



ACCESO
ABIERTO

Estudio estructural del comportamiento de la katana de Tanjiro: Fuerza, fragilidad y funcionalidad

Andrés Manuel Ayala Pinzón
Orcid: 0009-0004-8034-8038
Correo: andres.ayala.1122@udelas.ac.pa

Carol Patricia Mendoza Smith
Orcid: 0009-0008-8806-1567
Correo: carol.mendoza.2157@udelas.ac.pa
Universidad Especializada de las Américas (UDELAS), Facultad de Biociencias y Salud Pública,
Panamá, República de Panamá.

Fecha de recepción
abril-2025

Fecha de aceptación
junio-2025

Fecha de publicación
enero-2026

Resumen

Este trabajo analiza el comportamiento estructural de una katana de ficción mediante simulaciones asistidas por inteligencia artificial y análisis de elementos finitos (FEA), con el fin de evaluar la plausibilidad física de tres escenarios extremos representados en la serie Kimetsu no Yaiba: el corte de un material pétreo, la combustión sostenida de la hoja y su fractura limpia mediante un filamento. Se desarrolló un modelo tridimensional de la espada, considerando una hoja de acero AISI 5160 y un mango de madera de roble, y se aplicaron cargas dinámicas, térmicas y criterios de mecánica de fractura.

Los resultados indican que los niveles de esfuerzo y deformación generados durante los impactos superan ampliamente los límites elásticos y de resistencia del material, produciendo falla estructural inmediata.

Asimismo, se determinó que la exposición prolongada a altas temperaturas compromete la integridad mecánica de la hoja y que la presión requerida para seccionarla mediante un filamento excede las capacidades de materiales y sistemas reales. En conjunto, el análisis confirma la inviabilidad física de las hazañas representadas y demuestra el valor del FEA como herramienta para evaluar límites estructurales en sistemas mecánicos, incluso en contextos de ficción.

Palabras claves

Análisis de elementos finitos; mecánica de sólidos; comportamiento estructural; katana; falla mecánica; simulación numérica.

Abstract

This study analyzes the structural behavior of a fictional katana through artificial intelligence-assisted simulations and Finite Element Analysis (FEA), with the objective of evaluating the physical plausibility of three extreme scenarios depicted in the *Kimetsu no Yaiba* series: cutting through a stone-like material, sustaining blade combustion, and undergoing a clean fracture caused by a filament.

A three-dimensional model of the sword was developed, considering an AISI 5160 steel blade and an oak wood handle, while dynamic and thermal loads, as well as fracture mechanics criteria, were applied.

The results indicate that the stress and strain levels generated during the impact events significantly exceed the elastic and ultimate strength limits of the material, resulting in immediate structural failure.

Furthermore, prolonged exposure to elevated temperatures was found to compromise the mechanical integrity of the blade, while the pressure required to sever it using a filament surpasses the capabilities of existing materials and real-world systems.

Overall, the analysis confirms the physical infeasibility of the feats represented in the series and demonstrates the value of Finite Element Analysis as a powerful tool for assessing structural limits in mechanical systems, even within fictional contexts.

Keywords

Finite Element Analysis; Solid Mechanics; Structural Behavior; Katana; Mechanical Failure; Numerical Simulation.

Introducción

Japón posee una historia extensa y profundamente ligada al desarrollo de técnicas artesanales y metalúrgicas, entre las cuales destaca la fabricación de la espada japonesa conocida como katana. A lo largo de los siglos, este arma ha sido reconocida por su combinación de dureza, resistencia y flexibilidad, resultado de procesos tradicionales de forja y tratamiento térmico como el método tatara, así como de un conocimiento empírico transmitido entre generaciones de herreros (Inoue, 2010; Notis, 2000). Estas características han convertido a la katana no solo en un arma funcional, sino también en un símbolo cultural de gran relevancia histórica, cuyo comportamiento estructural ha sido estudiado desde distintas perspectivas metalúrgicas y mecánicas (Salvemini et al., 2017; Yaso, 2013).

En la actualidad, la katana ha trascendido su contexto histórico y aparece de manera recurrente en productos de entretenimiento como películas, videojuegos y series animadas. Un ejemplo representativo es el anime *Kimetsu no Yaiba*, donde las katanas son utilizadas para realizar hazañas físicas extremas, tales como cortar materiales pétreos, mantenerse en combustión durante el combate o incluso ser seccionadas limpiamente por filamentos delgados. Estas representaciones, aunque atractivas desde el punto de vista narrativo, generan interrogantes sobre su viabilidad desde una perspectiva científica e ingenieril.

Desde el enfoque de la mecánica de sólidos, el análisis de estas escenas permite cuestionar hasta qué punto dichas acciones pueden ser compatibles con las propiedades reales de los materiales empleados en la fabricación de una katana. Conceptos como energía cinética, esfuerzos por flexión, deformaciones térmicas y propagación de grietas resultan fundamentales para evaluar el comportamiento estructural de la hoja bajo condiciones de carga extremas (Soto-Pedraza, 2020; MechaniCalc, s. f.; NASA, 2023).

El análisis de elementos finitos (FEA) se ha consolidado como una herramienta numérica ampliamente utilizada para estudiar la respuesta mecánica de sistemas estructurales complejos, ya que permite estimar distribuciones de esfuerzo y deformación sin recurrir a ensayos experimentales destructivos (Fadiji et al., 2018). Su aplicación ha demostrado ser adecuada para el análisis de componentes metálicos sometidos a impactos, así como para la simulación de procesos asociados a espadas japonesas y otros elementos estructurales

similares (KD VO, s. f.; COMSOL, s. f.).

En este contexto, el presente trabajo emplea simulaciones mediante análisis por elementos finitos para estudiar el comportamiento estructural de la katana empuñada por el personaje Tanjiro Kamado en Kimetsu no Yaiba. La espada se modela utilizando acero AISI 5160, material comúnmente empleado en katanas modernas debido a su elevada resistencia mecánica y buena capacidad de absorción de impactos (AZoM, 2013; Yaso, 2013). El análisis se centra en el impacto de la katana contra un material pétreo, con el objetivo de evaluar en qué medida las hazañas representadas son compatibles con las propiedades mecánicas reales del material y de establecer los límites físicos que gobiernan el desempeño estructural de una katana desde una perspectiva científica.

Metodología

El presente trabajo se desarrolló mediante un enfoque teórico y computacional, con el objetivo de analizar el comportamiento estructural de una katana bajo distintos escenarios de carga representados en la serie Kimetsu no Yaiba. Para ello, se emplearon modelos analíticos básicos de la mecánica de sólidos junto con simulaciones asistidas por inteligencia artificial y análisis de elementos finitos (FEA).

La katana fue modelada en tres dimensiones utilizando el software Fusion 360 bajo licencia educativa. Con el fin de simplificar el análisis y facilitar la aplicación de ecuaciones clásicas, la geometría de la hoja se representó como un sólido prismático rectangular, mientras que el mango se modeló como un cilindro sólido. Las dimensiones empleadas corresponden a valores promedio de katanas funcionales: una longitud de hoja de 72 cm, un ancho de 3.5 cm y un espesor de 0.7 cm. El mango se representó con una longitud de 30 cm y un radio de 2.5 cm.

Para la hoja se asumió acero AISI 5160, material comúnmente utilizado en la fabricación de katanas modernas debido a su buena combinación de resistencia, tenacidad y capacidad de absorción de impactos.

Se consideró una densidad de 7.8 g/cm^3 y propiedades mecánicas promedio reportadas en fuentes técnicas. El mango fue modelado como madera de roble, con una densidad aproximada de 750 kg/m^3 . Estas propiedades fueron utilizadas tanto en los cálculos analíticos

como en las simulaciones por FEA, con el fin de mantener coherencia entre ambos enfoques.

Las simulaciones por FEA se realizaron en Fusion 360, aplicando condiciones de carga equivalentes a las obtenidas mediante los cálculos analíticos.

Se evaluaron distribuciones de esfuerzos de Von Mises, desplazamientos y concentraciones de tensión en la hoja bajo diferentes escenarios. El mallado y las condiciones de frontera fueron simplificados con el objetivo de obtener una aproximación razonable del comportamiento estructural sin incrementar excesivamente la complejidad computacional.

Para el análisis del impacto de la katana contra un material pétreo, se calculó inicialmente la energía cinética de la espada mediante la expresión:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

donde m corresponde a la masa total de la katana y v a la velocidad del impacto. Posteriormente, se estimó la fuerza promedio ejercida durante el impacto utilizando la relación:

$$F_{avg} = \frac{E_k}{d}$$

donde d representa la distancia de desaceleración durante el contacto. Con la fuerza obtenida, se calculó el momento flector generado en la hoja mediante:

$$M = F \cdot L$$

siendo L la distancia desde el punto de aplicación de la fuerza hasta la empuñadura. Finalmente, el esfuerzo por flexión se estimó usando:

$$\sigma = \frac{M}{S}$$

donde S es el módulo de sección de la hoja. Estos resultados fueron comparados con los límites mecánicos del acero para evaluar la posibilidad de deformación plástica o falla estructural.

Resultados

Escena 1: Impacto de la katana contra un material pétreo

A partir de las dimensiones geométricas consideradas para la hoja y el mango, junto con las densidades de los materiales asumidos, se obtuvo una masa total de la katana de 1.811 kg, valor que se empleó para el análisis dinámico del impacto contra un material pétreo.

En la Tabla 1 se presentan las dimensiones y propiedades de la hoja de la katana, se resume las características geométricas y físicas del mango y se muestran los valores de energía cinética calculados para diferentes velocidades de impacto.

Al considerar distancias de frenado reducidas, coherentes con el contacto contra un material rígido, se obtuvieron fuerzas promedio de impacto del orden de los mega newtons.

Compo- nente	Geometría asumida	Dimensiones	Material	Densidad	V (m/s)	Energía cinética (J)	Fuerza pro- medio (N) d = 0.002 m	Fuerza pro- medio (N) d = 0.005 m	Fuerza pro- medio (N) d = 0.02 m
Hoja de la espada	Prisma rectangu- lar	L = 72 cm An = 3.5 cm G = 0.7 cm	Acero AISI 5160	7.8 g/cm ³	30	815	407 500	163 000	40 750
Hoja de la espada	Prisma rectangu- lar	L = 72 cm An = 3.5 cm G = 0.7 cm	Acero AISI 5160	7.8 g/cm ³	50	2 264	1 132 000	452 800	113 200
Hoja de la espada	Prisma rectangu- lar	L = 72 cm An = 3.5 cm G = 0.7 cm	Acero AISI 5160	7.8 g/cm ³	150	20 374	10 187 000	4 074 800	1 018 700
Mango de la espada	Cilindro sólido	H = 30 cm R = 2.5 cm	Madera de roble	750 kg/m ³					

Estos valores reflejan la magnitud extrema de las fuerzas involucradas en la escena analizada y permiten dimensionar el efecto que dichas cargas tienen sobre la hoja de la katana.

Los resultados obtenidos mediante el FEA se presentan en las Figuras 1, 2 y 3, correspondientes a diferentes velocidades de impacto.

En la Figura 1 se observa que, para una velocidad de 30 m/s, las tensiones de Von Mises se concentran principalmente en la zona de contacto con el material pétreo, alcanzando valores del orden de cientos de MPa. Aunque elevados, estos valores se mantienen dentro de un rango cercano al inicio de la deformación plástica.

Al incrementar la velocidad a 50 m/s, la Figura 2 muestra un aumento drástico de las tensiones máximas, alcanzando valores extremadamente elevados y no compatibles con el comportamiento mecánico real del material. Estas concentraciones de esfuerzo indican que la hoja se encuentra sometida a un régimen de carga que excede ampliamente sus capacidades estructurales.

Finalmente, para una velocidad de 150 m/s, la Figura 3 evidencia una penetración total de la katana en el material pétreo, acompañada de tensiones del orden de decenas de GPa. Aunque inferiores a las obtenidas en el caso anterior, estos valores siguen siendo muy superiores a los límites mecánicos del acero, confirmando la inviabilidad estructural de la escena representada.

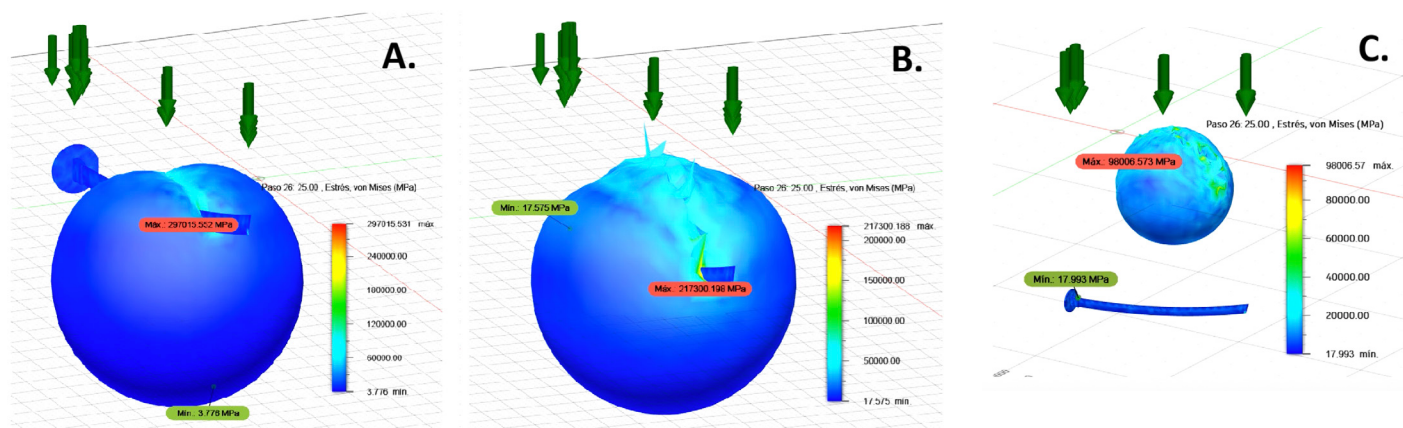


Figura 1. Distribución de esfuerzos de Von Mises durante el impacto de la katana contra un material pétreo. Resultados del análisis numérico para tres condiciones de velocidad: (A) 30 m/s, (B) 50 m/s y (C) 150 m/s. Las flechas verdes indican la dirección de la carga aplicada. Se observa un incremento significativo de los esfuerzos máximos con el aumento de la velocidad, alcanzando valores que superan ampliamente el límite elástico del material. En los casos de mayor velocidad, las concentraciones de esfuerzo se localizan en la zona de contacto, evidenciando un régimen de carga incompatible con el comportamiento mecánico real de la katana, tal como se representa en la escena analizada de Kimetsu no Yaiba.

Discusión

Los resultados obtenidos mediante el análisis por elementos finitos muestran que los esfuerzos generados durante el impacto de la katana contra un material pétreo aumentan de manera significativa con la velocidad de impacto. En particular, para las condiciones analizadas, los valores máximos de esfuerzo de Von Mises superan ampliamente el límite elástico del acero AISI 5160, incluso para velocidades moderadas, lo que indica que el régimen de carga impuesto excede las capacidades mecánicas reales del material.

La localización de las máximas concentraciones de esfuerzo en la zona de contacto entre la hoja y el material pétreo es consistente con la naturaleza del impacto y con los supuestos del modelo. Este comportamiento sugiere que, en un escenario físico real, la katana experimentaría deformaciones plásticas severas o incluso falla estructural localizada, en contraste con la representación observada en la escena analizada, donde la hoja permanece íntegra tras el impacto.

Si bien el análisis numérico permite visualizar la distribución de esfuerzos y estimar órdenes de magnitud, es importante reconocer las limitaciones inherentes al modelo empleado. El mallado, las condiciones de contacto idealizadas y la ausencia de fenómenos dinámicos complejos, como la disipación de energía por vibraciones, daño progresivo o efectos de tasa de deformación, pueden conducir a la sobreestimación de los valores máximos de esfuerzo. No obstante, aun considerando estas limitaciones, los resultados obtenidos son suficientemente elevados como para descartar la viabilidad física del escenario representado.

Desde una perspectiva mecánica, los valores de energía cinética y fuerza promedio asociados al impacto se encuentran en un rango incompatible con el comportamiento elástico del acero considerado. Esto refuerza la idea de que las hazañas mostradas en la serie responden a una exageración narrativa propia del medio de ficción, más que a una representación basada en principios físicos realistas.

Como proyección para trabajos futuros, sería de interés ampliar el análisis incorporando modelos dinámicos transitorios que consideren explícitamente efectos de velocidad de impacto, disipación de energía y daño acumulativo del material. Asimismo, la inclusión de modelos constitutivos dependientes de la tasa de deformación y del endurecimiento plástico permitiría refinar la estimación de los

esfuerzos máximos. Finalmente, estudios comparativos utilizando distintos aceros tradicionalmente empleados en espadas, así como validaciones experimentales a escala reducida, podrían aportar una comprensión más profunda del comportamiento estructural de armas blancas bajo condiciones de impacto extremo.

Conclusión

El análisis realizado mediante simulaciones por elementos finitos demuestra que el impacto directo de una katana contra un material pétreo, tal como se representa en la escena analizada de Kimetsu no Yaiba, no es físicamente viable desde una perspectiva mecánica. Los esfuerzos generados durante el impacto superan ampliamente el límite elástico del acero AISI 5160, lo que conduciría inevitablemente a deformación plástica severa o a la falla estructural de la hoja.

Los resultados numéricos muestran que, aun bajo supuestos conservadores y considerando las limitaciones inherentes al modelo empleado, las magnitudes de energía cinética, fuerza promedio y tensiones inducidas se encuentran fuera del rango de comportamiento elástico del material. Esto pone de manifiesto una discrepancia clara entre la representación ficticia de la escena y el desempeño estructural que podría esperarse de una katana real.

En conjunto, el estudio evidencia los límites físicos que gobiernan el comportamiento de armas blancas sometidas a cargas de impacto extremo y resalta el valor del uso de herramientas de ingeniería para analizar críticamente representaciones provenientes de la ficción. Este enfoque permite no solo contrastar narrativa y realidad física, sino también reforzar la comprensión de los principios fundamentales de la mecánica de sólidos aplicados a sistemas reales.

Contribución del autor

A.A. y C.M.: Conceptualization, Methodology, Software, Formal analysis, Investigation, Data curation, Visualization, Writing-original draft, Writing-review & editing.

Referencias

Audibert, C., Chaves-Jacob, J., Linares, J.-M., & Lopez, Q.-A. (2018). Bio-inspired method based on bone architecture to optimize the structure of mechanical workpieces. *Materials & Design*, 160, 1200–1216 (Article

No. 107, Oct 2018). DOI: 10.1016/j.matdes.2018.10.013.

Au, A. G., Liggins, A. B., Raso, V. J., Carey, J. P., & Amirfazli, A. (2010). Representation of bone heterogeneity in subject-specific finite element models for the knee. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 99(2), 154–171. DOI: 10.1016/j.cmpb.2009.11.009.

Kaku, N., Hosoyama, T., Shibuta, Y., Kimura, M., & Tsumura, H. (2023). Influence of femoral bowing on stress distribution of the proximal femur: A three-dimensional finite element analysis. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 18, 82. DOI: 10.1186/s13018-023-03559-1.

Morgan, E. F., Unnikrisnan, G. U., & Hussein, A. I. (2018). Bone mechanical properties in healthy and diseased states. *Annual Review of Biomedical Engineering*, 20, 119–143. DOI: 10.1146/annurev-bioeng-062117-121139.

Phombut, C., Rooppakhun, S., & Sindhupakorn, B. (2021). Morphometric measurement of the proximal tibia to design the tibial component of total knee arthroplasty for the Thai population. *Journal of Experimental Orthopaedics*, 8(1), 118. DOI: 10.1186/s40634-021-00429-9.

Rho, J. Y., Kuhn-Spearing, L., & Zioupos, P. (1998). Mechanical properties and the hierarchical structure of bone. *Medical Engineering & Physics*, 20(2), 92–102. DOI: 10.1016/S1350-4533(98)00007-1.

Schileo, E., Pitocchi, J., Falcinelli, C., & Taddei, F. (2020). Cortical bone mapping improves finite element strain prediction accuracy at the proximal femur. *Bone*, 136, 115348. DOI: 10.1016/j.bone.2020.115348.

Sheikh, Z., Najeeb, S., Khurshid, Z., Verma, V., Rashid, H., & Glogauer, M. (2015). Biodegradable materials for bone repair and tissue engineering applications. *Materials (Basel)*, 8(9), 5744–5794. DOI: 10.3390/ma8095273.