

Revisión del estado del arte de las Fracturas de Materiales

Review of the state of the art of the Mechanisms of Material Fractures

- ¹ Fernando Paúl Grefa Toledo  <https://orcid.org/0009-0001-2514-2211>
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
fernando.grefa@unach.edu.ec
- ² Francis Fernando Lara Torres  <https://orcid.org/0009-0002-5892-4620>
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
francis.lara@unach.edu.ec
- ³ Tania Karina Berrezueta Espín  <https://orcid.org/0000-0003-3353-9910>
Facultad de Ciencias Administrativas, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador
tania.berrezueta@epn.edu.ec

Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 04/05/2023

Revisado: 12/06/2023

Aceptado: 14/07/2023

Publicado: 30/08/2023

DOI: <https://doi.org/10.33262/ap.v5i3.397>

Cítese:

Grefa Toledo, F. P., Lara Torres, F. F., & Berrezueta Espín, T. K. (2023). Revisión del estado del arte de las Fracturas de Materiales. *AlfaPublicaciones*, 5(3), 185–204. <https://doi.org/10.33262/ap.v5i3.397>



ALFA PUBLICACIONES, es una revista multidisciplinar, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://alfapublicaciones.com>



La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec



Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

**Palabras
claves:**

Fracturas,
materiales,
mitigación,
industria.

Keywords:

Fracture,
strategies,
industry, safety.

Resumen

Objetivos: Revisar y analizar distintas investigaciones que abordan las distintas fracturas que se presentan en los materiales, es decir, aquella que ocurre cuando un elemento sólido es separado en dos o más partes debido al sometimiento de este a una fuerza, información que es importante de ser compartida debido a que, a partir de este conocimiento se pueden generar estrategias de mitigación, mismas que permiten el uso correcto y sostenible de los materiales, en dependencia de las variables de selección. **Metodología:** Se utiliza una investigación de tipo documental bibliográfica, con el fin de sintetizar la información obtenida a partir del criterio de profesionistas e investigadores, y utilizar estos desarrollos a favor de la comunidad tanto del sector estudiantil como del sector profesional, **Resultados:** Se genera la motivación de la indagación de temas relacionados con las formas de mitigación y el establecimiento de las causas raíz de las fracturas, así como la propagación del diseño de estrategias que sean aplicables en diferentes estructuras de la industria en donde el propósito general sea el de garantizar la seguridad, **Conclusiones:** se logra con la debida detección de las fuentes de las distintas fracturas. **Área de estudio general:** ciencia de los materiales, **Área de estudio específica:** resistencia de los materiales, **Tipo de estudio:** revisión bibliográfica.

Abstract

Objectives. To review and analyze different investigations that address the different fractures that occur in materials, that is, the one that occurs when a solid element is separated into two or more parts due to the subjection of this to a force, information that is important to be shared because, from this knowledge, mitigation strategies can be generated, which allow the correct and sustainable use of materials, depending on the selection variables. **Methodology:** A bibliographic documentary type research is used, in order to synthesize the information obtained from the criteria of professionals and researchers, and to use these developments in favor of the community, both in the student and professional sectors, **Results:** It generates the motivation of the inquiry of topics related to the forms of mitigation and the establishment of the root causes of fractures, as well as the propagation of the design of strategies that are applicable in different structures of the industry where the

general purpose is to ensure safety, **Conclusions:** it is achieved with the proper detection of the sources of the different fractures.

Introducción

La fractura de materiales, es un fenómeno que se considera fundamental, por ende, vez crítico en la ciencia de materiales y la ingeniería, debido a que es objeto de considerables investigaciones a lo largo del tiempo, esto, en razón a que la resistencia y durabilidad de los materiales son aspectos cruciales para el correcto funcionamiento de sus componentes, así como también en sus estructuras, las cuales, deben ser adaptables a las diversas industrias, desde la construcción en la industria automotriz hasta la aviación y la medicina (Jaramillo et al., 2008).

En la presente investigación, se contextualiza la fractura de materiales, mediante el análisis de los mecanismos que la rigen, las formas de evaluar la resistencia y tenacidad de los materiales frente a la fractura, por lo tanto, se exponen estrategias que permiten prevenir y controlar este fenómeno, además por medio de los resultados obtenidos se busca comprender el cómo y por qué los materiales se fracturan, a fin de desarrollar soluciones eficaces para mejorar su rendimiento y seguridad en aplicaciones prácticas.

Mediante la investigación y el análisis de los mecanismos de fractura y la aplicación de técnicas de evaluación y mitigación, se puede avanzar hacia el desarrollo de materiales más resistentes, y su vez sostenibles para satisfacer las demandas de una sociedad en constante evolución.

Dentro de este marco, la presente investigación, busca proporcionar una visión integral sobre la fractura de materiales, destacando la importancia de la investigación interdisciplinaria mediante la revisión de la teoría de la fractura de materiales las que son dúctiles y frágiles que son propuestas en la industria, de tal manera que se pueda abordar de manera objetiva los desafíos en donde el diseño y fabricación de materiales con resistencia a la fractura y estrategias efectivas de mitigación de fracturas son fundamentales para garantizar la seguridad y durabilidad de las aplicaciones industriales. La comprensión de los mecanismos de fractura y la aplicación de técnicas avanzadas de análisis y caracterización son clave para abordar estos desafíos de manera efectiva, la

continua exploración y comprensión de la fractura de materiales es crucial para impulsar la innovación que permita garantizar un futuro más seguro en el ámbito de la ciencia de materiales en cuanto se refiere a la ingeniería aplicada.

Metodología

La presente investigación, del trabajo sobre la fracturación de materiales, lo analítico implica el estudio profundo de los mecanismos de fractura y el análisis de datos, mientras que lo sintético implica la integración y síntesis de información para diseñar estrategias de mitigación efectivas.

El enfoque que se utilizó es cualitativo (teoría documentada), basado en técnicas de revisión bibliográfica en textos, documentos y artículos científicos, utilizadas con el propósito de descubrir un nuevo concepto basados en ideas propuestas por los autores, y finalmente utilizarlos en función del planteamiento del problema, es decir, su análisis es narrativo.

En el desarrollo de la etapa inicial se revisará y se recolectará investigación desarrollada sobre fractura de materiales, específicamente de los mecanismos de fractura y las estrategias de mitigación, puesto esta información permite comprender a nivel microscópico cómo ocurre la fractura en los materiales y cómo se pueden mejorar sus propiedades.

Mediante técnicas de fracturación, se pueden identificar características críticas en la superficie fracturada, como fisuras, microgrietas y zonas de deformación, que arrojan luz sobre los mecanismos de fractura involucrados. Esta información es clave para el diseño y selección de materiales más resistentes y duraderos, así como para desarrollar estrategias específicas de mitigación que prevengan. Gracias a la fracturación, es posible avanzar en la innovación de materiales y en la mejora continua de la seguridad y fiabilidad de componentes y estructuras, contribuyendo así a un progreso significativo en la ingeniería de materiales. Esto permitió verificar si el proceso de investigación era acertado o erróneo, proceso que permite la etapa final del material recopilado, fue clasificado siendo depurados aquellos datos con mayor relevancia, con la finalidad de realizar el análisis respectivo, discutir los resultados y establecer conclusiones.

En definitiva, la fractura de materiales es un campo de estudio esencial en la ingeniería de materiales, que se centra en comprender los mecanismos de fractura y desarrollar estrategias de mitigación para mejorar la resistencia y durabilidad de los materiales en diversas aplicaciones industriales. Un aspecto clave en este campo es la distinción entre materiales frágiles y dúctiles. Los materiales frágiles tienen una baja tenacidad y tienden a fracturarse sin una deformación significativa bajo cargas aplicadas, lo que resulta en un fallo abrupto y catastrófico. Por otro lado, los materiales dúctiles son capaces de deformarse considerablemente antes de la fractura, lo que les confiere una mayor capacidad de absorber energía antes de fallar. Comprender cómo se producen estas fracturas y desarrollar estrategias para mejorar la tenacidad de los materiales frágiles o la resistencia a la propagación de grietas en los materiales dúctiles son objetivos cruciales para garantizar la seguridad y eficiencia de los componentes y estructuras en diversas industrias.

Se explican los procesos microscópicos involucrados en la propagación de grietas, así como la influencia de la microestructura y las propiedades del material en la fractura, teniendo en cuenta que la propagación puede ser de carácter intergranular o intragranular, esto en dependencia de distintas variables como el tipo de material, la mecánica propia de la fractura, los mecanismos a los que son sometidas las piezas evaluadas y también la manufactura desarrollada para la obtención de las mismas.

Mecanismos de Fractura

Fractura Dúctil

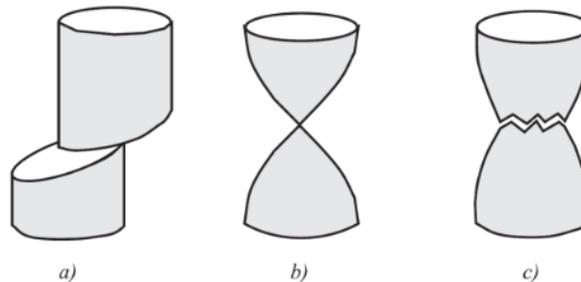
La fractura dúctil, está asociada con la deformación plástica, es decir, la cantidad de deformación plástica que se necesita para producir la fractura puede ser, en algunos casos limitada, con un consumo pequeño de energía, en este caso, aun cuando literalmente la fractura presente deformación plástica, desde el punto de vista ingenieril, la fractura es frágil y puede iniciarse en una entallada o grieta aguda (Aglanda et al., 2022).

El comportamiento de fractura dúctil varía según el tipo, es decir, algunos materiales son más susceptibles que otros, por ejemplo, las aleaciones de aluminio que se endurecen por

precipitación pueden contener partículas intermetálicas de mayor tamaño junto con fases secundarias precipitadas de tamaño submicroscópico que están dispersas finamente en la matriz. Además, estas aleaciones pueden contener partículas muy dispersas de tamaño icrométrico, agregadas durante el proceso de solidificación para facilitar el refinamiento del grano (Aglanda y otros, 2022).

Figura 1

Tipos de fracturas observados en metales dúctiles



- a) Cizalladura en monocristales
- b) Totalmente dúctil en policristales
- c) Relativamente dúctil en policristales

Fuente: Extraído de fractura de materiales

Formación Cuello de Botella

En la fractura dúctil, el cuello de botella se refiere a una zona localizada alrededor de la punta de una grieta en un material dúctil, que se produce en una deformación plástica intensa. Esta región, se caracteriza por una reducción en la sección transversal del material y una concentración de tensiones. Cuando se aplica una carga a un material dúctil con una grieta, se generan tensiones concentradas en la punta de la grieta estas tensiones provocan que la deformación plástica se concentre en una región estrecha, formando el cuello de botella (Flores, 2002).

En el contexto de la fractura dúctil, el término "cuello de botella" se utiliza para describir una región localizada alrededor de la punta de una grieta en un material dúctil. Esta zona

exhibe una deformación plástica intensa y se caracteriza por una reducción en la sección transversal del material, así como una concentración de tensiones.

Cuando una carga es aplicada a un material dúctil que contiene una grieta, se generan tensiones concentradas en la punta de dicha grieta. Estas tensiones causan que la deformación plástica se concentre en una región estrecha, dando origen al cuello de botella. Este fenómeno es una respuesta adaptativa del material con el propósito de redistribuir la carga y absorber energía durante el proceso de fractura dúctil (Flores, 2002).

Deformación Plástica

Se refiere a la capacidad de los materiales dúctiles para deformarse de manera permanente sin fracturarse, es decir, que, durante la deformación plástica, los átomos y las estructuras cristalinas del material se desplazan y se reorganizan, permitiendo que el material cambie de forma sin experimentar una fractura inmediata.

Este proceso ocurre a nivel microscópico, donde las dislocaciones se mueven y se deslizan a lo largo de los planos cristalinos, contribuyendo a la capacidad de deformación del material. La deformación plástica en la fractura dúctil es un mecanismo deseable, ya que, permite mayor absorción de energía y evita la propagación rápida de grietas, lo que resulta en una mayor resistencia y tenacidad del material (Jaramillo y otros, 2008).

En la fractura dúctil, los materiales dúctiles tienen la capacidad de deformarse de manera permanente sin fracturarse, lo que se conoce como deformación plástica, durante este proceso, las partículas y estructuras cristalinas del material se desplazan y reorganizan, lo que permite que, el material cambie de forma sin que ocurra una fractura inmediata. A nivel microscópico, las dislocaciones, que son defectos en la estructura cristalina, se desplazan y se deslizan a lo largo de los planos cristalinos, lo que contribuye a la capacidad de deformación del material. La deformación plástica en la fractura dúctil es un mecanismo beneficioso, ya que permite una mayor absorción de energía y evita la propagación rápida de grietas (Rodríguez, 2013).

Elongación y Reducción del Área Transversal

La elongación es, una medida cuantitativa de la deformación plástica que experimenta un material antes de la fractura se define como, el alargamiento relativo del material en la dirección de la carga aplicada y se expresa como un porcentaje del incremento en longitud respecto a su longitud original (Angulo et al., 2018).

Una alta elongación en un material, indica mayor capacidad de deformación plástica, lo que significa que, puede soportar cargas sin romperse prematuramente, la elongación es un parámetro crítico para evaluar la tenacidad y resistencia de un material frente a la fractura dúctil.

La reducción del área transversal es otro indicador clave en la fractura dúctil. Se refiere a la disminución en la sección transversal del material después de haber sido sometido a una carga de tracción. Este fenómeno está directamente relacionado con la deformación plástica y la formación de cuellos de botella alrededor de las puntas de las grietas (Angulo et al., 2018).

En este sentido se expone que, una alta reducción del área transversal en un material indica que ha experimentado una extensa deformación plástica antes de fracturarse, esto se traduce en mayor capacidad de absorción de energía y una resistencia mejorada frente a la propagación de grietas, por ende, en un material más tenaz y confiable (Guerrero y otros, 2011).

Existen distintas investigaciones que analizan los mecanismos de fractura de tipo dúctil, mismos que se ha llevado a cabo durante décadas, con la finalidad de mejorar la ductilidad de los materiales y poder establecer las causas verdaderas de su inducción, así como la mecánica de su desarrollo (Gomila, 2002).

Fractura Frágil

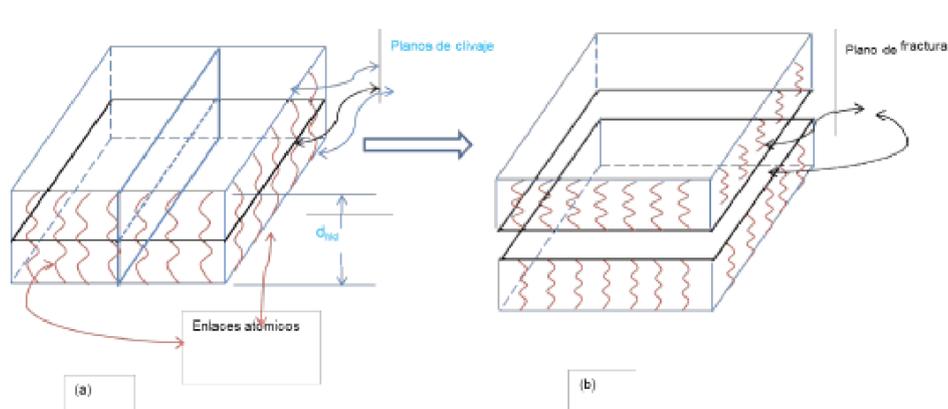
Esta, ocurre sin deformación plástica apreciable y por propagación rápida de una grieta, es decir, la dirección del movimiento de grieta es perpendicular a la dirección de la tensión aplicada y produce una superficie de fractura relativamente plana. En la mayoría de los

materiales cristalinos frágiles, la propagación de la grieta se debe a la rotura sucesiva de enlaces atómicos a lo largo de planos cristalográficos, proceso que se denomina descohesión o clivaje. Este tipo de fractura se dice que, es transgranular, debido a que las fisuras pasan a través de los granos. El proceso de clivaje es más probable cuando el deslizamiento de dislocaciones se encuentra restringido (García y Monasterio, 2018).

En el mundo de los materiales cristalinos frágiles, la propagación de la grieta ocurre debido a la rotura sucesiva de enlaces atómicos a lo largo de planos cristalográficos, un proceso conocido como descohesión o clivaje, esto crea una superficie de fractura sorprendentemente plana y cristalina, de esta forma se descubre cómo el movimiento de la grieta se desplaza perpendicularmente a la dirección de la tensión aplicada, generando una fractura con características únicas (Torres et al.).

Figura 2

Representación esquemática de la fractura frágil en el plano dhkl



Fuente: Filosofía de la Mecánica

Fractura Intergranular

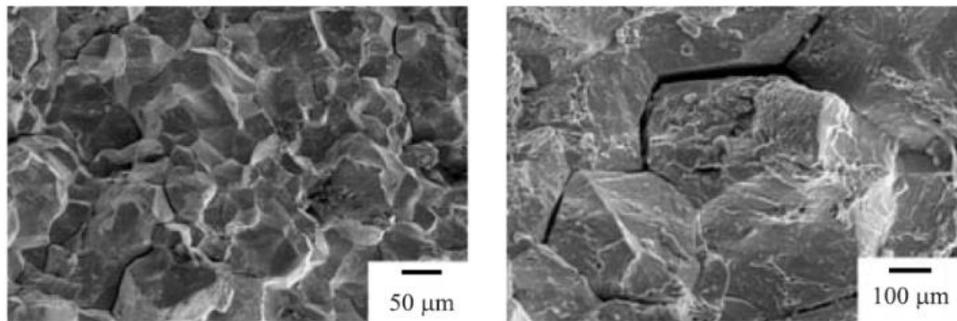
Probablemente el mecanismo de rotura más fácilmente reconocible es el caso de las fracturas intergranulares, puesto que la observación de las superficies de fractura revela el carácter tridimensional de los granos (Gomila, 2002).

En el contexto de una fractura intergranular, "50 μm " y "100 μm " se refieren a las dimensiones de las características o elementos de la microestructura observados en la

superficie fracturada. Estas dimensiones se expresan en micrómetros (μm), que es una unidad de longitud que equivale a una milésima parte de un milímetro.

Figura 3

Fractura Intragranular (F. Heredero)



Fuente: Introducción a la Ciencia de los Materiales y sus Propiedades

Esfuerzo y Tensión Intragranular

Es una magnitud física que, representa la fuerza aplicada sobre un material por unidad de área, es decir, una medida clave para evaluar la resistencia y la capacidad de carga de los materiales ante diferentes condiciones de carga (García & Monasterio, 2018).

La tensión intragranular, se refiere a las fuerzas internas que actúan dentro de los granos individuales de un material cristalino, estas tensiones pueden resultar de la aplicación de cargas externas o de la presencia de defectos y heterogeneidades en la microestructura.

Evaluación de la Tenacidad

Para comprender y predecir el comportamiento de fractura de materiales, es crucial evaluar su tenacidad, se examina técnicas experimentales como ensayos de tracción, pruebas de impacto y ensayos de fractura, que permiten determinar la resistencia mecánica y la capacidad de absorción de energía de los materiales.

Método SEND

Esta técnica implica someter a una probeta con una entalla prefisurada en su base a flexión hasta que se rompa. Se utilizaron probetas prismáticas de dimensiones de 45x10x5 mm.

La entalla se creó utilizando un disco de diamante de 0,3 mm de espesor para lograr una relación entre la longitud de la entalla y la altura de la probeta (a/W) de 0,3 (Torres et al.).

Para generar la prefisura, se aplican esfuerzos compresivos cíclicos axiales con una relación de carga $R=10$, una frecuencia de 18 Hz y una tensión máxima de 830 MPa para las calidades 16F y 16M, y de 780 MPa para la 27C. Estos ensayos se realizan en una máquina servohidráulica INSTRON con una célula de carga de 100 kn (Torres et al.).

La aplicación de cargas cíclicas se reconoce como un método efectivo para generar fisuras agudas en materiales frágiles, pero también produce tensiones residuales de tracción en la punta de la entalla, incluso después de que se deja de aplicar la compresión nominal. Estas tensiones residuales pueden afectar las mediciones de la tenacidad de fractura, lo cual es relevante para este estudio en particular (Torres et al.).

Para analizar el tamaño de la zona afectada por las tensiones residuales y su efecto en la K_{Ic} , se aplican cargas cíclicas de tracción en flexión por cuatro puntos, con una separación entre los puntos de apoyo exteriores e interiores de 40 y 20 mm respectivamente. Se utiliza una máquina servohidráulica con una célula de carga de 20 kN y control digital. Las pruebas se llevan a cabo con un cociente de carga de 0,1 y frecuencias entre 0,5 y 10 Hz, a una temperatura de 20 °C y una humedad relativa del 40 % (Torres et al.).

El crecimiento de las fisuras se evalúa mediante dos métodos complementarios. Uno de ellos consiste en el registro continuo utilizando un microscopio óptico de larga distancia focal a una magnificación de 1000X, mientras que el otro método se lleva a cabo mediante seguimiento discontinuo empleando otro microscopio óptico convencional (Wulff-Pérez et al., 2013).

Este estudio, proporciona información relevante sobre cómo las cargas cíclicas pueden afectar la tenacidad de fractura de materiales frágiles debido a las tensiones residuales generadas. Estos hallazgos pueden ser de gran utilidad para el diseño y la comprensión del comportamiento de materiales en aplicaciones prácticas.

Método SEVNB

Este procedimiento implica someter a una probeta a flexión hasta que se rompa, y la probeta tiene una entalla muy aguda en forma de V en su base. Para llevar a cabo estos ensayos, se utilizan los restos de las barras rectangulares que se usaron previamente en el método SENB, las cuales tienen dimensiones de 22x10x5 mm. La entalla se mecaniza inicialmente con un disco de diamante de 0,3 mm de grosor, y luego se afiló manualmente puliendo el fondo con una cuchilla que tenía pasta de diamante en su superficie cortante. Las probetas utilizadas presentaron relaciones a/W (longitud de la entalla respecto a la altura de la probeta) entre 0,2 y 0,5. Las mediciones de la tenacidad de fractura (K_{Ic}) se llevan a cabo utilizando la configuración de ensayo de flexión en tres puntos, con una separación de 20 mm entre los puntos de apoyo exteriores (Zamora Mora et al., 2015).

El procedimiento descrito es una técnica valiosa para analizar la tenacidad de fractura en materiales, proporcionando información relevante sobre su resistencia y comportamiento ante fuerzas de flexión aplicadas. Los resultados de estas mediciones pueden tener aplicaciones importantes en el diseño y desarrollo de materiales más resistentes y confiables en diversas industrias.

Tabla 1

Valores de tenacidad de fractura para cada calidad y método de ensayo evaluado

Método de ensayo	Calidades de WC-Co		
	16F	16M	27C
	Tenacidad de fractura (MPam ^{1/2})		
SENB	8,6 ± 0,7 ⁽¹⁾ 9,2 ± 0,6 ⁽²⁾	9,2 ± 0,9 ⁽¹⁾ 10,5 ± 0,8 ⁽²⁾	10,8 ± 1,0 ⁽¹⁾ 14,7 ± 1,0 ⁽²⁾
SEVNB ⁽³⁾	(19 μm) 18,7 ± 0,9 (45 μm) 23,2 ± 0,8 (68 μm) 28,3 ± 0,2	(15 μm) 15,2 ± 0,4 (19 μm) 16,4 ± 0,9 (23 μm) 16,5 ± 0,5 (70 μm) 20,6 ± 0,3	(18 μm) 15,0 ± 0,4 (30 μm) 15,6 ± 0,9 (37 μm) 16,2 ± 0,5 (45 μm) 16,4 ± 0,3 (50 μm) 17,5 ± 0,3

- (1) Prefisuras obtenidas por compresión cíclica.
 (2) Prefisuras inducidas como en (1) y posteriormente propagadas bajo fatiga tensil.
 (3) Valores correspondientes a diferentes diámetros de la entalla en V (dados entre paréntesis).

Nota: Elaborado por evaluación de la tenacidad de fractura en carburo cementados tenaces

Estrategias de Mitigación y Prevención

La fractura de materiales puede ser catastrófica en aplicaciones críticas, por lo tanto, es fundamental implementar estrategias de mitigación para mejorar la resistencia y la durabilidad de los materiales.

En este sentido esta debe llevar el siguiente proceso a fin de garantizar su eficacia:

- Optimización de los procesos de inspección;
- Identificar los niveles de riesgos;
- Técnicas de Reducción de Riesgos;
- Estrategias de Gestión;
- Monitorizaciones de la efectividad de las soluciones (Bhat et al., 2010).

Tabla 2

Estrategias de Mitigación y Prevención

Estrategias	
<p>Prevención de daños en necesarias para que el conjunto de operaciones y trabajos necesarios se mantenga con las características funcionales, resistentes, de confort y sobre todo de seguridad que requiere (Salgado, 2019).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Priorizar que el mantenimiento de la red de puentes se lleve de manera óptima. • Jerarquizar las necesidades de los proyectos de rehabilitación y de la ejecución de las obras. • Realizar la optimización de los presupuestos anuales. • Optimizar los criterios de evaluación para los proyectos de reparación de los puentes sean lo más próspero posible. • Considerar la utilización de un modelo tridimensional que permite evaluar los efectos mecánicos del impacto del ión desplazado del eje de simetría del dispositivo y con distintas dimensiones de la región de generación (Ruiz Estrada, 2004).

En distintas investigaciones se ha podido evidenciar que una de las variables más importantes que debe ser considerada para disminuir la ocurrencia de una fractura es la selección de los materiales. La selección del material con el cual está manufacturado un elemento, juega un papel determinante para establecer las verdaderas causas que provocan las fracturas (Cortés et al., 2011).

Hoy en día, el desarrollo de modelado de falla es el método más utilizado para establecer de forma adecuada el estado del material, esto basándose en la capacidad de carga que tiene el material, hasta el estado en el que pierde dicha capacidad durante el proceso de deformación (Song et al., 2014).

Se han desarrollado distintos estudios en los que se introducen algunas técnicas operativas con el objetivo de caracterización de forma real las distintas fracturas de materiales, utilizando principalmente el mecanismo de fractura frágil. Esto se puede conseguir empleando algunos parámetros propios de los mecanismos como el daño inicial fundamental en todo análisis, otros parámetros como el daño al término de la falla, que es el resultado visible y el número de inestabilidad estructural necesario para analizar el mecanismo. Todos estos parámetros se utilizan para establecer la influencia del daño inicial., para ello el desarrollo de ensayos o pruebas mecánicas como el de tracción o el de compresión juegan un papel fundamental, además se debe tener en cuenta los conceptos básicos de la mecánica de fracturas frágiles, pues esto permiten aplicar el análisis verdadero de los daños por fragilidad a sólidos frágiles elásticos bajo carga dinámica baja (Ilg, 2013).

En las últimas décadas se han desarrollado varias modelaciones de falla, incluido el modelo basado en micromecánica, mismo que desarrolla la iniciación de la fractura, continúa con el crecimiento y la coalescencia de los microvacíos que son los verdaderos responsables de la fractura de los materiales (Bossis et al., 2015).

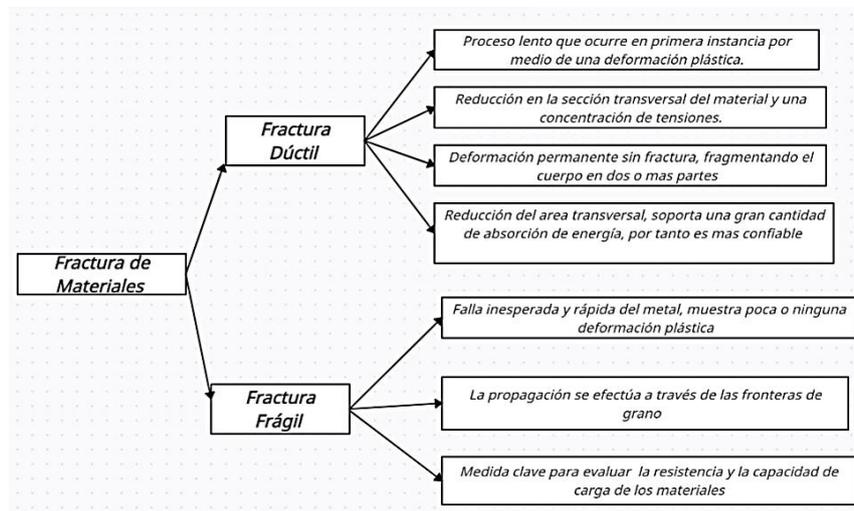
Resultados

La presente investigación se caracteriza por ser un estudio de tipo revisión, es decir, se caracteriza por ser un estudio de tipo bibliográfico que recopila, analiza, sintetiza y si es el caso, pone a discusión la narrativa encontrada en el proceso de investigación.

De tal manera, que a continuación se expone la creación de la teoría fundamentada, misma que es el resultado de un proceso de filtración de información, que generalmente es usado para investigaciones de carácter cualitativo y que a juicio del investigador se presenta con fines explicativos en el siguiente diagrama.

Figura 4

Síntesis de Fractura de Materiales



Discusión

A partir de los resultados anteriores, se puede colegir que los mecanismos de fractura son muy importantes dentro de las diferentes industrias, debido a que, este aborda temas de resistencia y durabilidad, los cuales esta relacionados con los materiales que están elaborados, por ende, es importante que estén sometidos a controles periódicos, los cuales, deben ser creados juntamente con normas de prevención que además sean sostenibles, tal como lo afirman Aglanda, Alcalá y Llanes.

En este sentido, la visualización que le da el presente documento de revisión ante la importancia del tratamiento con enfoque investigativo, a la fractura de materiales permite abordar de manera objetiva la utilización de materiales avanzados, con el fin de garantizar la seguridad en la industria aplicada en temas de ingeniería.

La investigación previa relacionada con la fractura de materiales ha sido invaluable en proporcionar una base de conocimientos sólida sobre los mecanismos de fractura y las estrategias de mitigación en diferentes contextos. Varios estudios han abordado la fractura intergranular, analizando cómo influyen en la tenacidad y resistencia de los materiales, y han propuesto diferentes enfoques para mitigar la propagación de grietas, como el uso de recubrimientos protectores y la mejora de la microestructura del material. Sin embargo,

la nueva investigación en este campo ofrece un aporte significativo al comparar y consolidar los hallazgos anteriores con metodologías más avanzadas y herramientas analíticas más precisas. La investigación actual profundiza en la relación entre la microestructura, la composición del material y su comportamiento de fractura, lo que permite una comprensión más completa de los factores que influyen en la fractura y abre nuevas perspectivas para el diseño de estrategias de mitigación más eficaces.

Finalmente, el presente documento permite resaltar la importancia de la utilización de métodos de prevención ante la fractura de materiales, por ende, sugiere estrategias que reduzcan el número de accidentes a gran escala, lo cual se logra con la detección temprana de entalles o grietas que se pueden convertir en agudas.

Conclusiones

La integridad estructural de los materiales es un aspecto crítico en numerosas industrias, desde la construcción y la manufactura hasta la aviación y la ingeniería biomédica, la prevención y mitigación de fracturas son fundamentales para garantizar la seguridad, la eficiencia y la confiabilidad de los componentes y estructuras.

Se destaca la importancia de la selección adecuada de materiales, considerando sus propiedades mecánicas, tenacidad y resistencia a la fractura, asimismo, el diseño robusto y el análisis de tensiones son etapas fundamentales para identificar posibles puntos de concentración de esfuerzos y prever situaciones que puedan llevar a una fractura.

La calidad en la fabricación y el uso de técnicas de inspección no destructiva son elementos clave para reducir defectos y detectar anomalías internas en los materiales, además, los tratamientos térmicos y superficiales pueden mejorar significativamente la resistencia a la fractura de ciertos materiales.

Es fundamental seguir fomentando la investigación y el desarrollo en este campo para avanzar en la comprensión de la fractura de materiales y descubrir nuevas técnicas de mitigación.

En última instancia, este artículo ha reforzado la importancia de abordar de manera proactiva los desafíos asociados con las fracturas de materiales. La implementación de estrategias adecuadas de prevención y mitigación no solo garantiza la seguridad y la calidad en la industria, sino que también abre camino hacia futuras innovaciones y avances tecnológicos.

Conflicto de intereses

Los autores certifican que no existe conflicto de intereses en el artículo “Revisión del estado del arte de las Fracturas de Materiales”.

Referencias bibliográficas

- Aglanda, Alcalá, Llanes, Mateo, y Salán. (2022). *Fractura de Materiales* (Primera ed.). (J. Salgado, Ed.) Barcelona: Universal Politècnica de Catalunya. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=06rrtvkTTd8C&oi=fnd&pg=PA6&dq=fractura+fragil+articulo+&ots=A5d2xnS7V5&sig=gqVAkfGxELhU-jkppxSXA6zJcK#v=onepage&q&f=false>
- Aldana, S., Vereda, F., Hidalgo-Alvarez, R., y de Vicente, J. (2016). Facile synthesis of magnetic agarose microfibers by directed selfassembly. *Polymer*, 93, 61-64.
- Angulo, M., Marmolejo, M., Castro, H., Herrera, C., y Morales, C. (2018). *Analysis for test of traction of metal probes*. Análisis de la prueba de Tracción de probetas metálicas: https://www.researchgate.net/profile/Mayra-Marmolejo/publication/331310424_ANALYSIS_FOR_TEST_OF_TRACTION_OF_METAL_PROBES_Analisis_de_la_prueba_de_Traccion_de_probetas_metalicas/links/5c71f9bd92851c69503aec34/ANALYSIS-FOR-TEST-OF-TRACTION-OF-METAL-PROBES-A
- Bhat, S., Tripathi, A., y Kumar, A. (2010). Supermacro porous chitosan-agarose-gelatin cryogels. in vitro characterization and in vivo assesment for cartilage tissue engineering. *Journal of the Royal Society Interface*, 1-15.
- Bossis, G., Marins, J., Kuzhir, P., Volkova, O., y Zubarev, A. (2015). Functionalized microfibers for field-responsive materials and biological applications. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 1-9.

- Cortés, J., Puig, J., Morales, J., y Mendizábal, E. (2011). Hidrogeles nanoestructurados termosensibles sintetizados mediante polimerización en microemulsión inversa. *Revista Mexicana de Ingeniería Química.*, 10(3), 513-520.
- Flores, R. (2002). Estudio de la Propagación de Fisuras en Materiales Dúctiles: <https://oa.upm.es/660/1/01200205.pdf>
- García, A., y Monasterio, N. (2018). *Introducción a la Ciencia de los Materiales y sus Propiedades (1)*. Unibertsitatea: Universidad del País Vasco. https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/51171/mod_resource/content/0/Tema%206-Comportamiento%20mec%C3%A1nico%20de%20los%20materiales.pdf
- Gomila, A. (2002). *Fractura de materiales* (Vol. Vol. 123). Cataluña: UPC.
- Guerrero, Dávila, Galeas, Pontón, Rosas, Sotomayor, y Valdivieso. (2011). *Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales e Industriales*. Quito. file:///C:/Users/HP/Downloads/Nuevos_materiales_aplicaciones_estructurales_e_industriales.pdf
- Ilg, P. (2013). Stimuli-responsive hydrogels cross-linked by magnetic nanoparticles. *Soft Matter*, 9, 3465-3468.
- Jaramillo, H., Alba, N., Canizales, J., y Toro, Á. (2008). *Introducción a la Mecánica de la Fractura y Análisis de Fallas* (Primera ed.). (G. A. Osorio, Ed.) Cali: Dirección de Investigaciones y Desarrollo Tecnológico. <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/13853/Introducci%C3%B3n%20a%20la%20mec%C3%A1nica%20de%20la%20fractura%20y%20an%C3%A1lisis%20de%20falla.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Rodríguez, C. (2013). Patrones y Mecanismos de Fractura en los Materiales Compuestos de Matriz Polimérica Reforzados con Fibras: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://eprints.uanl.mx/3689/1/1080256694.pdf>
- Ruiz Estrada, G. (2004). *Desarrollo de un Sistema de liberación de fármacos basado en nanopartículas magnéticas recubiertas con Polietilenglicol para el tratamiento de diferentes enfermedades*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid. Departamento de Física Aplicada.

- Salgado, R. (2019). *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.researchgate.net/profile/Sergio-Zamora-3/publication/333102258_Sociedad_Mexicana_de_Ingenieria_Estructural/links/5cdb7d9fa6fdccc9ddae4738/Sociedad-Mexicana-de-Ingenieria-Estructural.pdf
- Song , J., King, S., Yoon , S., Cho, D., y Jeong, Y. (2014). Enhanced spinnability of carbon nanotube fibers by surfactant addition. *Fibres and Polymers*, 15(4), 762-766.
- Torres, Anglada, y Llanes. (s.f.). Evaluación de la Tenacidad de Fractura en Carburo Cementados Tenaces. *Universitat Politècnica de Catalunya*. https://www.researchgate.net/profile/Luis-Llanes-3/publication/239541671_EVALUACION_DE_LA_TENACIDAD_DE_FRAC_TURA_EN_CARBUROS_CEMENTADOS_TENACES/links/0deec52ebf96170f9c000000/EVALUACION-DE-LA-TENACIDAD-DE-FRACTURA-EN-CARBUROS-CEMENTADOS-TENACES.pdf
- Wulff-Pérez , M., Martín-Rodríguez, A., Gálvez-Ruiz, M., y de Vicente, J. (2013). The effect of polymer surfactant on the rheological properties of nanoemulsions. *Colloid and Polymer Science*, 291, 709–716.
- Zamora Mora, V., Soares, P., Echeverria, C., Hernández , R., y Mijangos, C. (2015). Composite chitosan/Agarose ferrogels for potential applications in magnetic hyperthermia. *Gels.*, 1, 69-80.

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Alfa Publicaciones**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Alfa Publicaciones**.



Indexaciones

