

Simulación numérica del ensayo de tracción simple y su uso como complemento en la formación por competencias en carreras de Ingeniería.

Careglio, Claudio A.

ccareglio@uncu.edu.ar

Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ingeniería, Mendoza (Argentina).

De Simone, Pablo S.

pablo.desimone@ingenieria.uncuyo.edu.ar

Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ingeniería, Mendoza (Argentina).

Casarotto, Mauricio A.

mauriciocasarottoCAD@outlook.com.ar

Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ingeniería, Mendoza (Argentina).

Alvarez, Mauricio C.

carlos.alvarez@ingenieria.uncuyo.edu.ar

Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ingeniería, Mendoza (Argentina).

Bringa, Eduardo M.

ebringa@yahoo.com

CONICET & Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ingeniería, Mendoza (Argentina).

Fecha de recepción RIII: 31/01/2025

Fecha de aprobación RIII: 24/09/2025

RESUMEN

El ensayo de tracción simple es uno de los ensayos mecánicos destructivos más empleados para determinar propiedades características de los materiales. Desde el punto de vista de la formación de ingenieros, es de utilidad para la introducción de conceptos como los de tensión convencional y verdadera, etc. Por otro lado, la comprensión de propiedades mecánicas tiene implicancias en la práctica de la ingeniería; tanto en lo referente a diseño como en producción de bienes, mantenimiento e investigación. Esto implica, que dicho ensayo es de importancia en una formación con enfoque por Competencias. A pesar de la amplia utilización del ensayo de tracción en la formación práctica experimental, este brinda información sobre variables globales, dando poca información de variables locales, como distribuciones de deformaciones y tensiones. Por ello, es necesario incorporar herramientas complementarias que permitan movilizar e integrar saberes que contribuyan a comprender la respuesta mecánica de los materiales. Una manera de llevar adelante esto es mediante el empleo de experimentos numéricos del ensayo de tracción simple. En este trabajo, se presenta la simulación numérica mediante elementos finitos del problema de tracción simple para el caso de diferentes geometrías planas y distintos materiales; como herramienta para mejorar en alumnos de grado la integración de conocimientos y la formación por competencias en el área de la respuesta mecánica de los materiales y sus propiedades.

Palabras Claves: ensayo de tracción; formación por competencias; mecánica de materiales.

Numerical simulation of the simple tensile test and its use as a complement in competence training in engineering careers

ABSTRACT

The simple tensile test is one of the most commonly used destructive mechanical tests to determine characteristic properties of materials. From the point of view of engineering education, it is useful for introducing concepts such as conventional and true stress, etc. On the other hand, understanding mechanical properties has implications in engineering practice; in relation to design and production of goods, maintenance and research. This implies that this test is important in education with Competency-based learning approach. Despite the wide use of tensile testing in experimental practical training, it provides information on global variables, giving little information on local variables, such as strain and stress distributions. Therefore, it is necessary to incorporate complementary tools that allow mobilizing and integrating knowledge that contributes to understanding the mechanical response of materials. One way to do this is through the use of numerical experiments of the simple tensile test. In this work, the numerical simulation using finite elements of the simple traction problem is presented for the case of different plane geometries and different materials; as a tool to improve the integration of knowledge and skills training in the area of mechanical response of materials and their properties in undergraduate students.

Keywords: simple tensile test; competency-based learning; materials mechanics.

Simulação numérica do teste simples de tração e sua utilização como complemento na formação de competências em carreiras de engenharia

RESUMO

O ensaio de tração simples é um dos ensaios mecânicos destrutivos mais utilizados para determinar propriedades características de materiais. Do ponto de vista da formação em engenharia, é útil para a introdução de conceitos como tensão convencional e verdadeira, etc. Por outro lado, a compreensão das propriedades mecânicas tem implicações para a prática da engenharia; tanto em termos de design e produção de bens, manutenção e pesquisa. Isto implica que este teste é importante na formação com uma abordagem baseada em competências. Apesar da ampla utilização do ensaio de tração no treinamento experimental prático, ele fornece informações sobre variáveis globais, dando poucas informações sobre variáveis locais, como deformações e distribuições de tensões. Portanto, é necessário incorporar ferramentas complementares que permitam mobilizar e integrar conhecimentos que contribuam para a compreensão da resposta mecânica dos materiais. Uma maneira de fazer isso é empregando experimentos numéricos de teste de tração simples. Neste trabalho é apresentada a simulação numérica utilizando elementos finitos do problema simples de tração para o caso de diferentes geometrias planas e diferentes materiais; como ferramenta para melhorar a integração de conhecimentos e treinamento de habilidades na área de resposta mecânica de materiais e suas propriedades em alunos de graduação.

Palavras chave: teste de tração; treinamento de competências; mecânica dos materiais.

1. INTRODUCCIÓN

Los ensayos mecánicos destructivos (Callister & Rethwisch, 2023; Askeland & Wright, 2022) son unos de los medios más empleados tanto en la industria como en investigación para caracterizar el comportamiento mecánico de los materiales. Entre los ensayos más empleados, pueden nombrarse el de tracción, compresión, flexión, y fatiga, entre otros. Dichos ensayos, permiten investigar la respuesta de los materiales frente a diferentes sollicitaciones de carga y la forma en que fallan; como así también posibilitan conocer la vida útil de un componente de un sistema.

Entre los ensayos mencionados, uno de particular interés es el de tracción simple (Dieter, 1988; ASM, 2000; Chakrabarty, 2006; Meyers & Chawla, 2009; Hosford, 2010), ya que a partir de él se pueden determinar diferentes propiedades mecánicas (Callister & Rethwisch, 2023; Askeland & Wright, 2022), tales como módulo de elasticidad, tensión inicial de fluencia, resistencia estática a la tracción y tensión de rotura, entre otras. El conocimiento y comprensión de estas propiedades tiene consecuencias directas en el ejercicio cotidiano de la ingeniería, desde lo referente al diseño hasta la producción y mantenimiento, para industrias tales como la aeroespacial (Juwet et. al, 2024; Li & Li, 2023), automotriz (Ambriško & Pešek, 2024; Shim et. al, 2024), alimenticia (Irak, 2023; Raj et. al, 2023), etc.

Pese a su uso extendido, el mencionado ensayo llevado adelante en forma experimental proporciona información sobre variables globales del problema, tales como trayectorias de carga-desplazamiento (Malvern, 1969), pero suministra poca información acerca de variables locales tales como distribuciones de deformaciones, entre otros. Estas últimas variables son de vital importancia en la caracterización mecánica de materiales tales como los metales (Careglio et. al, 2016; Careglio, 2017).

Una manera en que pueden ser complementados los estudios experimentales de tracción es mediante simulaciones numéricas (Wilkins, 1969; Needleman, 1972; Cabezas & Celentano, 2004; Careglio et. al, 2016), que permitirán relevar parámetros locales de las geometrías ensayadas. Simular este ensayo, independientemente de si se trata del tipo convencional ó real (Callister & Rethwisch, 2023; Askeland & Wright, 2022), implica tener en cuenta dos comportamientos bien diferenciados, análogamente a lo que sucede en el caso experimental. En el primero de ellos, la distribución de tensiones y deformaciones en la probeta es homogénea; mientras que en el segundo, se produce la localización de las deformaciones en la zona central y el estado de tensiones deja de ser homogéneo, apareciendo un cuello o estricción en la zona central de la misma (Bridgman, 1944; Davidenkov & Spiridonova, 1946). Asimismo, existen diferentes factores que pueden afectar los resultados, tales como distintas geometrías e imperfecciones (García Garino et. al, 2013; Careglio, 2017).

Por otro lado, el ensayo de tracción constituye una herramienta pedagógica indispensable que permite comprender de manera práctica conceptos teóricos y desarrollar habilidades experimentales. Lo anterior conlleva que, el mismo, constituya una herramienta fundamental para la formación relativa a la respuesta mecánica de materiales en carreras de ingeniería, con un Enfoque de Formación por Competencias y Aprendizaje Centrado en el Estudiante.

Cabe mencionar que, la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo, se encuentra actualmente en un proceso de transición de sus carreras de ingeniería a nuevos planes de estudios que sigan los Estándares de Acreditación de Segunda Generación, propuestos por el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería de la República Argentina (CONFEDI, 2018), adoptándose en dicha unidad académica un Enfoque de Formación por Competencias (Tobón-Tobón et. al, 2010) y Aprendizaje Centrado en el Estudiante a partir del presente año. Esto implica desde el punto de vista institucional, entre otras cosas, incrementar las horas de formación práctica en áreas tales como la mecánica de materiales, lo que a su vez hace necesario incorporar nuevas herramientas que permitan movilizar e integrar saberes en dicha área a los futuros profesionales de la Ingeniería. Adicionalmente, los nuevos

planes de estudios de la citada facultad promueven en forma específica la apoyatura de entornos virtuales de aprendizaje para los espacios curriculares de modalidad presencial.

Con el desarrollo del presente trabajo se espera contribuir a la formación por competencias en el área de mecánica de materiales, movilizándolo e integrando saberes en esta área en específica; empleándose para ello herramientas virtuales de aprendizaje a través del uso de simulaciones numéricas. En particular, se presenta la simulación numérica mediante elementos finitos del problema de tracción simple, llevadas adelante por un estudiante de grado, para el caso de diferentes geometrías planas y distintos materiales, utilizándose como un recurso didáctico complementario para la enseñanza de la mecánica de los materiales.

2. COMPRENSIÓN DEL CONCEPTO DE COMPETENCIAS EN EL ÁMBITO ACADÉMICO EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS.

La formación por competencias en el ámbito de la ingeniería ha ganado un lugar preponderante en la educación superior, gracias a su capacidad para preparar a los futuros ingenieros en el desarrollo de habilidades integradas y orientadas a la resolución de problemas. A diferencia de enfoques educativos tradicionales, donde el foco estaba en la acumulación de conocimientos teóricos, la educación por competencias pone el énfasis en la movilización de saberes en situaciones reales, donde los conocimientos, habilidades y actitudes se articulan para resolver problemas abiertos, contextualizados y complejos.

El concepto de competencia ha sido objeto de amplios debates, y no existe un consenso absoluto en torno a su definición en el ámbito académico. Sin embargo, según el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI, 2018), una competencia es la capacidad de articular eficazmente un conjunto de esquemas mentales y valores, movilizándolo en un determinado contexto para resolver problemas profesionales. Esto implica que la competencia no se reduce a conocimientos teóricos, sino que incluye la capacidad de actuar de manera eficaz en contextos reales y diversos, poniendo en juego los recursos disponibles.

Uno de los ejes fundamentales de la formación por competencias es la resolución de problemas profesionales, un proceso que requiere la aplicación de conocimientos y habilidades en contextos específicos. En la ingeniería, los problemas que los egresados enfrentan son, en su mayoría, situaciones complejas, dinámicas y contextualizadas, que no pueden resolverse únicamente con soluciones memorizadas o predefinidas. El entorno en el que trabajan los ingenieros cambia continuamente, lo que exige un enfoque flexible y adaptable, capaz de integrar y movilizar conocimientos de diferentes áreas de la disciplina.

Para lograr que los estudiantes desarrollen estas competencias, la formación debe proporcionar oportunidades para que enfrenten situaciones reales y complejas desde el ámbito académico. En este sentido, la educación por competencias prepara a los ingenieros para manejar la incertidumbre, adaptarse a cambios y tomar decisiones eficaces. Esto requiere no solo la capacidad técnica, sino también el desarrollo de habilidades blandas como el trabajo en equipo, la toma de decisiones rápidas y la gestión del tiempo.

Un aspecto clave en la formación por competencias es la capacidad de los estudiantes para movilizar diversos saberes (saber, saber hacer, saber ser) en situaciones específicas. La competencia se demuestra a través de la actuación eficaz en un contexto real, donde los recursos que el profesional emplea no se utilizan de manera fortuita, sino con un propósito claro y orientado a la resolución del problema.

Guy Le Boterf (2010) sostiene que un profesional competente es aquel que, frente a una situación determinada, puede movilizar una combinación adecuada de recursos: conocimientos, habilidades técnicas, razonamientos, actitudes y comportamientos. La disposición de estos recursos es condición necesaria, pero no suficiente para ser considerado competente. El verdadero desafío está en la movilización efectiva de estos recursos, un aspecto que diferencia a los profesionales competentes de aquellos que solo acumulan conocimientos.

Este enfoque rompe con la lógica educativa tradicional, en la que se enseñaban conocimientos de manera aislada. En la formación por competencias, los saberes deben articularse e integrarse en la resolución de problemas profesionales. La propuesta pedagógica de una asignatura debe diseñarse en función de las competencias que se espera que los estudiantes adquieran, y las actividades de aprendizaje deben estar alineadas con este objetivo, proporcionando experiencias que exijan la movilización y la integración de los distintos recursos.

Otra característica esencial de la formación por competencias es la necesidad de una evaluación continua, en la que se valore no solo el dominio de los conocimientos teóricos, sino también la capacidad del estudiante para movilizar esos conocimientos en situaciones reales. La evaluación debe estar diseñada para integrar momentos en los que los estudiantes enfrenten situaciones problemáticas que exijan la movilización de recursos de manera eficaz.

Esto supone un cambio significativo en la forma en que se mide el aprendizaje. No se trata de evaluar únicamente la capacidad de los estudiantes para memorizar y reproducir conocimientos, sino de generar instancias en las que los futuros ingenieros demuestren su capacidad para integrar y articular sus saberes en contextos dinámicos. Así como se evalúa el dominio de los recursos, es igualmente necesario programar situaciones donde se ponga a prueba la competencia en su totalidad.

Los ingenieros formados bajo este enfoque son profesionales integrales, preparados para participar activamente en la transformación de la sociedad. Este modelo educativo prepara a los estudiantes para ser agentes de cambio, capaces de actuar en contextos reales y complejos, y de responder a los desafíos dinámicos que plantea la práctica profesional en la ingeniería.

Atendiendo a lo expresado con anterioridad la formación por competencias representa una transformación en la educación de los ingenieros, en donde el foco de atención es el estudiante que se encuentra inmerso en un proceso de enseñanza-aprendizaje basado en la resolución de problemas reales, abiertos y contextualizados. De este modo se promueve una articulación dinámica entre los saberes técnicos y las habilidades blandas preparando a los futuros profesionales para actuar de manera eficaz en su campo de profesional.

Además, este modelo educativo proporciona una formación equilibrada, en la que el saber, el saber hacer y el saber ser se articulan para formar profesionales completos. Los ingenieros no solo deben ser capaces de manejar herramientas técnicas, sino también de actuar en contextos dinámicos, tomando decisiones y resolviendo problemas con eficiencia técnica y económica sin descuidar los aspectos sociales y ambientales pertinentes. Este enfoque asegura que los egresados no solo estén técnicamente capacitados, sino también preparados para enfrentar los retos de un entorno laboral en constante cambio, siendo protagonistas del progreso social y económico.

3. SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL ENSAYO DE TRACCIÓN SIMPLE

Para llevar adelante los experimentos numéricos se emplea el Método Elementos Finitos (Zienkiewicz & Taylor, 1991), el cual es adecuado para simular problemas de mecánica del continuo como el del ensayo de tracción simple. Dado que la simulación del ensayo completo desde el estado final de carga

hasta la fractura requiere de formación que va más allá a la presente en los planes de estudio de grado, es que para este trabajo se considera solamente el régimen elástico lineal del problema (Malvern, 1969). Por ejemplo, para simular e interpretar los resultados del ensayo completo se debería tener cierta formación en cinemática de grandes deformaciones (Malvern, 1969) como así también en los diferentes tipos de leyes de endurecimiento que existen para representar la respuesta mecánica del material.

En este trabajo se consideran se consideran geometrías con dos imperfecciones diferentes. Antes de imponer las imperfecciones la geometría perfecta tiene una longitud de $l=60\text{mm}$ (Zhao et. al, 2010) con una relación $l/b=l/t=2$, siendo b y t el ancho y el espesor respectivamente. La primera imperfección (geometría 1) consiste en imponer a a geometría perfecta una imperfección dada por una variación lineal del ancho de la misma, con una reducción máxima del 0,5% en la zona central de la misma. La segunda imperfección (geometría 2) considerada corresponde a una entalladura (Zhao et. al, 2010) con un radio $r=5\text{mm}$. En la Figura 1 se muestra en líneas llenas la geometría con la entalladura.

Para ambas geometrías, dada la simetría existente, se considera para el modelo numérico 3D sólo una octava parte de las mismas. En la Figura 1 puede apreciarse sombreado la 1/8 parte considerada para la geometría con entalladura, junto con los ejes coordenados correspondientes.

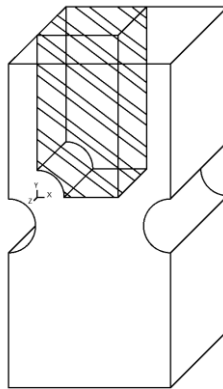


Figura 1 Geometría con entalladura y el 1/8 considerado para el modelo numérico.

En los dos casos la discretización espacial ha sido realizada con diez elementos en $l/2$, $b/2$ y $t/2$ respectivamente. La malla uniforme empleada para la primera geometría está constituida por 1000 elementos del tipo hexaedro, mientras que la segunda está formada por 2000 elementos del mismo tipo. En la Figura 2 se muestran las mallas de elementos finitos empleadas.

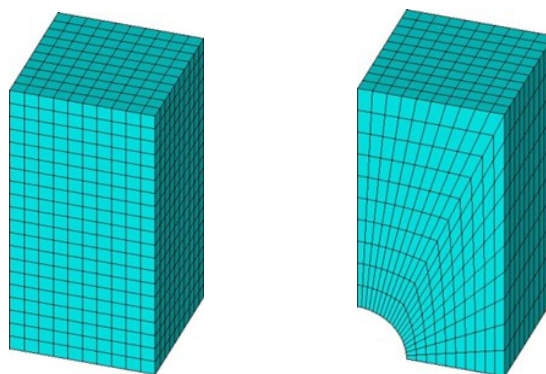


Figura 2 Mallas de elementos finitos para ambas geometrías.

Para satisfacer condiciones de simetría se impiden los desplazamientos u_x (coordenada $X=0$), u_y (coordenada $Y=0$), and u_z (coordenada $Z=0$) en los planos yz , xz , y xy , respectivamente. Para simular la tracción se aplican desplazamientos verticales u_y en la cara superior (plano xz) hasta alcanzar un valor de elongación del 0,5% de $l/2$ para el estado final de carga investigado.

Para los experimentos numéricos se emplean dos materiales lineales isótropos, el primero de ellos (material 1) con propiedades elásticas como las de un acero; mientras que el segundo (material 2) posee las propiedades de una aleación de alta entropía o HEA (Beyramali Kivy et. al, 2019) por sus siglas en inglés. Las HEA se encuentran caracterizadas en muchos casos por una gran resistencia mecánica y una alta dureza, entre otras propiedades que las hacen atractivas para la ingeniería. Sin embargo, al encontrarse entre materiales relativamente nuevos, no se conocen con exactitud muchas de sus respuestas frente a estímulos provenientes de la aplicación de carga o temperatura, etc. Desde el punto de vista de la formación por competencias se introduce este segundo material con el objeto de formar al alumno no sólo en materiales de uso amplio, sino también en aquellos que podrían ser de uso habitual en el futuro.

En la Tabla 1 se presentan tanto las propiedades del material 1 (Budynas, R. & Nisbett, J.,2012) como las del material 2 (Rodriguez et. al, 2021.), siendo E el módulo elástico y ν el módulo de Poisson.

Tabla 1 Propiedades elásticas del material 1 y del material 2.

Propiedad	Material 1	Material 2
E	207GPa	100GPa
ν	0,29	0,38

En las Figuras 3 y 4 se observa la configuración deformada junto con los contornos de deformación total de von Mises para ambas geometrías, mostrándose en cada una de estas figuras los resultados correspondientes material 1 a la izquierda y los del material 2 a la derecha. En todos los casos los valores de deformación corresponden al estado final de carga investigado. En particular, en la Figura 3 en los resultados correspondientes a la imperfección con variación lineal en el ancho, pueden observar algunas diferencias en la distribución de las deformaciones entre ambos materiales. Con respecto a la Figura 4, para la geometría con entalladura, puede observarse que la influencia de las propiedades del material en la distribución y penetración de las deformaciones son mayores en comparación a lo que ocurre con la geometría 1 (Figura 3).

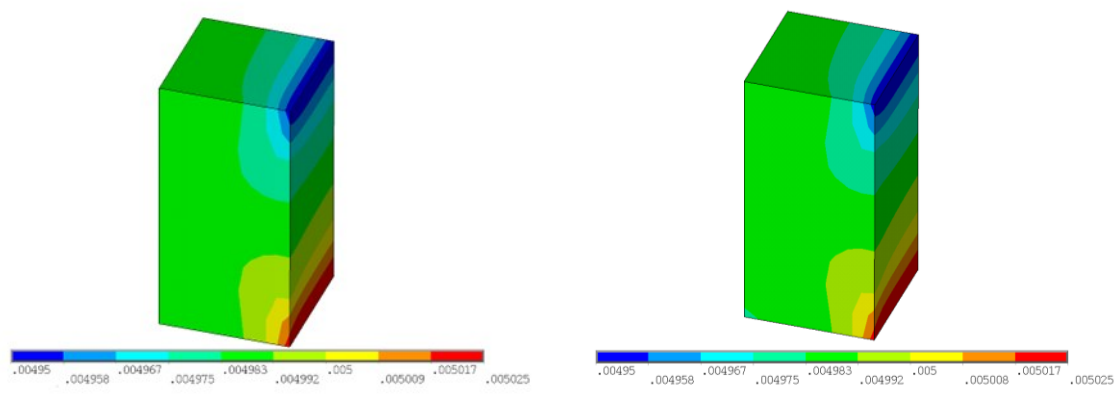


Figura 3 Contornos de deformación total para el material 1 (izq.) y 2 (der.) para la geometría 1 para el estado final de carga investigado

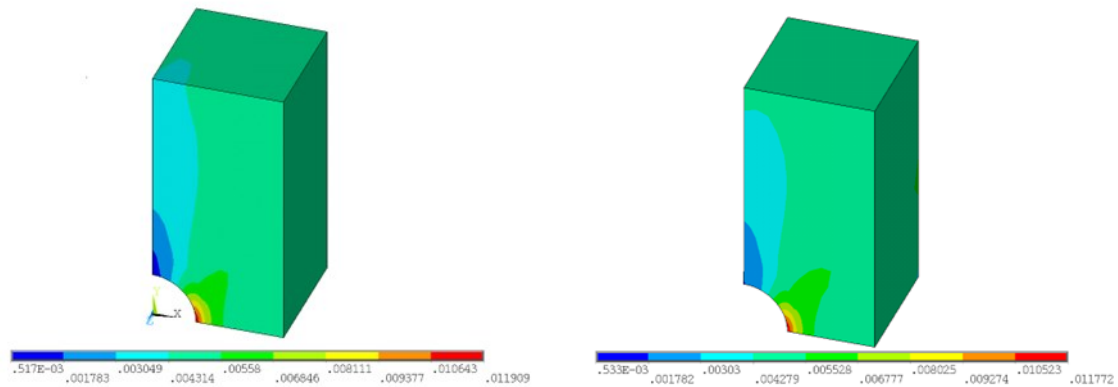


Figura 4 Contornos de deformación total para el material 1 (izq.) y 2 (der.) para la geometría 2 para el estado final de carga investigado

Para ahondar en el análisis anterior se comparan nuevamente los contornos de deformación de von Mises para ambas geometrías y ambos materiales para el mismo estado de carga que el anterior, pero desde el plano de simetría yz. En particular, la Figura 5 corresponden a los valores obtenidos para la geometría 1, mientras que los de la geometría 2 se muestran en la Figura 6. Con respecto a la Figura 5, si se compara un mismo valor en la coordenada Y, es decir en la altura, puede observarse que un mismo contorno de deformaciones se encuentran más desarrollado en el material 1 que en el 2 para un mismo valor de Y. Por otra parte, para la geometría 2 en la Figura 6, las diferencias entre ambos materiales son más apreciables que para el caso de la geometría 1, en cuanto a la distribución de los contornos de deformación entre los materiales 1 y 2; encontrándose más desarrollado el contorno el contorno de mayor deformación en el material 1 que en el 2. Además, si se compara un mismo material para la geometría 1 y 2 puede apreciarse, como era de esperarse, una mayor influencia de la imperfección de la geometría 2 en la forma y distribución de las deformaciones.

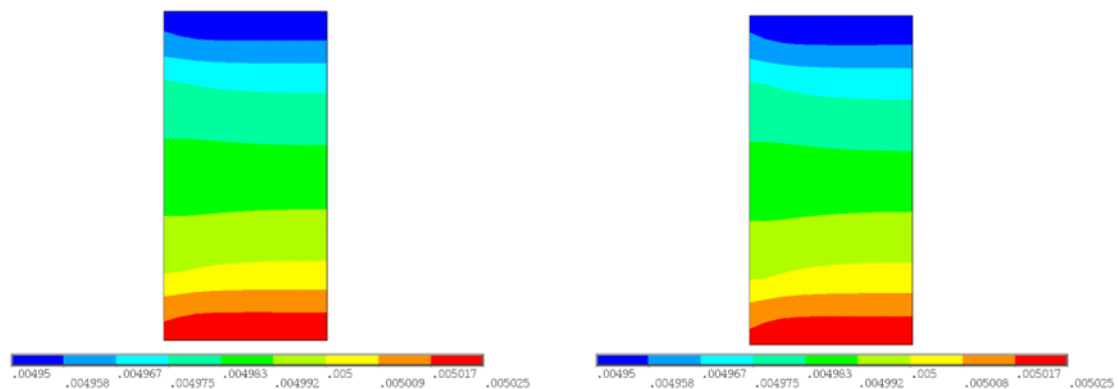


Figura 5 Contornos de deformación total en el plano de simetría yz para el material 1 (izq.) y 2 (der.) para la geometría 1 para el estado final de carga investigado

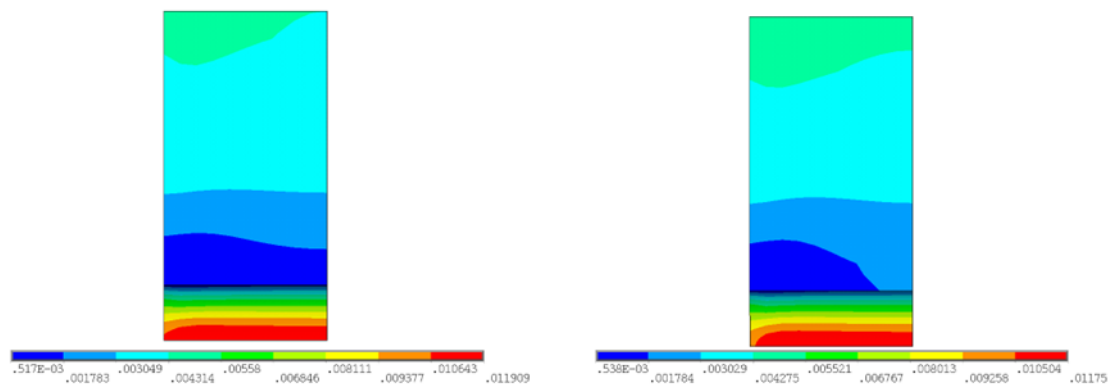


Figura 6 Contornos de deformación total en el plano de simetría yz para el material 1 (izq.) y 2 (der.) para la geometría 2 para el estado final de carga investigado

4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha simulado en régimen elástico el problema de tracción simple, como un medio para integrar conocimientos y complementar los saberes alcanzados en forma experimental; contribuyéndose a la mejora de la calidad educativa en la formación por competencias en carreras de ingeniería y en lo relativo a la enseñanza de propiedades mecánicas de los materiales. Cabe mencionar que, la metodología llevada adelante, es fácilmente escalable a un número mucho mayor de alumnos a través de un formato de trabajo práctico ó incluso a aprendizaje basado en proyectos abordado en forma de grupos para problemas más complejos.

En particular, se ha abordado la respuesta mecánica de diferentes materiales, como así también la influencia de distintas imperfecciones geométricas en dicha respuesta. Se han considerado materiales con distintos parámetros constitutivos; el primero de ellos, con propiedades de un material de uso habitual en la industria; mientras que el segundo posee propiedades de nuevos materiales que se están empezando a utilizar en aplicaciones de ingeniería.

Asimismo, para llevar adelante los experimentos numéricos se ha realizado también formación acerca de los conceptos principales del Método de Elementos Finitos y las etapas de preproceso, proceso y postproceso del mencionado método.

Por otra parte, puede mencionarse que las simulaciones como la realizada en el presente caso permiten a los estudiantes movilizar el saber de manera práctica dando la oportunidad de experimentar cómo los diferentes principios funcionan en situaciones realistas, lo que facilita la comprensión profunda de conceptos abstractos. Estas pueden recrear problemas complejos y contextualizados, lo que ayuda a desarrollar competencias en la toma de decisiones, análisis crítico y solución de problemas técnicos. Esto contribuye con el desarrollo de Habilidades de Diagnóstico y Experimentación donde los estudiantes pueden diagnosticar y probar soluciones a problemas sin las limitaciones del entorno físico, como el costo o el tiempo. Esto promueve el ensayo y error en un entorno controlado, lo que les permite aprender de sus errores y experimentar con diferentes enfoques sin riesgo.

Además, se encuentra presente la integración de saberes multidisciplinarios. Este tipo de prácticas permiten que los estudiantes combinen conocimientos de diversas asignaturas básicas (matemáticas,

física, química, etc.) y los utilicen de manera integrada en un solo escenario, promoviendo el desarrollo de competencias transversales y la habilidad de movilizar recursos de diferentes áreas.

Los estudiantes asumen un papel activo en su propio proceso de aprendizaje. Esto les permite desarrollar autonomía, ya que deben tomar decisiones por su cuenta, analizar sus resultados y ajustarlos en base a los errores o éxitos obtenidos. Este enfoque contribuye a que el estudiante sea el protagonista de su aprendizaje, una característica clave en la formación por competencias.

Las simulaciones de estas prácticas proporcionan un medio eficaz para evaluar competencias. Los docentes pueden observar cómo los estudiantes integran y movilizan conocimientos para resolver un problema simulado, lo que les permite evaluar de manera directa las competencias técnicas y habilidades blandas desarrolladas a lo largo de la carrera.

En un mundo cada vez más digitalizado, las simulaciones también desarrollan competencias relacionadas con el manejo de herramientas y software específicos de simulación utilizados en el campo de la ingeniería. Estas competencias son cada vez más relevantes en el ámbito profesional, donde la tecnología digital y los modelos virtuales son esenciales para la innovación y el desarrollo técnico.

Se puede decir que las simulaciones aportan una herramienta poderosa para el desarrollo de competencias en ingeniería, y la preparación de los estudiantes para enfrentar de manera eficiente los desafíos del entorno profesional.

Las actividades como la planteada en el presente trabajo permite plantear y experimentar con diferentes escenarios en la resolución de problemas, además de promover la toma de decisiones informada basada en resultados cuantitativos. Así, se desarrollan competencias no solo técnicas, sino también cognitivas y actitudinales, como la adaptación a entornos cambiantes y la capacidad de análisis crítico, elementos esenciales para los ingenieros en su futuro profesional. Las simulaciones numéricas permiten a los estudiantes enfrentarse a desafíos prácticos de manera flexible, mejorando su preparación para resolver problemas de manera eficiente.

5. REFERENCIAS

Ambriško, L., & Pešek, L. (2024). Non-contact evaluation of deformation characteristics on automotive steel sheets. *Metals*, 14(5), 566. <https://doi.org/10.3390/met14050566>

Askeland, D. R & Wright, W. J. (2022). *Ciencia e ingeniería de materiales: con base en el Sistema Internacional de Unidades (SI)*. Ciudad de México. Cengage Learning.

ASM (2000). *ASM Handbook: Mechanical testing and evaluation*. ASM International, 8.

Beyramali Kivy, M., Hong, Y., & Asle Zaeem, M. (2019). A review of multi-scale computational modeling tools for predicting structures and properties of multi-principal element alloys. *Metals*, 9(2), 254. <https://doi.org/10.3390/met9020254>

Bridgman P. W. (1944). The stress distribution at the neck of a tensile specimen. *Transactions of the American Society of Metals*, 32, 553–574.

Budynas, R. & Nisbett, J. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México D.F., Mc Graw Hill.

Cabezas E. E. & Celentano D. J. (2004). Experimental and numerical analysis of the tensile test using sheet specimens. *Finite Elements in Analysis and Design*, 40(5-6), 555–575. [https://doi.org/10.1016/S0168-874X\(03\)00096-9](https://doi.org/10.1016/S0168-874X(03)00096-9)

Callister, W. D. & Rethwisch, D. G. (2023). *Ciencia e ingeniería de materiales*. Barcelona. Reverté.

Careglio, C., Celentano, D., García Garino, C. & Mirasso, A. (2016). Global and local mechanical responses for necking of rectangular bars using Updated and Total Lagrangian finite element formulations. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016(1), 1729638, 1-12. 10.1155/2016/1729638. <https://doi.org/10.1155/2016/1729638>

Careglio, C. (2017). Respuesta mecánica global y local en problemas elastoplásticos con grandes deformaciones. Ph.D thesis, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.

Chakrabarty, J. (2006). *Theory of plasticity*. Oxford. Elsevier Butterworth-Heinemann.

Consejo Federal de Decanos de Ingeniería – CONFEDI (2018). Propuesta de estándares de segunda generación para la acreditación de carreras de Ingeniería en la República Argentina. Libro Rojo de CONFEDI, Giordano Lerena, R. y Cirimelo, S. (Editores). Universidad FASTA Ediciones. <https://confedi.org.ar>

Davidenkov N. N. & Spiridonova N. I. (1946). Analysis of the state of stress in the neck of a tension test specimen, *Proceedings of American Society of Testing Materials*, 46, 1147–1158.

Dieter, G. (1988). *Mechanical metallurgy, SI metric edition*. Series in Materials Science and Engineering. McGraw-Hill.

García Garino, C., Pacini, E., Monge, D., Careglio, C. & Mirasso, A. (2013). Computational mechanics software as a service project. *Journal of Computer Science & Technology*, 13(3), 160-166.

Le Boterf, G. (2010). *Repenser la compétence: pour dépasser les idées reçues: quinze propositions*. éditions Eyrolles.

Hosford, W. (2010). *Mechanical behavior of materials*. Cambridge. Cambridge University Press.

Irak, E. A. (2023). Developing the mechanical properties of bio-based films used in food packaging industry. Master thesis. Izmir Institute of Technology, Turkey. <https://hdl.handle.net/11147/14232>

Juwet, T., Luyckx, G., Lamberti, A., Creemers, F., Voet, E. & Missinne, J. (2024). Monitoring of composite Structures for re-usable space applications using FBGs: The influence of low earth orbit conditions. *Sensors*, 24(1), 306. <https://doi.org/10.3390/s24010306>

Li, Z., & Li, W. (2023). Study on tensile strain of carbon fiber triaxial woven fabric/thermoplastic polyurethane flexible textile composites. *Polymer Composites*, 45(3), 2337-2351. <https://doi.org/10.1002/pc.27923>

Malvern, L. (1969). *Introduction to the mechanics of a continuous medium*. New Jersey. Prentice-Hall.

Meyers, M. & Chawla, K. (2009). *Mechanical behavior of materials*. Cambridge. Cambridge University Press.

Needleman A. (1972). A numerical study of necking in circular cylindrical bar. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*. 20(2), 111–127. [https://doi.org/10.1016/0022-5096\(72\)90035-X](https://doi.org/10.1016/0022-5096(72)90035-X)

Raj, V.A., Sankar, K, Narayanasamy, P., Moorthy, I.G., Sivakumar, N., Rajaram, S.K., Karuppiah, P., Shaik, M.R., Alwarthan, A., Oh, T.H. & Shaik, B. (2023). Development and characterization of bio-based composite films for food packing applications using boiled rice water and pistacia vera shells. *Polymers*, 15(16), 3456. <https://doi.org/10.3390/polym15163456>

Rodriguez, S., Lang, E., Argibay, N., Kustas, A., Barrick, E., Jones, M., Arata, E., Walker, C., Monroe, G., Whetten, S., De Smet, D. & Lim, H. H. (2021). Application of refractory high entropy alloys for higher reliability and higher-efficiency Brayton cycles and advanced nuclear reactors. *Sandia Report*, SAND2021-11377. <https://doi.org/10.2172/1822585>

Shim, Y. D., Kim, J., Kim, C., Park, J., Yang, D. W., & Lee, E. H. (2024). Evaluation of mechanical properties considering uncertainties for hairpin coils in electric vehicle motor manufacturing. *IEEE Access*, 12, 45318-45330. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3380463>

Tobón-Tobón, S., Pimienta Prieto, J. & García Fraile, J. (2010). *Secuencias didácticas: aprendizaje y evaluación de competencias*. México. Pearson Educación.

Wilkins, M. L. (1968). Third progress report of light armor program. Lawrence Livermore National Laboratory. University of California. <https://apps.dtic.mil/sti/citations/AD1033497>

Zienkiewicz, O.C. & Taylor, R.L. (1991). *The Finite Element method*. McGraw Hill, 1-2.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo brindado a través del Proyecto Bienal B003-T1 de SIIP- Universidad Nacional de Cuyo. También agradecen a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo al proyecto Proyecto TIPO A (5A Mecatrónica).