

Recibido: Jul. 17, 2023 | Aceptado: Sep. 12, 2023 | Publicado: Oct. 17, 2023

Estudio simulación esfuerzos en acero AISI/SAE 1045 por medio modelación en SolidWorks

AISI/SAE 1045 Steel Stress Simulation study through modeling in SolidWorks

DOI: <https://doi.org/10.21803/ingecana.3.3.669>

Carlos Javier García Castellanos¹

Magíster en Educación y Entornos Virtuales de Aprendizaje. Ingeniero Mecánico, Docente, Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, jcastellano@itc.edu.co.
<https://orcid.org/0009-0009-0194-2714>

Resumen

El estudio de las propiedades mecánicas de los materiales es de importancia para la selección e implementación de estos a nivel de ingeniería, que se realizan con ensayos destructivos como el ensayo de tensión, temas que son abordados en la asignatura de Resistencia de materiales. Este proceso se puede simplificar por medio del uso de métodos de análisis de simulación realizado a partir de software de diseño 3D como, por ejemplo, SolidWorks, para validar el comportamiento de los materiales y así poder optimizar el diseño de los componentes, teniendo en cuenta los parámetros de caracterización de materiales basado en las normas técnicas respectivas. Para lo cual se propone el análisis del acero AISI/SAE 1045, realizado tanto de forma analítica como por la simulación en el software, donde por medio del análisis de los datos obtenidos de forma cuantitativa se logra demostrar la equivalencia de los resultados obtenidos en ambos casos.

Palabras clave: Ensayos mecánicos; Simulación; SolidWorks; Tensión.

Abstract

The study of the mechanical properties of materials is of importance for the selection and implementation of these at the engineering level, which are performed with destructive tests such as the tensile test, topics that are addressed in the subject of Strength of Materials. This process can be simplified using simulation analysis methods performed from 3D design software such as, for example, SolidWorks, to validate the behavior of the materials and thus be able to optimize the design of the components, taking into account the material characterization parameters based on the respective technical standards. For which the analysis of the AISI/SAE 1045 steel is proposed, performed both analytically and by simulation in the software, where by means of the analysis of the data obtained in a quantitative way it is possible to demonstrate the equivalence of the results obtained in both cases.

Keywords: Mechanical testing; Simulation; SolidWorks; Tension.

Cómo citar este artículo:

García, C. «Estudio simulación esfuerzos en acero AISI/SAE 1045 por medio modelación en SolidWorks». *Ingente Americana*, vol. 3, n°3, e-669, 2023. DOI: <https://doi.org/10.21803/ingecana.3.3.669>



Introducción

El uso de los programas de diseño 3D se ha masificado tanto en la academia como en la industria, permitiendo no solo la modelación de objetos 3D, sino el análisis de los esfuerzos y deformaciones generados en los mismos bajo unas condiciones determinadas de restricciones y cargas aplicadas simulando condiciones reales de operación, con el objetivo de poder evaluar su comportamiento antes de llevar a implementar el objeto que se está diseñando, proceso que se conoce con el nombre de Métodos de Elementos Finitos (MEF), el cual es una técnica numérica para resolver problemas de campo descritos por un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales [1], proceso que se puede usar dentro del aula de clase como parte de la demostración práctica del comportamiento de los materiales, como uno de los temas que se abordan en la asignatura de resistencia de materiales.

A partir del estudio de estas simulaciones se puede llegar a determinar si la pieza bajo las condiciones con las cuales se modeló, que incluye: la geometría, material, condiciones de operación, aplicación de cargas y restricciones de sujeción, está en la capacidad de soportar o no en el momento que se lleve a implementación en condiciones reales de operación, ahorrando no solo costos por posibles fallas del objeto, sino optimizando el proceso de diseño por medio de la optimización del modelo, garantizando las condiciones de operación.

Para lograr determinar el material adecuado para una pieza es necesario hacer el estudio de los materiales y su comportamiento ante la aplicación de cargas externas que tienden a modificar su estructura molecular física, tema que ha venido cobrando fuerza [2], debido a las exigencias actuales gracias a los avances tecnológicos que se vienen generando que requieren la construcción y uso de nuevos materiales que puedan cumplir con las condiciones de operación de éstas [3]. Para el cumplimiento de estas exigencias es de vital importancia establecer e identificar las propiedades mecánicas de los materiales, las cuales a pesar de la existencia de gran cantidad de materiales y en especial de aceros disponibles comercialmente, así como la documentación que brindan los proveedores en sus catálogos, la mayoría de esta información está basada solamente en datos teóricos, los cuales para “verificar de manera precisa es necesario realizar ensayos” [4], que son de tipo mecánicos-destructivos, como lo son los ensayos de tensión, compresión y flexión.

Los análisis por MEF permiten realizar estudios físicos de condiciones de operación, admitiendo determinar el comportamiento de las piezas, proceso que se realiza por medio de iteraciones en simulaciones computacionales, en lugar de hacerlo sobre pruebas físicas [5], lográndose la modelación y análisis de comportamientos a nivel estático. El MEF está configurado de tal forma que sustituya la pieza

a ser analizada por un modelo formado por líneas rectas o curvas conectadas en puntos comunes, llamados nodos [6] lo que se conoce a nivel de simulación como malla. Con esta modelación geométrica, el software realiza los estudios respectivos por elementos finitos simulando el comportamiento real de la pieza, permitiendo obtener los resultados con aproximaciones basados en datos que han sido establecidos de patrón para el análisis en condiciones reales de funcionamiento de los materiales que se usan en estos estudios, así como en los datos tomados desde las teorías existentes como soporte a los mismos.

MARCO TEÓRICO

Dentro de los análisis que se pueden llegar a realizar con estos ensayos, se tiene el análisis del esfuerzo, el cual se define “como la fuerza por unidad de superficie que soporta y se aplica sobre un cuerpo, es decir, es la relación entre la fuerza aplicada y la superficie en la cual se aplica.” [7] La fórmula es:

$$\text{Esfuerzo } \sigma_T = \frac{\text{Fuerza aplicada}}{\text{Área sobre la cual se aplica la fuerza}} \quad (1)$$

El efecto de la aplicación de este esfuerzo se ve reflejado en una deformación debido al hecho que todo material que esté expuesto a una carga aplicada se deformará indistintamente según su aplicación, [7], cuya fórmula es:

$$\delta = \frac{\text{Deformación lineal} - \delta}{\frac{\text{Fuerza aplicada} * \text{Longitud de la probeta}}{\text{Área donde se aplica la fuerza} * \text{módulo del material}}} \quad (2)$$

En este artículo se busca hacer la comparación de una pieza basado en un ejercicio típico que se trabaja en los temas que se abordan dentro de la asignatura de resistencia de materiales y validar la equivalencia y posibles desviaciones

que se puedan dar al momento de realizar el análisis en el programa de diseño 3D SolidWorks por medio de MEF el cual ejecuta un modelo matemático con elementos finitos bajo un lenguaje de programación computacional que permite obtener resultados de precisión [8], bajo las diferentes condiciones de carga que normalmente se analizan desde la teoría, con lo cual se busca presentar la precisión que tiene este tipo de programas al realizar el análisis de este tipo de ejercicios.

Todos los materiales se evalúan en sus propiedades mecánicas por medio de las curvas de esfuerzo – deformación, las cuales se tienen estimadas de forma teórica a partir de las diversas fuentes bibliográficas que se usan de soporte. Para los aceros estos valores no solo se han determinado de forma teórica, sino que se han realizado la obtención de forma experimental teniendo en cuenta las diferentes formas de presentación comercial e industrial. En la figura 1, se presenta el diagrama esfuerzo-deformación obtenido de forma experimental para el acero AISI/SAE 1045 de forma experimental [4]. En esta gráfica en el eje de Y o de las ordenadas se muestran los esfuerzos a los cuales fue sometido el material, mientras la deformación unitaria se presenta en el eje X o de las abscisas.

En la figura 1 se observa una zona de la gráfica que es lineal, en esta zona el material se comporta de forma elástica, es decir, que, al aplicarle un esfuerzo, el mismo tiende a deformarse, pero recupera su estado inicial al serle retirada la carga aplicada. En esta zona es donde se evalúa la deformación teniendo presente que la línea tiene una pendiente que se conoce como el módulo de Young o de elasticidad [9], que “es la propiedad que hace que un objeto, que ha sido deformado, regrese a su forma original después de que se han removido las fuerzas deformadoras” [10].

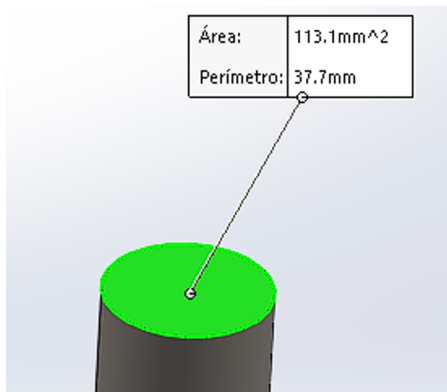


Fig. 3. Área transversal probeta calculada en SolidWorks.

Según las condiciones de la carga teórica aplica el esfuerzo normal generado para una fuerza de 30.000 N por ejemplo es de:

$$\sigma_T = 265,26 \text{ MPa}$$

Para el cálculo teórico de la deformación se tomó la fórmula de esfuerzo:

$$\delta = \frac{PL}{AE} \quad (5)$$

Donde para la longitud se estableció que la probeta tiene una longitud de 70 mm, que es la longitud efectiva que debe poseer la probeta según las especificaciones establecidas por la norma. Para el módulo de Elasticidad E por ser un acero según tabla 1 el módulo es de 200 GPa, dando una deformación de 0,0000928 m = 0,0928 mm.

Para el análisis se procedió a determinar las propiedades del material con el cual se va a analizar en el software.

En la simulación del esfuerzo mecánico de la probeta en el software, dentro de los parámetros de configuración requeridos se seleccionó las propiedades del material indicado del acero AISI 1045 un acero estirado en frío, cuyos valores preestablecidos por el programa de esfuerzo de

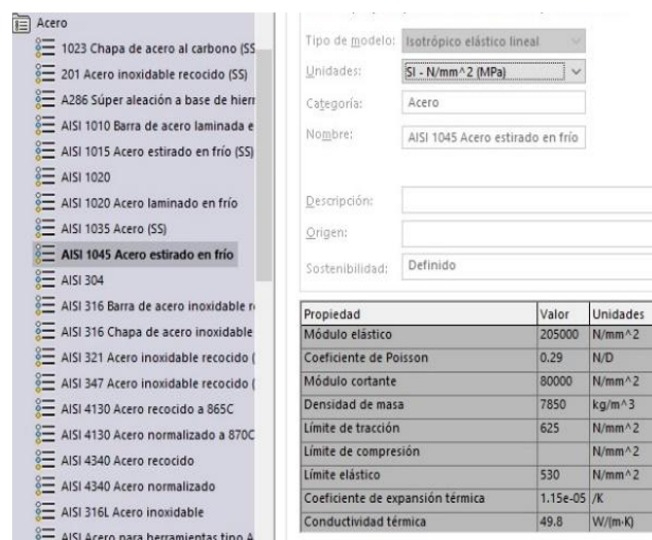


Fig. 4. Datos técnicos Acero AISI/SAE 1045 en SolidWorks.

fluencia, esfuerzo último, módulo de elasticidad, módulo de Poisson son equivalentes a los presentados en la tabla 1, información que se muestra en la figura 4. Al realizar una comparación entre dichos valores el error es de 4% en promedio respectivamente.

En el ensayo en físico la probeta debe tener las condiciones geométricas indicadas por la norma y se debe sujetar por ambos extremos al momento de ser montada en la máquina universal de ensayos para poder realizar el respectivo ensayo. En el modelado de la pieza CAD la misma se simplifica tomando solo la parte central de la probeta, la fijación se asume en un extremo, mientras que en el otro se aplica la

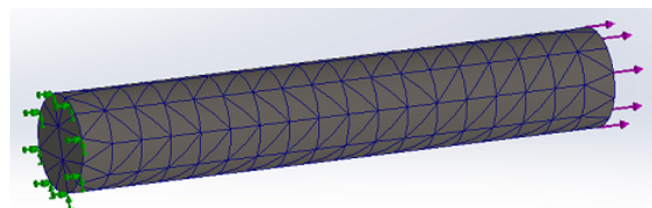


Fig. 5. Modelación probeta en SolidWorks

carga como se muestra en la figura 5.

En la configuración de la simulación dentro de SolidWorks la sujeción de la probeta se realiza por uno de los extremos con la restricción de geometría fija, la cual indica que la pieza en esta zona no va a tener ningún tipo de desplazamiento en ninguno de los planos cartesianos, cómo se muestra en la figura 6.

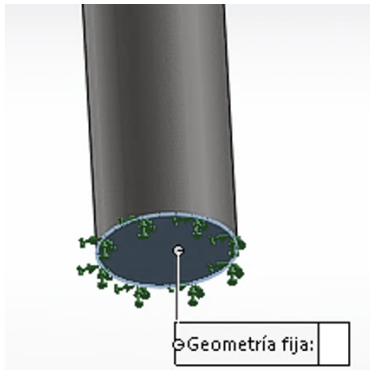


Fig. 6. Sujeción pieza simulación en SolidWorks.

La carga en la simulación para el ensayo de tensión se proyecta en el extremo opuesto de donde se sujeta la probeta, en estos ensayos la carga es normal a la cara transversal de la probeta en la configuración de la carga se debe establecer las mismas condiciones.

Luego de configurar el material, la sujeción y la carga, se procede a establecer las condiciones de la malla donde se divide la geometría en

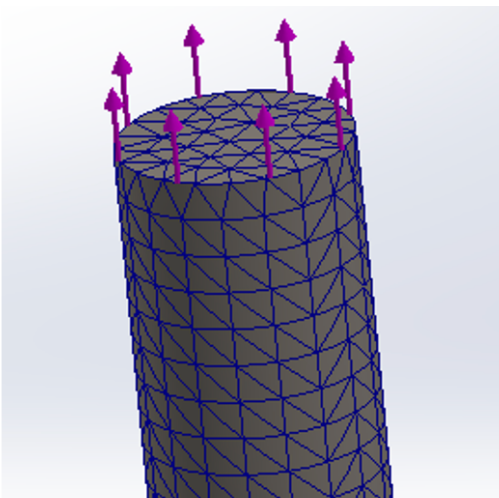


Fig. 7. Malla generada en SolidWorks

entidades relativamente pequeñas y en forma simple, llamados elementos finitos [4], teniendo en cuenta que la configuración permite ajustar las dimensiones de la triangulación usadas para modelar la pieza, para este ejercicio se dejan las condiciones de tamaño grande que usa el software, cómo se puede apreciar en la figura 7.

Teniendo definida la malla, se procede a simular el esfuerzo presentado en la probeta, por defecto el software entrega cómo resultados el análisis de esfuerzos, la deformación unitaria, la deformación del material, con estos valores se procede a realizar el respectivo análisis y comparación con los datos obtenidos de forma analítica.

Cómo parte de los resultados del estudio de simulación de la probeta a condiciones de carga propuesta de 30.000 N se presenta el resultado del esfuerzo generado en la figura 8, cuyo valor es de 273,51 MPa, los cuales se muestran en la parte inferior de la probeta en el punto donde se estableció la restricción de sujeción de esta, condición que restringe el movimiento en todas las direcciones.

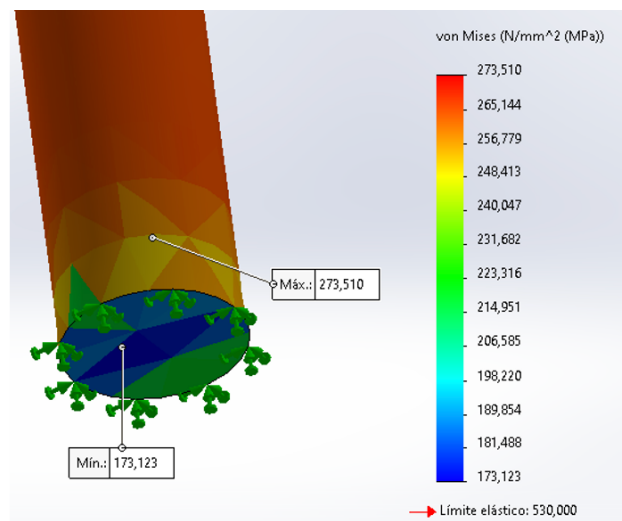


Fig. 8. Resultado esfuerzo generado en SolidWorks

RESULTADOS

Comparando el dato obtenido en SolidWorks con el valor calculado de forma analítica para el

esfuerzo generado en la probeta el porcentaje de error entre ambos valores es de 3.11 % de variación. Dentro de la información que toma como referencia el software y que se muestra en la figura 9 está el esfuerzo de fluencia que tiene como referencia para el material es de 530 MPa.

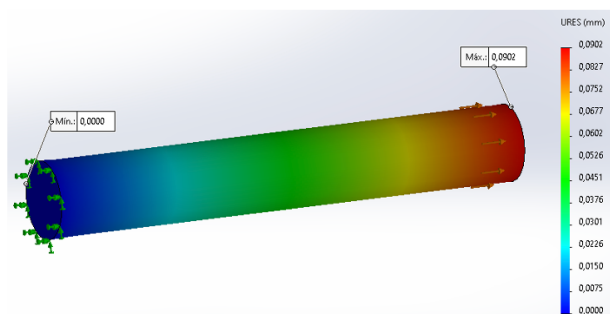


Fig. 9. Modelado de deformación probeta.

Con relación al resultado de la deformación en el modelado de la probeta en la figura 9, se muestra cómo el software realiza el proceso de deformación la cual se asume por el extremo donde se ha aplicado la fuerza en la pieza, deformación que el software asume una escala de deformación alta para que visualmente se pueda interpretar tanto por la escala de colores como por la interpretación del resultado obtenido, donde se evidencia la variación de la pieza teniendo en cuenta la posición de la punta respecto a donde están representadas las fuerzas aplicadas. Para la carga aplicada la deformación máxima obtenida en la probeta en la simulación según lo mostrado en la figura 10, es de 0,0902 mm.

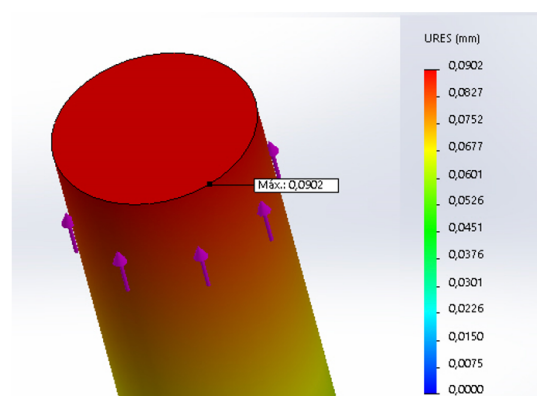


Fig. 10. Resultado de deformación generada en SolidWorks

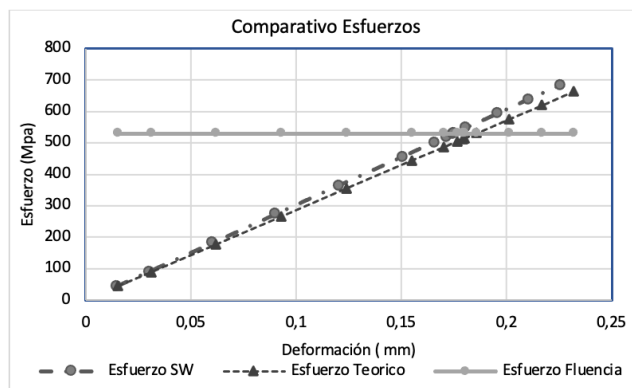


Fig. 11. Comparación de esfuerzos teóricos vs. esfuerzos en SolidWorks.

Al realizar un análisis detallado se obtiene la figura 11, donde se presenta la comparación entre el esfuerzo y la deformación, en la cual se presenta el resultado obtenido de forma analítica y por modelación MEF en SolidWorks para el rango de fuerzas dado entre 1.000 N a 75.000 N, donde se evidencia una desviación entre ambos valores de esfuerzos siendo mayor el esfuerzo obtenido por medio de la simulación en SolidWorks, en el mismo valor porcentual del 3.11%.

DISCUSIÓN

Para la realización del proceso de simulación del esfuerzo generado en la probeta en SolidWorks es fácil de realizar dado que los pasos para su modelación son sencillos y el tiempo de análisis es de un par de segundos teniendo en cuenta las condiciones de simulación de la probeta, así como la complejidad de la pieza que se está simulando, esto comparado con el tiempo requerido para realizar un ensayo físico en la máquina universal de ensayos adicional a que es necesario disponer de una probeta a la cual se le debe realizar el respectivo ensayo que por las condiciones de operación es un ensayo de tipo destructivo lo que implica una limitación ya que no es viable estar realizando el ensayo cada vez que se desee hacer el ensayo nuevamente.

Si se desea en SolidWorks se pueden ajustar los parámetros de referencia del material que se usan

para que el software realice el respectivo análisis de esfuerzos y deformaciones que se le pueden aplicar al modelo propuesto, teniendo en cuenta que estos valores son los que toma para hacer la simulación y generar los resultados solicitados, lo que se ve reflejado en el ejercicio realizado en la variación del 4% de los valores tomados como referencia.

Al comparar los cálculos teóricos con respecto a los resultados presentados por el software, la desviación en los valores es mínima, lo que permite ser usado este análisis de referencia para aplicar con otros materiales o dimensiones de la probeta, dado que el análisis que se genera es unitario, es decir, que es independiente de las dimensiones de esta, por lo que se puede aplicar a cualquier diseño en el cual se desee hacer la implementación del respectivo análisis.

Es necesario aclarar que en la configuración de la probeta para el desarrollo del ensayo, las tensiones máximas y la deformación que se genera se debe dar en la parte central de la probeta, donde se tiende a generar la rotura del material, condición que se da cuando se lleva a la condición máxima de rotura de la probeta, cuando el material se está comportando de forma plástica. Condición que, en el proceso de simulación por el MEF, desarrollado con el software SolidWorks, no se va a dar, ya que el mismo solo asume el comportamiento elástico del material hasta que llegue el punto de fluencia a partir del cual, aunque cómo se evidencia en la figura 11, sigue de forma lineal en la práctica el comportamiento ya no lo es.

La simulación CAD, con uso del análisis MEF permite realizar las iteraciones y ajustes de diseño, del modelo CAD, antes de ser implementado en lugar de realizar numerosas y costosas pruebas físicas, lo que ha generado ahorros en los procesos de producción [5] no solo a nivel de estudios prácticos, sino a nivel industrial donde es más crítico el impacto que se genera.

El uso del análisis MEF es una herramienta que facilita a los diseñadores e ingenieros la posibilidad de desarrollar pruebas sin tener que construir los modelos a escala, o prototipos, y saber con antelación el comportamiento del diseño y de su material [1], cómo se evidenció en el análisis desarrollado por la comparación de los datos obtenidos tanto de forma analítica como con el uso del software de diseño y de la herramienta de análisis FEM.

CONCLUSIÓN

Se puede evidenciar que el análisis realizado por medio de la modelación con SolidWorks es muy similar a los resultados obtenidos con el cálculo analítico, teniendo en cuenta el porcentaje de error calculado, lo que permite establecer que el resultado es significativo y se puede dar por aceptado como un resultado válido, por ende, se puede tomar como valor de referencia para ser usado en un estudio aplicado en condiciones reales de aplicación para el material en estudio, aclarando que el dato a ser analizado es únicamente válido en la zona elástica, es decir, por debajo del punto de fluencia.

El uso de los software de diseño 3D y en este caso de SolidWorks, permite que el estudiante realice análisis de diferentes ejercicios y diseños que requiera implementar como parte de las actividades que se desarrollan en la asignatura de Resistencia de materiales, buscando que tengan la capacidad no solo de hacer la modelación en el software, sino de hacer comparaciones de los resultados obtenidos con los cálculos analíticos propuestos en la teoría, logrando así tener la capacidad de toma de decisiones sobre las mejoras a realizar en las geometrías del perfil para garantizar no solo que tenga la resistencia de la pieza en condiciones reales de aplicación si se desea fabricar, sino poder hacer los cambios de material de tal forma que la misma trabaje en las condiciones más óptimas posibles no solo en la teoría sino en la práctica.

Este tipo de ejercicios permite que los

estudiantes fortalezcan la capacidad de análisis crítico y toma de decisiones que son unas de las competencias que cómo profesionales en ingeniería es necesario que desarrollen y no solo se queden en el manejo de una herramienta tecnológica, pero sin la capacidad de análisis de la información que la misma entrega teniendo en cuenta que los parámetros de referencia que se establecen para la simulación son establecidos por el usuario y no por el software.

El desarrollo de este tipo de actividades dentro del aula de clase como apoyo al proceso de formación de la resistencia de materiales aplicada a los conceptos específicos de la misma, permiten que el estudiante pueda “manipular la información recibida en el aula y resolver problemas de forma analítica y con ayuda del software de diseño SolidWorks, considerando la nueva concepción del aprendizaje que concibe al individuo como un ser activo que construye sus propios conocimientos del tipo declarativo, procedimental y actitudinal.” [13].

REFERENCIAS

- [1] O. González Woge, C.O. González Morán, A. López Chau, “Introducción al método del elemento finito: Solidworks y Matlab”. *Ideas en Ciencias de la Ingeniería*, [S.l.], v. 1, n. 1, pp. 27-47, jun. 2020.
- [2] A. I. Anaya, G. I. Cauich, O. Funabazama, y V. A. Gracia, “Evaluación de ecuaciones de factor de fricción explícito para tuberías”. *Educ. Quim.* v. 25, n. 2, pp. 128-134, 2014.
- [3] D. J. Durango, E. J. Herrera y N. E. Otero. “Diseño, construcción y validación del prototipo de una máquina para ensayos de resistencia de materiales”. *Ingeniería e innovación*, v. 3, n. 2. 2015.
- [4] F. Bolaños, J. Caicedo, C. Alfonzo, A. Santeliz y A. Porrello, “Evaluación del comportamiento mecánico de un acero AISI 1045 sometido a tratamientos térmicos”. *INGENIERÍA UC*, v. 25, n.1, 2018. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70757668013>
- [5] M. Flórez, R. Henao, F. Peña, S. Restrepo y M. Villegas, “Implementación de MEF para la mejora tecnológica del diseño de forja en caliente en Herragro S. A.”, 2014.
- [6] O. Cobos, J. Reyes y L. García, “Simulación térmica en cosmosworks de un acero sometido a un ensayo de templabilidad jominy”. *Scientia et technica*, v. 1, n. 35, pp. 231-236. 2007.
- [7] M. Carvajal, F. Silva y J. Villarroel, “Diseño e implementación de un sistema automático de ensayos de tensión para la máquina universal Tinius Olsen de la empresa CEDAL SA”. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. 2015.
- [8] A. S. Robles y J. P. Cadena, “Análisis por Elemento Finito de la Falla de un Enganche Agrícola”. *Revista Jóvenes en la Ciencia*, v. 4, n. 1, pp. 86-92. 2018.
- [9] E. Oxlaj Mejía, Estudio comparativo de las propiedades mecánicas del acero 1045 bajo las Normas ASTM E8, E10 y E23 mediante corte abrasivo y oxiacetileno. Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos, Ciudad de Guatemala, 2016.
- [10] J. A. Rayas, R. Rodríguez-Vera y A. Martínez, “Medición del módulo de Young en el hule látex usando ESPI”. *Revista mexicana de física*, v. 49, n. 6, pp. 555-564. 2003, [en línea]. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0035-001X2003000600011
- [11] R. M. Shotorbani, S. Hosseini, M. Morsali, A. M. Shotorbani, S. Nadimi y A. Anari, *Finite element analysis of chip formation process in orthogonal machining on steel AISI 1045*. Statistical and Computational Techniques in Manufacturing. Springer, pp. 104-144, 2011.
- [12] W. Pinzón y G. Ramos, Análisis de las propiedades mecánicas de tensión, tenacidad y dureza de un acero SAE 1045 mediante los procesos de tratamiento térmico de temple, criogenia y revenido. Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2017.
- [13] A. G. Vázquez, O. G. de la Rosa, H. G. de la Rosa, y L. Ceciliano, “Diseño de actividades experimentales utilizando simulación con Solidworks”. Memorias del Congreso Científico Tecnológico de las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Industrial y Telecomunicaciones, Sistemas y electrónica. Año. 2, n. 2, 2018.