D., Smith, S., Tyler, C. T., Nycz, A., Masuo, C., & Schmitz, T. (2024). Machine tool cross beam design, fabrication, and testing using metal big area additive manufacturing. *Manufacturing Letters*, 41, 850–861. <https://doi.org/10.1016/J.MFGLET.2024.09.105>
- Revelo-Sánchez, O., Collazos-Ordóñez, C. A., & Jiménez-Toledo, J. A. (2015). *El trabajo colaborativo como estrategia didáctica para la enseñanza/aprendizaje de la programación: una revisión sistemática de literatura Collaborative work as a didactic strategy for teaching/learning programming: a systematic literature review*. 21(41), 115–134.
- Rey, G. G., Herrera Pérez, G. A., Carmen, L. Del, & Escamilla, O. (2020). Conceptual design in integrative projects in courses for higher university technicians in mechatronics. *Ingeniería Industrial Versión Impresa ISSN 1025-9929 versión On-Line ISSN 2523-6326*, 9(2), 272–286.

- Rianmora, S., & Werawatganon, S. (2021). Applying Quality Function Deployment in Open Innovation Engineering. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(1), 26. <https://doi.org/10.3390/JOITMC7010026>
- Santamaría-Piedrahita, J. C., Carreño-Avendaño, L. A., Turgeman-Barrero, S., Santamaría-Piedrahita, J. C., Carreño-Avendaño, L. A., & Turgeman-Barrero, S. (2022). Implementación de nuevos procesos de fabricación y ensamble de carrocerías para buses tipo BRT. *Ingeniería y Competitividad*, 24(1). <https://doi.org/10.25100/IYC.2411.10889>
- Seyam, M., Koshy, P., & Elbestawi, M. (2024). Laser powder bed fusion of WC-Co form turning tools with integrated cooling features: Design, printing, and test machining of Ti6Al4V. *CIRP Annals*, 73(1), 65–68. <https://doi.org/10.1016/J.CIRP.2024.04.053>
- Stratton, M. J., & Corneal, L. M. (2023). Development of a tiny house design tool to increase safety, efficiency, and cost-effectiveness. *Innovation and Green Development*, 2(2), 100052. <https://doi.org/10.1016/J.IGD.2023.100052>
- Takawira-Nyakuchena, M., & Mushiri, T. (2020). Design of an automated maize de-husking machine for the case of Zimbabwe. *Procedia Manufacturing*, 43, 127–134. <https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2020.02.126>
- Vargas, M. G., Galeano Higueta, C., & Jaramillo Muñoz, A. (2015). *El estado del arte: una metodología de investigación the state of the art: a research methodology*.
- Vidal, S. L., Barona, J., Vidal, S. L., & Barona, J. (2023). Análisis y evaluación del desempeño térmico de sistemas de cubiertas utilizadas en construcciones en seco para edificaciones de vivienda ubicadas en la ciudad de Santiago de Cali y su área de influencia. *Ingeniería y Competitividad*, 25(1). <https://doi.org/10.25100/IYC.V25I1.11363>
- Wu, B., Zhao, W., Hu, H., Liu, Y., & Lv, J. (2022). Conceptual Design of Intelligent Manufacturing Equipment Based on a Multi-source Heterogeneous Requirement Mapping Method. *IFAC-PapersOnLine*, 55(2), 475–480. <https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2022.04.239>