



ACCESO
ABIERTO

Un golpe que traspasa barreras científicas. Análisis mecánico extremo del impacto en One Punch Man

Gustavo De La Rivera.
Orcid: 0009-0004-4619-4979
Correo: gabriel.valderrama.411@udelas.ac.pa

Gabriel Valderrama.
Orcid: 0009-0001-8195-9998
Correo: gustavo.de.495@udelas.ac.pa

Fecha de recepción
febrero-2026

Fecha de aceptación
febrero-2026

Fecha de publicación
marzo-2026

Universidad Especializada de las Américas (UDELAS), Facultad de Biociencias y Salud Pública,
Panamá, República de Panamá

Resumen

La destrucción de un meteorito mediante un solo golpe, representada en la serie One Punch Man, plantea un escenario ficticio pero extremo que permite analizar el comportamiento mecánico de un cuerpo rocoso sometido a un impacto concentrado de alta intensidad. En este estudio se evalúa la respuesta mecánica de un meteorito mediante simulaciones de elementos finitos (FEA), combinando análisis estático y dinámico. El cuerpo fue modelado como un elipsoide de gran escala con propiedades mecánicas hipotéticas definidas a partir de estimaciones teóricas, con el objetivo de caracterizar la distribución de esfuerzos, deformaciones y energía inducidas por el impacto. Los resultados indican que el máximo esfuerzo equivalente de Von Mises no se localiza en el punto de impacto directo, sino en una región radial lateral del cuerpo, donde se concentran elevados esfuerzos cortantes asociados al inicio de la fractura.

El análisis esfuerzo-deformación obtenido a partir de la simulación dinámica muestra un comportamiento de alta resistencia y baja ductilidad, con una respuesta dominada por la disipación plástica de energía. La integración del área bajo la curva esfuerzo-deformación evidencia que la mayor parte de la energía absorbida por el material se disipa en la región plástica, mientras que la contribución elástica resulta mínima. El balance energético establecido considera que la energía transferida durante el impacto debe ser al menos igual a la suma de la energía cinética del meteorito y de la energía de fractura requerida para su desintegración.

Asimismo, las simulaciones permiten identificar mecanismos de falla dominantes, incluyendo fractura por corte radial, colapso hidrostático

en la región central y gradientes de tracción-compresión a lo largo del eje del impacto, consistentes con los patrones de distribución de esfuerzos obtenidos mediante el análisis de elementos finitos.

Palabras claves

Mecánica de sólidos; Impacto; Análisis por elementos finitos; Fractura; Distribución de esfuerzos; One Punch Man

Abstract

The destruction of a meteorite by a single punch, as depicted in the *One Punch Man* series, presents a fictional yet extreme scenario that enables the analysis of the mechanical behavior of a rocky body subjected to a highly concentrated, high-intensity impact. In this study, the mechanical response of a meteorite is evaluated through Finite Element Analysis (FEA), combining both static and dynamic simulations.

The body was modeled as a large-scale ellipsoid with hypothetical mechanical properties defined from theoretical estimations, aiming to characterize the distribution of stresses, strains, and impact-induced energy throughout the structure.

The results indicate that the maximum Von Mises equivalent stress is not located at the direct impact point but rather within a lateral radial region of the body, where significant shear stresses concentrate and promote the initiation of fracture.

The stress-strain response obtained from the dynamic simulation exhibits high strength and low ductility, with behavior dominated by plastic energy dissipation. Integration of the area under the stress-strain curve reveals that most of the absorbed energy is dissipated within the plastic region, whereas the elastic contribution remains minimal.

The established energy balance considers that the energy transferred during impact must be at least equal to the sum of the meteorite's kinetic energy and the fracture energy required for its complete disintegration.

Furthermore, the simulations identify dominant failure mechanisms, including radial shear fracture, hydrostatic collapse in the central region, and tension–compression gradients along the impact axis, all of which are consistent with the stress distribution patterns obtained through finite element analysis.

Keywords

Solid Mechanics; Impact; Finite Element Analysis; Fracture; Stress Distribution; One Punch Man

Introducción

La destrucción de un meteorito mediante un solo golpe, tal como se representa en el episodio 7 de la serie One Punch Man, constituye un escenario extremo que, aunque ficticio, resulta adecuado para analizar principios fundamentales de la Mecánica de Sólidos en condiciones límite. La exageración inherente a este tipo de narrativas permite magnificar fenómenos físicos relevantes, como la concentración de esfuerzos, la propagación de deformaciones y la iniciación de fracturas, lo que proporciona un marco conceptual útil para estudiar la respuesta mecánica de materiales sometidos a impactos altamente intensos (Beer, Johnston, DeWolf y Mazurek, 2015).

Desde una perspectiva técnica, el impacto puede interpretarse como la aplicación de una carga altamente concentrada sobre un cuerpo rocoso en movimiento. Este enfoque permite analizar la generación de esfuerzos normales y cortantes, su distribución espacial dentro del material y su relación con los mecanismos de falla.

La teoría clásica del comportamiento mecánico de los materiales establece que, bajo condiciones de carga extrema, la interacción entre compresión, tracción y corte determina la localización de zonas críticas donde se inicia la fractura, particularmente en materiales de baja ductilidad (Dowling, 2012).

El estudio de impactos de alta energía ha sido ampliamente abordado en el contexto de la mecánica del impacto y la dinámica de materiales. Investigaciones en este campo muestran que, ante cargas concentradas, los máximos esfuerzos equivalentes no necesariamente coinciden con el punto de aplicación de la fuerza, sino que pueden desplazarse hacia regiones laterales donde se desarrollan estados complejos de esfuerzo triaxial (Johnson, 1985). Este comportamiento

resulta especialmente relevante en cuerpos de gran escala, donde la geometría y las condiciones de frontera influyen de manera decisiva en la distribución de tensiones.

Por otra parte, el interés científico por el comportamiento mecánico de cuerpos de origen extraterrestre ha puesto de manifiesto la dificultad de caracterizar sus propiedades estructurales reales. Estudios sobre asteroides metálicos y rocosos destacan la heterogeneidad material y la incertidumbre asociada a parámetros como la densidad, la resistencia y la tenacidad, lo que obliga a recurrir con frecuencia a modelos idealizados para analizar su respuesta ante cargas extremas (Marín, 2020). En este sentido, el uso de supuestos mecánicos coherentes permite explorar tendencias generales del comportamiento estructural, aun cuando no se pretenda describir un objeto real específico.

La modelación computacional mediante el método de los elementos finitos constituye una herramienta ampliamente aceptada para el análisis de problemas de impacto y fractura, al permitir la evaluación detallada de campos de esfuerzo y deformación bajo condiciones de carga complejas.

En particular, los análisis estructurales estáticos y dinámicos facilitan la identificación de regiones críticas, el estudio de la evolución de la respuesta mecánica del material y la estimación de la energía absorbida durante los procesos de deformación y fractura (Zienkiewicz, Taylor y Zhu, 2013).

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo analizar el comportamiento mecánico de un meteorito sometido a un impacto concentrado extremo mediante herramientas de la Mecánica de Sólidos y simulaciones por elementos finitos.

A partir de un modelo geométrico idealizado y propiedades mecánicas hipotéticas, se busca caracterizar la distribución de esfuerzos inducidos, identificar las zonas críticas de iniciación de la fractura y analizar el balance energético asociado al proceso de desintegración del cuerpo, manteniendo coherencia con los principios fundamentales de la teoría del comportamiento mecánico de materiales sometidos a cargas severas.

Metodología

3.1 Modelo de distribución energética

Para estimar la magnitud del impacto ejercido sobre el meteorito, se planteó un modelo de balance energético que considera las principales formas de energía involucradas durante el evento. Bajo este enfoque, la energía transferida durante el impacto debe ser, como mínimo, igual a la suma de la energía cinética asociada al movimiento del meteorito y la energía requerida para inducir su fractura estructural. Esta condición puede expresarse como:

$$E_{\text{impacto}} \geq E_{\text{cinética}} + E_{\text{fractura}}$$

La energía cinética del meteorito se calculó a partir de su masa y velocidad previa al impacto, mientras que la energía de fractura fue estimada posteriormente a partir de los resultados obtenidos en las simulaciones dinámicas. Otras contribuciones energéticas, como la energía térmica o la asociada a la generación de ondas de choque, no fueron consideradas en este análisis, ya que no constituyen el foco del presente estudio.

3.2 Geometría del meteorito y propiedades mecánicas

El meteorito fue modelado como un sólido elipsoidal definido por la ecuación:

$$\frac{x^2}{250^2} + \frac{y^2}{205^2} + \frac{z^2}{205^2} = 1$$

La geometría idealizada fue construida utilizando la plataforma Onshape y posteriormente exportada al entorno de simulación SimScale. Con el fin de facilitar la aplicación de las condiciones de frontera necesarias para el análisis estructural, el modelo fue dividido mediante un corte transversal, permitiendo la asignación de restricciones y cargas en regiones opuestas del cuerpo.

Se asignó al material una densidad constante correspondiente a un sólido hipotético de alta densidad, junto con propiedades mecánicas tales como el módulo de Young, el límite elástico y el esfuerzo último, estimadas a partir de relaciones teóricas y modelos de regresión. Otras

propiedades, como el coeficiente de Poisson y la deformación última, fueron seleccionadas de forma empírica con el objetivo de facilitar la visualización y el análisis de la respuesta mecánica del material bajo cargas extremas.

3.3 Estimación de la fuerza de impacto, FEA y Deformación

La fuerza aplicada en la simulación estructural se estimó a partir de la ecuación de momento impulso, considerando una reducción abrupta de la velocidad del meteorito durante un intervalo de tiempo característico del impacto. La expresión utilizada fue:

$$F_{\text{impacto}} = \frac{m |\Delta v|}{\Delta t}$$

donde m representa la masa del meteorito, $|\Delta v|$ la variación de velocidad asociada al impacto y Δt el intervalo de tiempo durante el cual ocurre la transferencia de momento. El valor de esta fuerza fue aplicado en el modelo como una condición de carga tipo Remote Force.

Las simulaciones estructurales se realizaron en el entorno SimScale empleando el método de los elementos finitos para evaluar la respuesta mecánica del meteorito bajo condiciones de impacto concentrado. Se desarrollaron dos tipos de análisis complementarios, un análisis estático y un análisis dinámico, con el fin de caracterizar tanto la distribución espacial de esfuerzos como la evolución temporal de la respuesta del material.

En el análisis estático, el comportamiento del material se modeló como elástico lineal e isotrópico. Se aplicó una condición de carga tipo Remote Force en uno de los extremos del elipsoide, representando la fuerza de impacto estimada, mientras que el extremo opuesto fue restringido mediante una condición de soporte fijo, necesaria para garantizar la estabilidad numérica del modelo. Este análisis permitió evaluar la distribución de los esfuerzos normales y cortantes, así como identificar regiones de concentración de esfuerzos equivalentes de Von Mises.

Para caracterizar el comportamiento del material bajo carga progresiva, se desarrolló un análisis dinámico no lineal. En este caso, el material se modeló mediante un comportamiento elasto plástico bilineal con endurecimiento por deformación. La carga se aplicó de forma

incremental mediante una condición Remote Force dependiente del tiempo, manteniéndose la condición de soporte fijo en el extremo opuesto del modelo.

Durante la simulación dinámica se definieron puntos de monitoreo específicos en la geometría del meteorito para registrar la evolución temporal del esfuerzo equivalente de Von Mises y de la deformación total no lineal. Estos datos permitieron construir la curva esfuerzo deformación del material y analizar las distintas etapas de su respuesta mecánica.

3.4 Deformación equivalente de Von Mises

Con el objetivo de representar el estado de deformación multiaxial mediante un único parámetro escalar, se empleó la deformación equivalente de Von Mises. Esta magnitud se calculó a partir de las componentes del tensor de deformación obtenidas en la simulación dinámica, según la expresión:

$$\varepsilon_{eq} = \sqrt{\frac{2}{3} \left[(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})^2 + (\varepsilon_{yy} - \varepsilon_{zz})^2 + (\varepsilon_{zz} - \varepsilon_{xx})^2 + 6(\varepsilon_{xy}^2 + \varepsilon_{yz}^2 + \varepsilon_{xz}^2) \right]}$$

donde ε_{xx} , ε_{yy} , ε_{zz} representan las componentes normales de la deformación, mientras que ε_{xy} , ε_{yz} , ε_{xz} corresponden a las componentes cortantes del tensor de deformación.

La deformación equivalente obtenida fue utilizada para construir la curva esfuerzo deformación del material, sirviendo como base para el análisis energético y la estimación de la energía de fractura. La energía de fractura se estimó a partir del área bajo la curva esfuerzo deformación, correspondiente a la tenacidad volumétrica del material. Para ello, se realizó la integración numérica de la curva utilizando el método del trapecio. La energía de fractura total se obtuvo multiplicando la energía volumétrica calculada por el volumen estimado de los fragmentos generados tras la ruptura.

Resultados

1. Gráfica Estrés vs Deformación (Simulación Dinámica)

La respuesta mecánica del material bajo carga dinámica se caracterizó mediante la curva esfuerzo–deformación obtenida a partir de la simulación dinámica por elementos finitos. La Figura 1 muestra la relación entre el esfuerzo equivalente de Von Mises y la deformación equivalente, permitiendo identificar de forma clara las etapas elástica y plástica del comportamiento del material, así como el punto asociado a la fractura.

En la región inicial de la curva se observa un comportamiento aproximadamente lineal entre esfuerzo y deformación, correspondiente al régimen elástico. En esta etapa, el material responde de manera reversible a la carga aplicada, recuperando su configuración original al cesar el esfuerzo. El límite elástico se identifica en un valor de esfuerzo cercano a $\sigma = 4.43 \text{ GPa}$, a partir del cual la pendiente de la curva disminuye y se inicia la deformación irreversible.

Una vez superado el límite elástico, el material entra en un régimen plástico dominante, caracterizado por un incremento progresivo del esfuerzo acompañado de deformaciones irreversibles. En esta región, el esfuerzo continúa aumentando hasta alcanzar el punto de fractura, registrado en $\sigma = 29.9 \text{ GPa}$ y una deformación equivalente $\varepsilon = 0.2$. Este comportamiento indica un material de alta resistencia mecánica, pero con una ductilidad limitada, ya que la deformación previa a la fractura es relativamente pequeña.

El análisis energético asociado a la curva esfuerzo–deformación muestra que la energía elástica alcanza un valor de 0.002689 GPa , mientras que la energía plástica acumulada asciende a 3.078068 GPa , a lo que se suma una contribución adicional hasta el punto de fractura de 0.119315 GPa . En conjunto, la energía plástica total alcanza un valor de 3.197384 GPa .

La distribución porcentual de estas energías evidencia que únicamente el 0.08% de la energía total corresponde a energía elástica recuperable, mientras que el 99.92% restante se disipa en forma de energía plástica. Este resultado indica que la respuesta del material está prácticamente dominada por la disipación irreversible de energía, lo que explica la ruptura abrupta observada una vez alcanzado el umbral crítico de deformación.

La energía de fractura estimada para el cuerpo analizado es del orden de 4.22×10^{15} J, obtenida a partir de la tenacidad volumétrica asociada a la curva esfuerzo–deformación y del volumen total considerado para la fractura. Este orden de magnitud permite dimensionar la severidad del evento requerido para producir la desintegración completa del meteorito y evidencia que el escenario representado en One Punch Man implica niveles de transferencia energética extremadamente elevados, muy por encima de los asociados a procesos mecánicos convencionales.

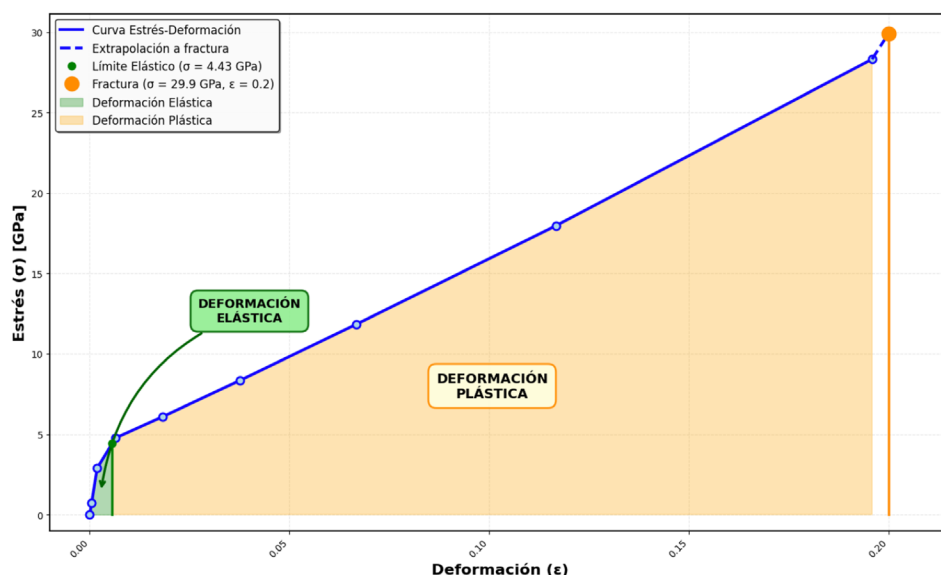


Figura 1. Curva esfuerzo–deformación del material bajo carga dinámica. Se distinguen claramente las regiones elástica y plástica del comportamiento mecánico, separadas por el límite elástico, identificado en $\sigma = 4.43$ GPa, y el punto de fractura, localizado en $\sigma = 29.9$ GPa y una deformación equivalente $\epsilon = 0.2$. La extrapolación de la curva hasta la fractura permite estimar la tenacidad del material mediante integración numérica. Esta gráfica constituye la base para el análisis de la energía elástica almacenada, la energía plástica disipada y los mecanismos de ruptura asociados al impacto extremo.

2. Simulación del Impacto (Simulación Estática)

La simulación estática del impacto permitió cuantificar el estado de esfuerzos y desplazamientos inducidos en distintas regiones representativas del meteorito. Para este análisis se evaluaron cuatro puntos estratégicos del modelo: el punto de impacto directo, un punto radial lateral, el centro geométrico del cuerpo y el punto opuesto al impacto. Los valores correspondientes a las componentes del tensor de

esfuerzos, el esfuerzo equivalente de Von Mises y los desplazamientos obtenidos se presentan de forma resumida en la Tabla 1. El máximo esfuerzo equivalente de Von Mises no se localiza en el punto de impacto directo, sino en el punto radial lateral, donde alcanza un valor de $\sigma_v = 7.89 \times 10^{23}$ Pa. Este valor supera ampliamente el registrado en el punto de impacto, que presenta un esfuerzo equivalente de 2.95×10^{23} Pa, lo que evidencia que la redistribución interna de tensiones genera regiones más críticas alejadas del sitio donde se aplica la carga.

Componentes del tensor de esfuerzos

Ubicación	σ_{xx} (Pa)	σ_{yy} (Pa)	σ_{zz} (Pa)	τ_{xy} (Pa)	τ_{xz} (Pa)
Impacto	-1.99×10^{23}	$+9.26 \times 10^{22}$	$+9.02 \times 10^{22}$	-9.44×10^{21}	$+2.11 \times 10^{21}$
Radial	-6.44×10^{23}	-2.35×10^{23}	-1.69×10^{23}	$+8.06 \times 10^{22}$	$+3.16 \times 10^{23}$
Centro	-2.36×10^{23}	-1.25×10^{23}	-1.25×10^{23}	-5.81×10^{20}	-5.12×10^{20}
Opuesto	-1.29×10^{23}	-5.46×10^{22}	-5.45×10^{22}	$+1.08 \times 10^{21}$	-7.33×10^{20}

Esfuerzo equivalente de Von Mises y desplazamientos

Ubicación	τ_{yz} (Pa)	Von Mises (Pa)	Δx (m)	Δy (m)	Δz (m)	$ \Delta \text{ Total} $ (m)
Impacto	$+1.12 \times 10^{22}$	2.95×10^{23}	-51.3	-4.5	-7.1	51.9
Radial	$+2.08 \times 10^{22}$	7.89×10^{23}	-0.41	+0.014	+0.092	0.42
Centro	-1.06×10^{21}	1.12×10^{23}	-18.3	-0.032	-0.10	18.3
Opuesto	$+5.31 \times 10^{19}$	7.45×10^{22}	0.0	0.0	0.0	0.0

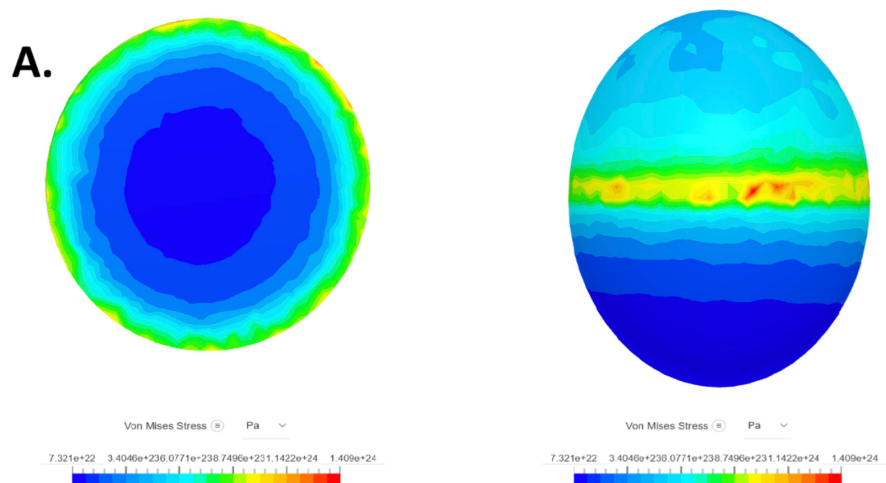
En el punto de impacto directo, el estado de esfuerzos está caracterizado por una combinación de compresión y tracción. La componente σ_{xx} alcanza un valor de -1.99×10^{23} Pa, mientras que las componentes σ_{yy} y σ_{zz} presentan valores positivos del orden de 9.26×10^{22} Pa y 9.02×10^{22} Pa, respectivamente. Este estado multiaxial se acompaña de esfuerzos cortantes significativos, particularmente $\tau_{xy} = -9.44 \times 10^{21}$ Pa. La distribución espacial de estos esfuerzos en la región de impacto puede observarse en la Figura 2, donde se aprecia una concentración localizada de tensiones en torno a la zona de contacto.

El punto radial lateral exhibe el estado de esfuerzos más severo del modelo. Tal como se resume en la Tabla 1, las componentes normales σ_{xx} , σ_{yy} y σ_{zz} alcanzan valores de -6.44×10^{23} Pa, -2.35×10^{23} Pa y -1.69

$\times 10^{23}$ Pa, respectivamente, configurando un régimen de compresión triaxial extrema. Los esfuerzos cortantes asociados a este punto son también elevados, destacando $\tau_{xz} = 3.16 \times 10^{23}$ Pa. Este comportamiento explica el valor máximo del esfuerzo equivalente de Von Mises en esta región y se visualiza con claridad en la Figura 2, donde se observa una amplificación pronunciada de las tensiones en la zona radial lateral.

En el centro geométrico del meteorito, los esfuerzos presentan una distribución más homogénea. El esfuerzo equivalente de Von Mises alcanza en este punto un valor de 1.12×10^{23} Pa. A pesar de no concentrar los máximos esfuerzos, el centro del cuerpo experimenta un desplazamiento significativo en la dirección X, cercano a 18.3 m, lo que se refleja en el campo de desplazamientos mostrado en la Figura 2 (Panel B) y sugiere un colapso estructural interno relevante.

El punto opuesto al impacto presenta los valores más bajos de esfuerzo equivalente, con $\sigma_v = 7.45 \times 10^{22}$ Pa, y un desplazamiento total nulo. Este comportamiento está directamente asociado a la condición de frontera tipo soporte fijo impuesta en esta región, lo cual se evidencia claramente en el Panel B (derecha) de la figura 2. Donde se evidencia la ausencia de desplazamiento y la atenuación del campo de esfuerzos.



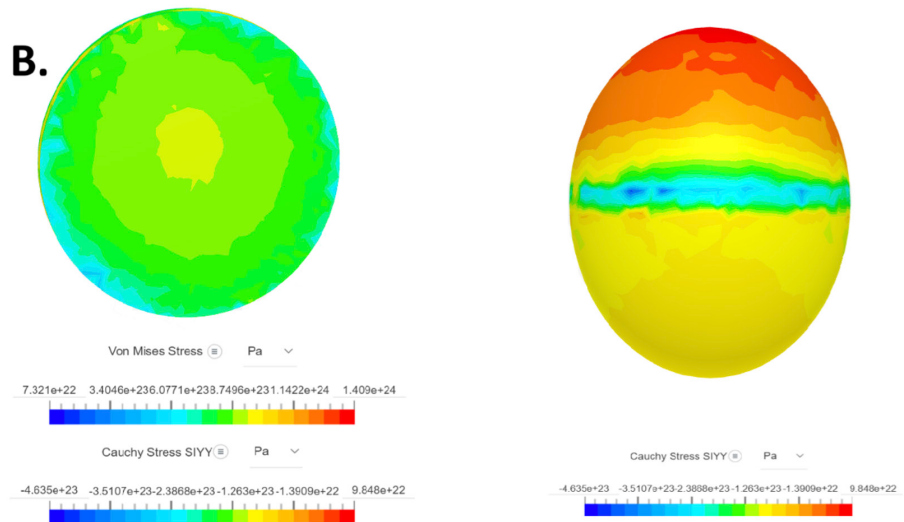


Figura 2. Panel A. Mapas de esfuerzos obtenidos mediante simulación estática por elementos finitos del meteorito. En el panel se muestra la distribución del esfuerzo equivalente de Von Mises en vistas transversal y longitudinal, respectivamente. Panel B muestra la distribución de la componente normal del tensor de Cauchy σ_{YY} en vistas transversal y longitudinal. La escala de colores indica la magnitud del esfuerzo en pascales, desde valores bajos (azul) hasta valores máximos (rojo).

Discusión

Los resultados obtenidos a partir de las simulaciones estática y dinámica permiten interpretar el mecanismo de ruptura del meteorito bajo un impacto extremo desde una perspectiva mecánica coherente. En particular, la curva esfuerzo-deformación muestra una respuesta dominada casi en su totalidad por la deformación plástica, con una contribución elástica prácticamente despreciable. Este comportamiento indica que el material alcanza rápidamente un estado irreversible de daño una vez superado el límite elástico, lo que conduce a una fractura abrupta sin una fase prolongada de deformación estable.

La simulación estática revela que los máximos esfuerzos equivalentes de Von Mises no se concentran en el punto de impacto directo, sino en regiones laterales del cuerpo. Este patrón pone de manifiesto que la falla estructural no está controlada únicamente por la magnitud local de la carga aplicada, sino por la redistribución interna de tensiones

inducida por la geometría del meteorito y las condiciones de frontera. Las regiones laterales, sometidas a estados complejos de compresión triaxial y cizallamiento intenso, emergen como zonas críticas para la iniciación de la fractura. Asimismo, los desplazamientos significativos observados en el centro geométrico, aun en ausencia de esfuerzos máximos, sugieren una respuesta global del cuerpo ante el impacto. Este resultado refuerza la idea de que la ruptura del meteorito debe entenderse como un colapso estructural volumétrico y no como un fenómeno localizado en la superficie de contacto.

La magnitud de la energía de fractura estimada sitúa el evento analizado en un régimen extremo, muy por encima de los escenarios asociados a impactos mecánicos convencionales. En el contexto de One Punch Man, estos resultados respaldan la representación de una destrucción casi instantánea del meteorito, al evidenciar que el impacto no solo supera la resistencia del material, sino que lo hace con un margen energético suficiente para inducir una falla global en un intervalo de tiempo muy reducido.

El presente análisis se basa en la idealización de la geometría del meteorito como un elipsoide homogéneo y en la asignación de propiedades mecánicas hipotéticas, las cuales no cuentan con validación experimental directa. Asimismo, la imposición de una condición de soporte fijo, necesaria para la estabilidad numérica del modelo, no representa de forma estricta el estado de caída libre del cuerpo durante un impacto real. Adicionalmente, las simulaciones realizadas no incorporan modelos explícitos de fractura dinámica ni procesos de fragmentación progresiva, por lo que los mecanismos de falla identificados deben interpretarse principalmente desde un punto de vista cualitativo y comparativo.

Conclusión

Los resultados obtenidos indican que la respuesta mecánica del meteorito ante un impacto extremo está dominada por una redistribución interna de tensiones que conduce a un colapso estructural global, y no por un daño localizado en el punto de impacto. La concentración de los máximos esfuerzos en regiones laterales y los desplazamientos significativos en el interior del cuerpo confirman que la falla debe entenderse como un proceso volumétrico inducido por estados complejos de esfuerzo bajo condiciones de carga severa.

Desde una perspectiva conceptual, el estudio demuestra que un

escenario ficticio como el presentado en One Punch Man puede ser analizado de manera consistente mediante herramientas de la mecánica de sólidos y simulación por elementos finitos. Este enfoque permite vincular narrativas de ficción con marcos físicos formales, aportando una interpretación rigurosa de los mecanismos de impacto y ruptura, y estableciendo una base para futuros estudios que incorporen modelos de fractura dinámica y simulaciones plenamente transitorias.

Contribución del autor

G.R. y G.V.: Conceptualization, Methodology, Software, Formal analysis, Investigation, Data curation, Visualization, Writing-original draft, Writing-review & editing.

Referencias

Beer, F. P., Johnston, E. R., DeWolf, J. T., y Mazurek, D. F. (2015). Mechanics of materials (7th ed.). McGraw Hill Education.

Dowling, N. E. (2012). Mechanical behavior of materials: Engineering methods for deformation, fracture, and fatigue (4th ed.). Pearson.

Johnson, W. (1985). Impact strength of materials. Edward Arnold.

Marín, D. (2020, 5 de marzo). El asteroide metálico Psyche o por qué la minería de asteroides no es tan sencilla. Eureka.

Zienkiewicz, O. C., Taylor, R. L., y Zhu, J. Z. (2013). The finite element method: Its basis and fundamentals (7th ed.). Elsevier.