



Diseño de un mecanismo hidráulico ajustable para la elevación del tablero en sistemas de baloncesto, orientado a su uso inclusivo por personas de distintas edades y con diversidad funcional

Design of an adjustable hydraulic mechanism for elevating the backboard in basketball systems, geared toward inclusive use by people of different ages and with functional diversity

Projeto de mecanismo hidráulico ajustável para elevação da tabela em sistemas de basquetebol, vocacionado para uma utilização inclusiva por pessoas de diferentes idades e com diversidade funcional.

Cristian Paúl Topa-Chuquitarco ^I

ctopac@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-2780-5488>

José Andrés Naranjo-Segovia ^{II}

jnaranjos@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0001-5890-3929>

Jorge Javier Acosta-Monosalvas ^{III}

jacostam@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-7073-5286>

Yusimit Karina Zamora-Hernández ^{IV}

yzamorah@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-0112-1061>

Correspondencia: ctopac@uteq.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 28 de julio de 2025 * **Aceptado:** 18 de agosto de 2025 * **Publicado:** 12 de septiembre de 2025

- I. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Los Ríos, Ecuador.
- II. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Los Ríos, Ecuador.
- III. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Los Ríos, Ecuador.
- IV. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

Resumen

El presente trabajo busca diseñar un sistema hidráulico de elevación para el tablero de una canasta de baloncesto, permitiendo un ajuste seguro, ergonómico y accesible, mediante un enfoque técnico, las cargas mecánicas y la viabilidad del sistema, con el objetivo de promover la inclusión deportiva sin comprometer la funcionalidad o durabilidad del equipo, seguro y fácil de operar, este sistema está pensado para ser adaptable a diferentes usuarios, desde niños, adultos y personas con capacidades especiales. Los objetivos principales incluyen determinar las cargas máximas que soporta el tablero en distintas condiciones, seleccionar componentes hidráulicos óptimos (considerando capacidad de carga, durabilidad y facilidad de uso) y diseñar un mecanismo estructural seguro que permita ajustes de altura eficientes. Este desarrollo busca combinar ingeniería mecánica e inclusión social, asegurando un sistema robusto, adaptable y fácil de operar para usuarios de todas las edades y capacidades.

Palabras clave: Ajuste de altura; sistema hidráulico; Inclusión deportiva; resistencia estructural.

Abstract

This work aims to design a hydraulic lifting system for a basketball hoop's backboard, allowing for safe, ergonomic, and accessible adjustment. This system utilizes a technical approach, considering mechanical loads and system viability. The goal is to promote sports inclusion without compromising the equipment's functionality or durability. This system is safe and easy to operate and is designed to be adaptable to a variety of users, from children to adults and individuals with disabilities. The main objectives include determining the maximum loads the backboard can support under different conditions; selecting optimal hydraulic components (considering load capacity, durability, and ease of use); and designing a safe structural mechanism that allows for efficient height adjustments. This development seeks to combine mechanical engineering and social inclusion, ensuring a robust, adaptable, and easy-to-operate system for users of all ages and abilities.

Keywords: Height adjustment; Hydraulic system; Sports inclusion; Structural strength.

Resumo

Este trabalho tem como objetivo projetar um sistema de elevação hidráulica para a tabela de um cesto de basquetebol, permitindo ajustes seguros, ergonómicos e acessíveis. Este sistema utiliza uma abordagem técnica, considerando as cargas mecânicas e a viabilidade do sistema. O objetivo é promover a inclusão desportiva sem comprometer a funcionalidade ou a durabilidade do equipamento. Este sistema é seguro e fácil de operar e foi concebido para ser adaptável a uma variedade de utilizadores, desde crianças a adultos e pessoas com deficiência. Os principais objetivos incluem determinar as cargas máximas que a tabela pode suportar em diferentes condições; selecionar os componentes hidráulicos ideais (considerando a capacidade de carga, a durabilidade e a facilidade de utilização); e conceber um mecanismo estrutural seguro que permita ajustes de altura eficientes. Este desenvolvimento procura aliar a engenharia mecânica e a inclusão social, garantindo um sistema robusto, adaptável e fácil de operar para utilizadores de todas as idades e capacidades.

Palavras-chave: Regulação em altura; Sistema hidráulico; Inclusão desportiva; Resistência estrutural.

Introducción

La accesibilidad universal en los espacios deportivos es un componente esencial para garantizar que personas de todas las edades y capacidades puedan participar de manera activa en la recreación y el deporte (Herbison et al., 2023). En este marco, el baloncesto se presenta como una herramienta poderosa para promover la inclusión, sin embargo, la infraestructura disponible suele ser rígida y excluyente (Lu et al., 2024). Un elemento clave de esta infraestructura es el tablero y aro, cuya altura fija limita el acceso de niños, niñas, personas mayores o con diversidad funcional (Thomas et al., 2022); por lo que emerge la necesidad de desarrollar mecanismos hidráulicos ajustables que permitan regular el tablero de forma segura, rápida y ergonómica (Wang, 2022).

En los últimos años, las metodologías basadas en simulación han demostrado su capacidad para generar diseños robustos, eficientes y rentables en sistemas deportivos que recurren a análisis y elementos finitos para optimizar la cinemática, dinámica y estructuras de carga (Guerra, 2022). Estos enfoques muestran un alto potencial de aplicación en sistemas hidráulicos ajustables, permitiendo anticipar el comportamiento mecánico antes de construir prototipos físicos (Nadem et al., 2021).

Simultáneamente, los sistemas hidráulicos ya han sido utilizados en canastas convencionales para ofrecer asistencia durante el ajuste de altura, evitando que el usuario soporte cargas elevadas y promoviendo la seguridad (Pingyang & Wenzhi, 2022). Este principio es aplicable de manera directa en contextos inclusivos, donde se requiere que la elevación y descenso del tablero puedan ser realizados por un amplio rango de usuarios, incluyendo quienes presentan limitaciones motrices (Zhidchenko et al., 2024).

Además, investigaciones en el ámbito de herramientas físicas adaptativas han evidenciado que los mecanismos que ajustan automáticamente parámetros como la altura o el ángulo de lanzamiento pueden mejorar significativamente los aprendizajes motores, debido a que mantienen al usuario en el punto óptimo de desafío (Morris et al., 2021). Si se traslada este concepto al diseño de un aro de baloncesto ajustable, se plantea la posibilidad de favorecer el desarrollo de habilidades motrices de forma autónoma y progresiva, especialmente en contextos educativos o rehabilitacionales (Taberner et al., 2023).

A pesar de estos avances tecnológicos, existen vacíos importantes en la literatura en cuanto a sistemas hidráulicos inclusivos específicamente diseñados para canastas de baloncesto. Por una parte, los estudios existentes se centran en sistemas comerciales o focalizados en una función (por ejemplo, remontaje hidráulico), sin considerar aspectos como la ergonomía para usuarios con diversidad funcional, seguridad integral, ajuste manual vs automático, y su integración en programas deportivos inclusivos (Fernández et al., 2024).

En consecuencia, este artículo propone un diseño conceptual de mecanismo hidráulico ajustable para la elevación del tablero, orientado a garantizar su usabilidad por personas de todas las edades y capacidades. El estudio se basa en los principios de diseño para la inclusión y simula posibles configuraciones mediante herramientas de simulación estructural y cinemática. El principal objetivo es demostrar la factibilidad de un sistema que responda a criterios de seguridad, autonomía y accesibilidad funcional, aportando evidencia técnica para su eventual desarrollo prototípico y evaluación en entornos reales (programas escolares, centros comunitarios, instalaciones deportivas accesibles).

Metodología

Los sistemas de aros de baloncesto con ajuste de altura pueden ser instalados en diversos espacios, tales como instituciones educativas, facilitando la participación equitativa de todos los estudiantes.

Asimismo, su implementación en parques públicos promueve la práctica deportiva inclusiva, mediante la creación de instalaciones deportivas equipadas con dispositivos adaptados que atienden a las necesidades de personas con y sin discapacidad.

Para la recolección de datos se emplearon instrumentos como encuestas y entrevistas estructuradas dirigidas a usuarios potenciales de distintas edades y capacidades, con el propósito de identificar necesidades específicas y experiencias previas relacionadas con sistemas similares. Además, se realizó observación directa en instalaciones deportivas para evaluar el uso y desempeño de los soportes existentes, permitiendo la detección de limitaciones y oportunidades de mejora. En la etapa de diseño y simulación, se utilizaron programas especializados como SolidWorks para analizar la resistencia, estabilidad y funcionalidad del sistema hidráulico, complementado con Matlab para el cálculo de cargas máximas y fuerzas, lo que permitió validar la viabilidad técnica y garantizar la seguridad del diseño.

Se emplearon herramientas como Excel y Project para la organización y el análisis de los datos recopilados a partir de encuestas y mediciones. Estas aplicaciones permitieron la categorización y el procesamiento de la información derivada de entrevistas y observaciones, facilitando la identificación de patrones y tendencias significativas que contribuyen a la optimización del diseño del sistema.

Resultados y discusión

Determinación de las cargas máximas que soportan los tableros de baloncesto bajo diferentes condiciones de uso, garantizando la seguridad y estabilidad del sistema hidráulico de elevación.

Las especificaciones dimensionales y de peso de los componentes del sistema han sido definidas para asegurar la estabilidad estructural sin requerir anclajes permanentes. El peso total estimado de la estructura oscila entre 100 y 150 kg, lo que proporciona la masa necesaria para mantener la seguridad durante su uso.

En cuanto a la base y el soporte, se proponen dimensiones aproximadas de 1,5 metros de ancho, 2 metros de largo y 0,8 metros de altura, lo que permite una distribución equilibrada de las cargas. Para incrementar la estabilidad, la base debe incorporar un lastre adicional de entre 50 y 80 kg.

Respecto al tablero y el aro, se recomienda que el tablero cumpla con las dimensiones oficiales establecidas por la FIBA, es decir, 1,80 metros de ancho por 1,05 metros de alto. El material sugerido para el tablero es policarbonato o vidrio templado, con un espesor comprendido entre 10

y 12 mm, lo que garantiza tanto la durabilidad como el rendimiento deportivo. El conjunto formado por el tablero y el aro tiene un peso aproximado de 30 kg.

En la Tabla 1 se puede apreciar las diferentes alturas regulables del aro de baloncesto propuesto.

Tabla 1. Alturas regulables del aro de baloncesto

Descripción de alturas	Rango ajustable
Altura máxima (Competiciones masculinas)	3,05 m
Altura media (Competiciones masculinas)	2,60 m
Altura reglamentaria (Competiciones femeninas)	2,60 m
Altura en competiciones infantiles y de discapacidad	2,44 m
Altura mínima (Para transporte)	1,50 m

Como se aprecia en la Tabla 2, se determinó la carga máxima de la estructura del tablero de baloncesto, que incluyó los valores de fuerza estática (peso del tablero y el aro), fuerza dinámica por un jugador colgándose del aro y presión equivalente.

Tabla 2. Carga máxima de la estructura del tablero de baloncesto

Descripción de alturas	Rango ajustable
Fuerza estática	294,3 N
Fuerza dinámica	2354,4 N
Carga máxima	2648,7 N
Presión equivalente	38,42 psi

En la carga máxima del pistón hidráulico, se aplicó un coeficiente de seguridad para el diseño del mismo (Tabla 3).

Tabla 3. Cargas que debe soportar el pistón hidráulico

Variable	Valor	Descripción
Carga total	2648,7 N	Fuerza total ejercida

Carga total con factor de seguridad	3973 N	Fuerza que soporta el pistón
Masa de la estructura	674,8 kg	Peso de total de la estructura

Según lo observado en la Tabla 4, el pistón tiene 186 mm de carrera, la relación de multiplicación mínima debe ser 0,833 mm

Tabla 4. Distancia del movimiento del pistón

Altura final	Variación
2,44 m	940 mm
2,60 m	1100 mm
3,05 m	1550 mm

Diseño del mecanismo estructural del sistema de elevación hidráulico y su capacidad de ajuste a distintas alturas de manera segura y eficiente.

SolidWorks permite realizar análisis estructurales a través de su módulo de Simulación, el cual emplea el Método de Elementos Finitos (MEF) para examinar esfuerzos, deformaciones y márgenes de seguridad en modelos tridimensionales (Arora et al., 2022). El procedimiento inicia con la asignación de materiales, condiciones de frontera y fuerzas aplicadas al diseño. Luego, el programa genera una malla compuesta por pequeños elementos y resuelve un conjunto de ecuaciones matemáticas para predecir el comportamiento del modelo bajo esas condiciones. Los resultados proporcionan representaciones visuales de desplazamientos, tensiones y deformaciones, facilitando la detección de zonas críticas y a partir de esta información, es posible optimizar el diseño para garantizar su funcionalidad y seguridad antes de pasar al proceso de fabricación (Castellanos, 2023).

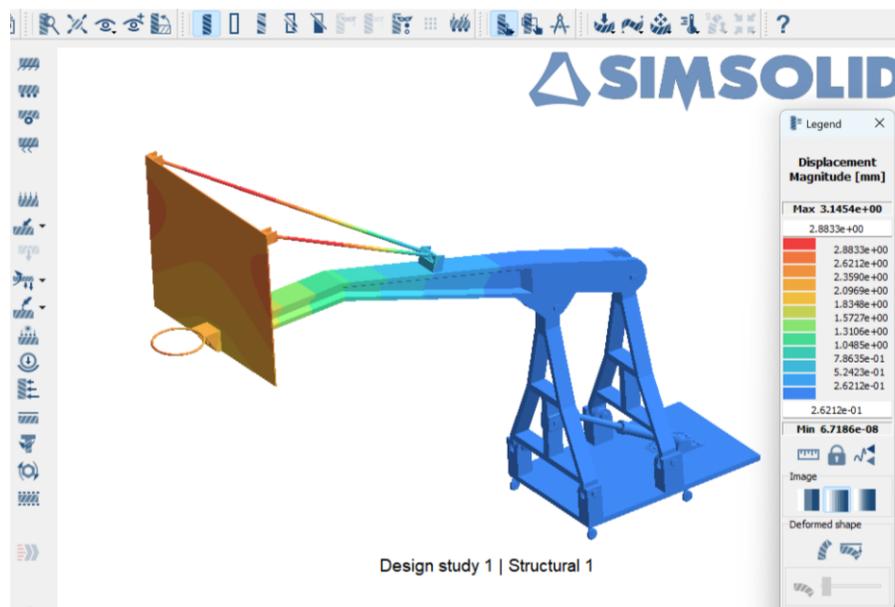
SimSolid lleva a cabo análisis estructurales utilizando un método innovador que prescinde de la generación tradicional de mallas de elementos finitos, conocido como enfoque sin malla (meshless) (Vardaan & Kumar, 2022). En lugar de ello, emplea algoritmos avanzados y técnicas de resolución directa para evaluar geometrías complejas, incluyendo aquellas con imperfecciones o detalles minuciosos, sin necesidad de simplificaciones. El software aplica las cargas y restricciones directamente sobre el modelo CAD original, lo que acelera significativamente el proceso de simulación. Además, utiliza solvers matemáticos de alto rendimiento para calcular en tiempo real

tensiones, deformaciones y frecuencias naturales, incluso en ensamblajes de gran tamaño (Peña et al., 2023). Esta capacidad permite realizar análisis rápidos y precisos sin comprometer el nivel de detalle, siendo especialmente útil para iteraciones ágiles en el diseño. SimSolid destaca por su eficiencia en estudios de optimización topológica y validación estructural, ya que no requiere preparación previa de la geometría para su análisis (Pachacama et al., 2024).

Simulación de desplazamiento

Los resultados obtenidos evidencian un desplazamiento máximo de 3,1454 mm en el componente fabricado con acero AISI 304, con una distribución que va desde zonas restringidas (≈ 0 mm) hasta regiones expuestas a carga. Al considerar el módulo de elasticidad del material ($193 \text{ GPa} \approx 193,000 \text{ MPa}$), la deformación relativa calculada ($0,256 \%$ para una longitud estándar de 1 m) sugiere que ciertas áreas podrían aproximarse al límite elástico del acero (205 MPa), especialmente en presencia de concentradores de tensión.

Figura 1. Simulación del desplazamiento



La diferencia observada entre el desplazamiento simulado y el valor del límite elástico podría deberse a posibles errores en la definición de la malla, la aplicación de cargas o la asignación de propiedades del material. Para aumentar la precisión del análisis, sería recomendable realizar un estudio de convergencia de malla y emplear análisis no lineales que consideren la plasticidad del

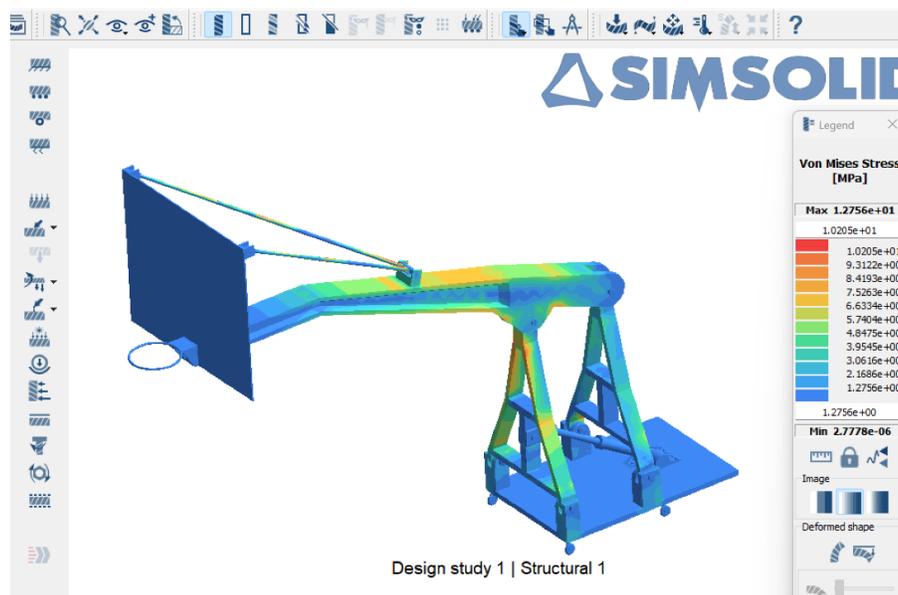
material. Asimismo, si el componente está sometido a cargas térmicas o cíclicas durante su operación, se sugiere complementar el estudio con análisis termomecánicos o de fatiga (Topa et al., 2025).

Simulación de Von Mises Stress

Los resultados obtenidos indican una tensión de Von Mises máxima de 12,76 MPa, valor considerablemente inferior al límite elástico del material (205 MPa), lo que demuestra que el componente trabaja dentro del rango elástico y cuenta con un alto factor de seguridad. La distribución de tensiones muestra transiciones suaves, con valores mínimos cercanos a cero ($2,78 \times 10^{-6}$ MPa), lo cual sugiere la presencia de áreas poco solicitadas donde podría reducirse el uso de material.

Dado que solo se utiliza aproximadamente el 6 % de la capacidad resistente del material, existe un notable potencial de optimización. Las regiones con esfuerzos mínimos evidencian un exceso de material que no aporta significativamente a la integridad estructural. No obstante, es necesario verificar que no actúen cargas secundarias como impactos, vibraciones o efectos térmicos que justifiquen conservar dicho margen de seguridad (Quinchuela et al., 2023).

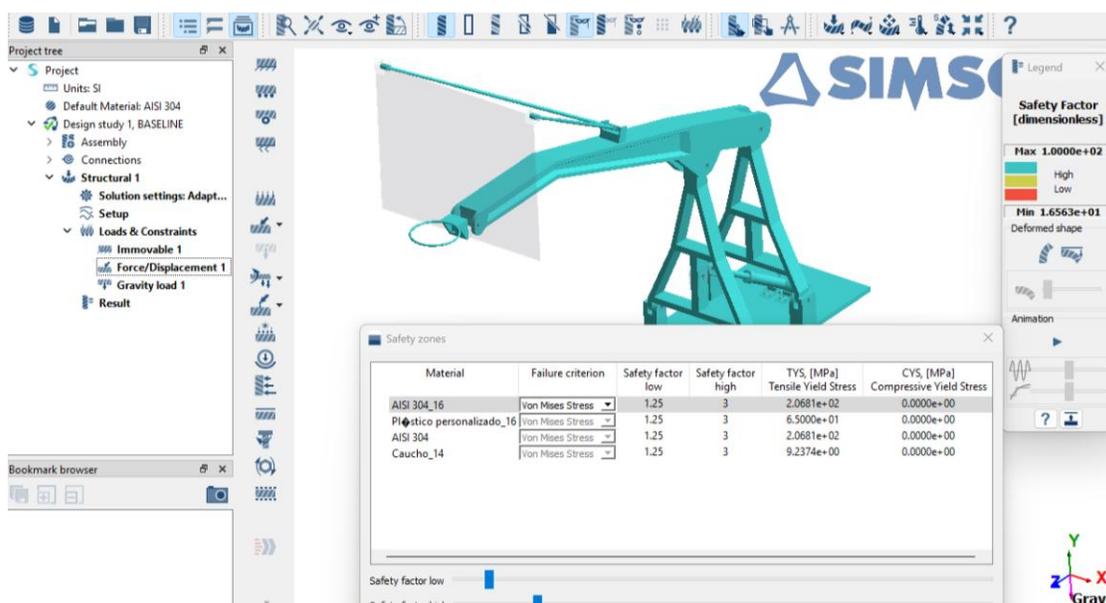
Figura 2. Simulación Von Mises Stress



Simulación del factor de seguridad

Los resultados indican que el diseño actual utilizando acero AISI 304 presenta un factor de seguridad aproximado de 16, calculado como la relación entre la resistencia a la fluencia y la tensión máxima (206,84 MPa / 12,49 MPa), valor que excede considerablemente el rango recomendado de 1,25 a 3. Esta elevada proporción evidencia un sobredimensionamiento significativo del componente, capaz de soportar cargas hasta 16 veces superiores a las aplicadas en las condiciones de análisis. Si bien este margen garantiza una seguridad amplia, resulta poco eficiente desde el punto de vista económico y de peso, lo que sugiere la necesidad de optimizar el diseño para equilibrar seguridad y eficiencia.

Figura 3. Simulación del factor de seguridad



Para optimizar el diseño, se recomienda disminuir la cantidad de material en las áreas donde las tensiones son bajas (<5 MPa), asegurando al mismo tiempo que el factor de seguridad se mantenga dentro del rango ideal de 2 a 3. Además, es necesario verificar la posible existencia de cargas adicionales no consideradas, como las térmicas o dinámicas, que puedan justificar el elevado margen de seguridad actual. Aunque el diseño cumple ampliamente con el requisito mínimo de un factor de seguridad de 1.25, existe margen para mejorar su eficiencia estructural (Reyes et al., 2021).

Conclusiones

La determinación de las cargas máximas constituye un paso fundamental en el diseño del sistema hidráulico, ya que permite definir límites operativos seguros y evitar fallos estructurales. Los resultados obtenidos no solo aseguran la estabilidad del tablero de baloncesto, sino que también garantizan la protección física de los usuarios. Este análisis ofrece una base sólida para el desarrollo de un sistema robusto y confiable, capaz de soportar las exigencias físicas propias del baloncesto en sus diversas modalidades.

El diseño del mecanismo hidráulico de elevación, fabricado en acero AISI 304, cumple satisfactoriamente con los criterios de seguridad, funcionalidad y adaptabilidad requeridos para el tablero de baloncesto. Presenta un amplio margen de resistencia, evidenciado por una tensión máxima de 12,76 MPa frente a un límite elástico de 205 MPa, y un coeficiente de seguridad robusto cercano a 16, lo que permite considerar futuras optimizaciones en términos de reducción de peso sin comprometer la integridad estructural. La distribución uniforme de tensiones y la capacidad de ajuste a distintas alturas garantizan un desempeño eficiente.

Se recomienda implementar refuerzos localizados y realizar validaciones bajo condiciones reales para asegurar un rendimiento óptimo. Así, el diseño no solo satisface las exigencias técnicas, sino que también ofrece margen para mejorar la eficiencia y reducir costos.

Referencias

1. Arora, A., Pathak, A., Juneja, A., Shakkarwal, P., & Kumar, R. (2022). Design & analysis of progressive die using SOLIDWORKS. *Materials Today: Proceedings*, 51, 956-960. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.335>
2. Castellanos, C. J. G. (2023). Estudio simulación esfuerzos en acero AISI/SAE 1045 por medio modelación en SolidWorks. *InGente Americana*, 3(3). <https://doi.org/10.21803/ingecana.3.3.669>
3. Fernández-Vázquez, D., Navarro-López, V., Cano-de-la-Cuerda, R., Palacios-Ceña, D., Espada, M., Bores-García, D., ... & Romero-Parra, N. (2024). Influence of virtual reality and gamification combined with practice teaching style in physical education on motor skills and students' perceived effort: A mixed-method intervention study. *Sustainability*, 16(4), 1584. <https://doi.org/10.3390/su16041584>

4. Guerra, D. M., Gómez, Y. M., Torres, L. J., & Ortiz, F. G. (2022). Social sports Competition Scoring System Design Using Single Value Neutrosophic Environment. *International Journal of Neutrosophic Science (IJNS)*, 19(1). <https://doi.org/10.54216/IJNS.190135>
5. Herbison, J. D., Osborne, M., Andersen, J., Lepage, P., Pagé, V., Levasseur, C., ... & Sweet, S. N. (2023). Strategies to improve access to physical activity opportunities for people with physical disabilities. *Translational Behavioral Medicine*, 13(7), 486-500. <https://doi.org/10.1093/tbm/ibac119>
6. Lu, M., Zhang, L., & Zhang, Z. (2024). Constructing a New Framework for Sport and Development: Investigating the Media Portrayal of Village Basketball Association in China. *Communication & Sport*, 21674795241271193. <https://doi.org/10.1177/21674795241271193>
7. Morris, M. A., Wong, A. A., Dorsey Holliman, B., Liesinger, J., & Griffin, J. M. (2021). Perspectives of patients with diverse disabilities regarding healthcare accommodations to promote healthcare equity: a qualitative study. *Journal of general internal medicine*, 36, 2370-2377. <https://doi.org/10.1007/s11606-020-06582-8>
8. Nadeem, A., Jalal, A., & Kim, K. (2021). Automatic human posture estimation for sport activity recognition with robust body parts detection and entropy markov model. *Multimedia Tools and Applications*, 80, 21465-21498. <https://doi.org/10.1007/s11042-021-10687-5>
9. Pachacama, V., Jorque, A., Ulcuango, C., & Passo, R. (2024). El software de simulación como herramienta para el análisis de estructuras metálicas automotrices. *Conectividad*, 5(3), 44-61. <https://doi.org/10.37431/conectividad.v5i3.146>
10. Peña, D., Vasquez Valencia, I., & Solis Pino, A. F. (2023). Design and Implementation of an Incubator with PI Controller for Optimizing the Chicken Egg Incubation Process. *I+ T+ C- Research, Technology and Science*, 1(17). <https://doi.org/10.57173/ritc.v1n17a18>
11. Pingyang, W., & Wenzhi, H. (2022, October). Research on the application of computer statistical technology in three-point shooting rate regular model. In *2022 IEEE 2nd International Conference on Data Science and Computer Application (ICDSCA)* (pp. 679-683). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICDSCA56264.2022.9987865>
12. Quinchuela-Paucar, J. C., Molina-Osejos, J. V., Peralta-Zurita, D. B., & Gómez, J. M. (2023, November). Comparison of Results Between Hypermesh and Simsolid Applied in

- the Structural Simulation in a Car Lift. In International Conference on Computer Science, Electronics and Industrial Engineering (CSEI) (pp. 735-748). Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-69228-4_48
13. Reyes-Campaña, G., Cepeda-Miranda, J., Torres-Muñoz, V., & Carrillo-Albán, K. (2021). Análisis Estructural en vehículos eléctricos de categoría L7E. *Polo del Conocimiento*, 6(6), 301-324. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i6.2758>
 14. Taberner, M., Spencer, N., Murphy, B., Antflick, J., & Cohen, D. D. (2023). Progressing on-court rehabilitation after injury: the control-chaos continuum adapted to basketball. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 53(9), 498-509. <https://www.jospt.org/doi/10.2519/jospt.2023.11981>
 15. Thomas, B. R., Gumaer, C., & Charlop, M. H. (2022). Teaching basketball shooting skills to children with autism spectrum disorder. *Journal of Developmental and Physical Disabilities*, 34(1), 113-125. <https://doi.org/10.1007/s10882-021-09792-y>
 16. Topa Chuquitarco, C., Paladinez Armijos, F., Zamora Hernández, Y., & Díaz Camposano, E. (2025). Diseño y simulación de un sistema de aire acondicionado basado en energía solar térmica para aplicaciones residenciales en una vivienda estándar. *Polo del Conocimiento*, 10(1), 2164-2178. <https://doi.org/10.23857/pc.v10i1.8803>
 17. Vardaan, K., & Kumar, P. (2022). Design, analysis, and optimization of thresher machine flywheel using Solidworks simulation. *Materials Today: Proceedings*, 56, 3651-3655. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.348>
 18. Wang, Z. (2022). Parameter Optimization and State Evaluation of Basketball Teaching Based on BPNN. *Mobile Information Systems*, 2022(1), 4327356. <https://doi.org/10.1155/2022/4327356>
 19. Zhidchenko, V., Startcev, E., & Handroos, H. (2024). Blindfolded Operation as a Method of Haptic Feedback Design for Mobile Machinery. In International Conference on Human Haptic Sensing and Touch Enabled Computer Applications (pp. 323-337). Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-70058-3_27