

Análisis estático de sistema de fijación para asegurar centro en entornos cilíndricos

ING. CRISTIAN DANILO LEÓN USECHE ⁽¹⁾ ,
ING. LEONARDO ENRIQUE SOLAQUE GUZMÁN, PH.D ⁽²⁾

(1) tmp.cristian.leon@unimilitar.edu.co

(2) leonardo.solaque@unimilitar.edu.co

Grupo de Investigación GIDAM
Universidad Militar Nueva Granada

Análisis estático de sistema de fijación para asegurar centro en entornos cilíndricos

ABSTRACT

Palabras clave:

Deformación; eficiencia; elementos finitos; esfuerzo; factor de seguridad; fuerza; Torque

The aim of this paper is to analyze, the behavior of the bracket system for securing the center in cylindrical workspace. This is composed by a ball screw system, that converts the rotational motor movement in lineal movement present in a carriage mount over the screw. here we show a simulation on SolidWorks Software, where we work the static analysis based on finite elemnet analysis, for ensure the good performance of mechanism, and prevent materials fail.

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este documento es analizar, el comportamiento de un soporte de fijación para asegurar el centro en entornos cilíndricos, desarrollado por la Universidad Militar Nueva Granada. para este sistema de soporte se estableció, el uso de un mecanismo tuerca-tornillo de bolas re-circulantes para generar el movimiento lineal necesario que actúa en la apertura o cierre del dispositivo. Se dispone a realizar el análisis estático estructural por medio, del complemento Simulation, usado en el software CAD SolidWorks, el cual se basa en un análisis por medio de herramientas de elementos finitos, que aseguran el buen trabajo del robot, así evitando fallas estructurales o de material.

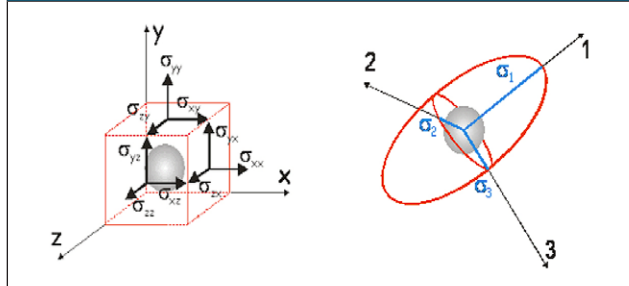
El análisis de elementos finitos, comúnmente llamado FEA (Finite Element Analysis) por sus siglas en ingles, es un análisis por métodos numéricos, el cual es usado para resolver problemas en muchas disciplinas de la ingeniería, tales como diseño de máquinas, dinámica de fluidos, entre otros[1].

En ingeniería mecánica, FEA es muy usado para la solución de estructuras, vibraciones y problemas térmicos.

SolidWorks Simulation es una implementación de FEA capaz de resolver problemas comúnmente encontrados en la ingeniería de diseño, tales como análisis de desplazamientos, esfuerzos, frecuencias naturales, vibración, flujo de calor, y entre otros. Este software nos da la facilidad de generar el estudio por medio de suposiciones dadas para el análisis, generando resultados que nos permite establecer si los materiales en el prototipo pueden tender a fallar, y así encontrar la mejor solución.

En el análisis del FEA, existen varios estudios disponibles, entre los cuales se encuentran los esfuerzos principales, factor de seguridad, el esfuerzo de Von Mises[2]. El esfuerzo de Von Mises, también llamado esfuerzo de Huber, es una medida de esfuerzo que implican todas las seis componentes del esfuerzo presentes en el espacio 3D (Figura 1a), el cual esta basado en la teoría de la energía máxima de distorsión [3].

Fig. 1. Esfuerzos, imágenes tomadas en [1]. A) Esfuerzos en el espacio 3D. B) Esfuerzos principales



Dos componentes del esfuerzo cortante y un componente del esfuerzo normal actúan en cada lado del cubo. debido a la simetría de esfuerzos cortantes, el estado general 3D de esfuerzos es caracterizado por seis componentes de esfuerzos σ_{xx} , σ_{yy} , σ_{zz} y $\sigma_{xy} = \sigma_{yx}$, $\sigma_{yz} = \sigma_{zy}$, $\sigma_{xz} = \sigma_{zx}$ como se muestra en la figura 1a.

El esfuerzo de Von Mises (σ_{vm}) puede ser expresado con las seis componentes del esfuerzo en 3D, como se muestra en la ecuación 3.

$$A = (\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2 \quad (1)$$

$$B = (\sigma_{xy}^2 + \sigma_{yz}^2 + \sigma_{zx}^2) \quad (2)$$

$$\sigma_{vm} = \sqrt{0.5A + 3B} \quad (3)$$

A su vez puede ser basado en el teorema de los esfuerzos máximos principales σ_1 , σ_2 , σ_3 [4] (Figura 1b) los cuales están dados en la ecuación 4.

$$\sigma_1 = \frac{1}{2} (\sigma_{xx} + \sigma_{yy}) + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + 4\sigma_{xy}^2} \quad (4)$$

Los esfuerzos σ_2 y σ_3 viene dado de las relaciones restantes, σ_{yz} y σ_{xz} .

El esfuerzo de Von Mises (σ_{vm}) se encuentra dado también por la ecuación 5.

$$\sigma_{vm} = \sqrt{0.5((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2)} \quad (5)$$

La deformación unitaria e es el cambio en el tamaño o forma de un objeto debido a esfuerzos presentes sobre el, que esta definido como el cambio de longitud con respecto a una longitud inicial, presente en la ecuación 6.

$$e = \frac{\Delta l}{l_{Inicial}} \quad (6)$$

El desplazamiento (URES) es la magnitud del vector \vec{U} o vector de desplazamientos, que esta compuesto por los movimientos en los tres ejes coordenados \vec{U}_x , \vec{U}_y y \vec{U}_z definida por la ecuación 7.

$$URES = |\vec{U}| = \sqrt{U_x^2 + U_y^2 + U_z^2} \quad (7)$$

El factor de Seguridad(FOS) esta dado a partir del criterio de falla del esfuerzo máximo de Von Mises, el cual esta dado por la ecuación 8.

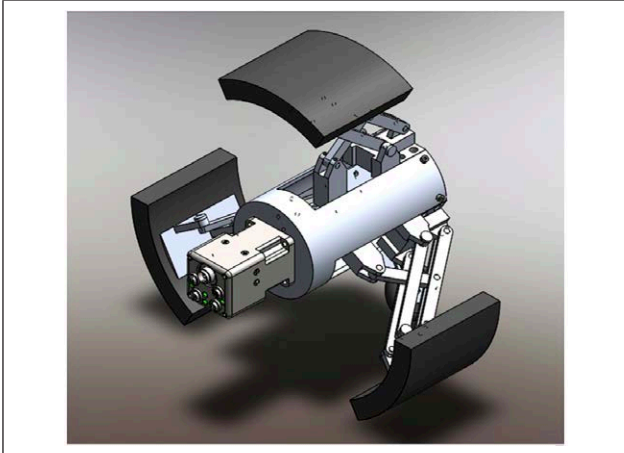
$$FOS = \frac{\sigma_{Limit}}{\sigma_{vm}} \quad (8)$$

donde σ_{Limit} es el esfuerzo en el limite elástico del material.

II. ELEMENTOS DEL PROBLEMA

Para el desarrollo del proyecto se determino el diseño de soporte de fijación mostrado en la figura 2.

Fig. 2. Diseño CAD Soporte Fijación. Imagen tomada de SolidWorks 2015

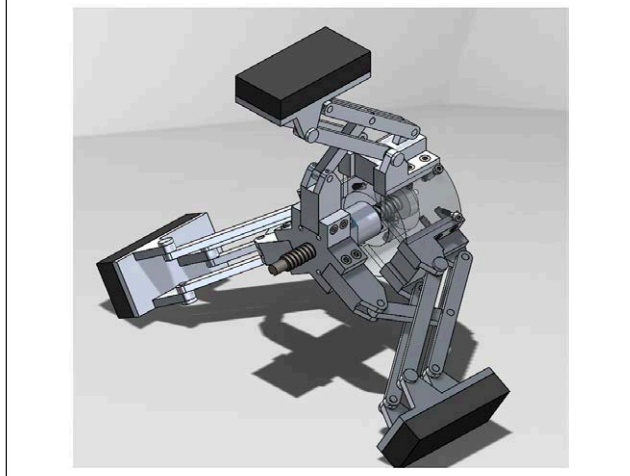


Este mecanismo funciona de tal manera que genera una apertura, en sus brazos lo cual le da la sujeción necesaria al entorno cilindrico. El sistema esta compuesto de 3 principales elementos:

- 1) Motor Rotacional Eléctrico.
- 2) Ensamble Tuerca-Tornillo.
- 3) Sistema de apertura Brazo.

Cada elemento de los anteriores cumplen con una función determinada que conllevan al movimiento del mecanismo. Una mejor percepción del funcionamiento se da en la figura 3.

Fig. 3. Soporte Fijación sin carcasa, Imagen tomada de SolidWorks 2015



A. Motor Rotacional Eléctrico

Para este elemento se dimensiono un motor TEKNIC de referencia CPM-MCVC-2331S-RLS (Figura 4), este motor cuenta con las siguientes características principales necesarias para este estudio[5]:

- Torque Nominal: 0.88 Nm

B. Ensamble Tuerca-Tornillo

El elemento a trabajar es un mecanismo Tuerca-Tornillo de bolas re-circulantes del fabricante THK con referencia BTK_1404V-3_6_ZZ (Figura 5), cuenta con las características mostradas en [6], en la cual la mas relevante es:

- Lead o avance: 4mm
- Eficiencia: 0.95

Fig. 4. Motor Teknic CPM-MCVC-2331S-RLS, Imagen tomada en [5]

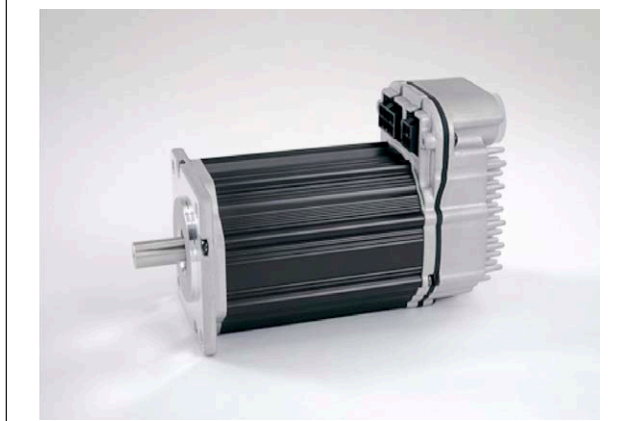
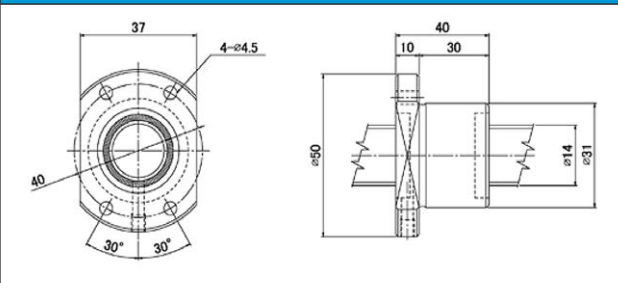


Fig. 5. Plano Tuerca-Tornillo de bolas re-circulantes BTK_1404V-3_6_ZZ. Imagen tomada en [6]



Este sistema realiza la conversión del movimiento rotacional, en movimiento lineal, el cual es transferido por medio de la tuerca al sistema de apertura brazo como se muestra en la figura 6.

Fig. 6. Modelo 3D Emsamble Tuerca-Tornillo. Imagen tomada en Solidworks 2015

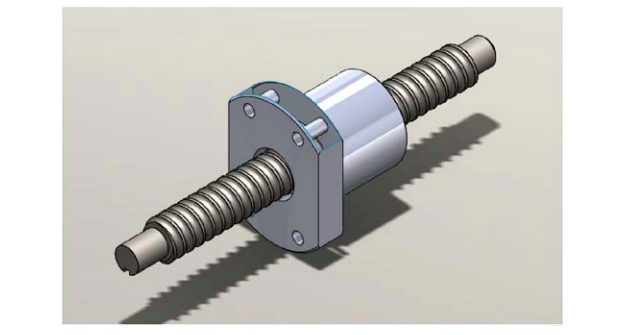


Fig. 7. Sistema de apertura brazo. Imagen tomada en SolidWorks 2015



C. Sistema de apertura brazo

Para el sistema de apertura se diseño el mecanismo mostrado en la figura 7, este mecanismo genera apertura con el movimiento lineal suministrado por la Tuerca de bolas recirculantes.

III. ANÁLISIS

Se realizan dos análisis principales, el primero de ellos con el torque máximo generado por el motor, y el segundo analizando el torque ejercido sobre este cuando se soporta todo el peso del robot.

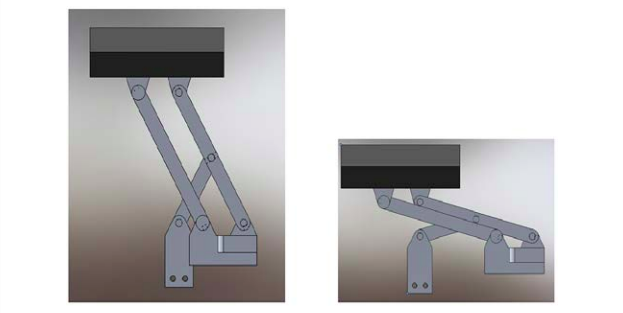
Sistema a analizar

Para realizar un estudio adecuado se debe simplificar el análisis, este se simplifico de forma tal que se realizara el análisis sobre los elementos en la figura 7, ya que sobre este mecanismo se reflejan las fuerzas mas importantes en este análisis.

En este análisis se tuvieron en cuenta dos casos:

- Cuando el mecanismo esta extendido en totalidad, es decir para un entorno cilindrico de diámetro aproximado de 18 pulgadas (Figura 8a).
- Cuando el mecanismo esta contraído en totalidad, es decir para un entorno cilindrico de diámetro aproximado de 12 pulgadas (Figura 8b).

Fig. 8. Sistema de análisis, Imágenes tomadas en SolidWorks 2015. A) Entorno de 18 in. B) Entorno de 12 in.

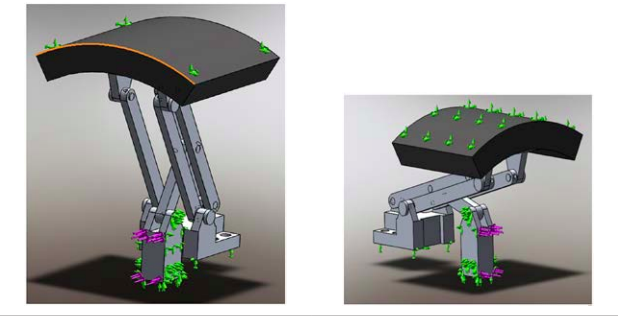


A. Análisis para Torque del Motor

Para poder efectuar el análisis, es necesario determinar las fuerzas involucradas en el, esto se define como el pre- procesamiento en FEA.

1) *Fuerzas:* Las fuerzas que se aplican es la fuerza lineal dada por el sistema de tuerca-tornillo previo, estas son determinadas por la flecha morada mostrada en la figura 9.

Fig. 9. Sistema de Análisis: Fuerzas Aplicadas, Imágenes tomadas en SolidWorks 2015. A) Entorno de 18 in. B) Entorno de 12 in.



Esta fuerza esta determinada por medio de F_a en la ecuación 9.

$$T = \frac{F_a l}{2\pi\eta} \quad (9)$$

Donde T es el torque aplicado al tornillo, que en este caso esta acoplado directo al motor, por consiguiente es el mismo torque en el motor presente en II-A. F_a es la fuerza lineal aplicada por el tornillo al sistema, misma fuerza aplicada al sistema de apertura. η Es la eficiencia del sistema en este caso es de l es el lead o paso de la tuerca presente en II-B.

Despejando F_a de la ecuación 9, y teniendo en cuenta los datos anteriores hallamos que la fuerza lineal aplicada por el sistema Tuerca-Tornillo es como se muestra en .

$$F_a = \frac{T(2\pi\eta)}{l} = \frac{0.8Nm(2\pi)(0.95)}{4 \times 10^{-3}m} = 1193.81N \quad (10)$$

2) *Sujeciones:* Se establecen unos tipos de sujeciones, las cuales nos restringen el movimiento en determinados ejes, para el objeto aplicado. estas se demuestran con flechas verdes como se presencia en la figura 9.

Como se evidencia se genera sujeción en la zona exterior, ya que se simula el contacto con el entorno cilindrico. A su vez se agrega en los soportes ya que estos están fijos en el chasis del robot, y por último en la que presenta movimiento ya que solo debe tener desplazamiento en dirección al eje de la tuerca.

B. Mallado

Para el análisis de elementos finitos, se debe desarrollar una malla, la cual esta dada por un número

de elementos y nodos[7], en el caso específico se trabajo con elementos de forma tetrahedica, como se muestra en la figura 10.

Fig. 10. Sistema de Análisis: Mallado, Imágenes tomadas en SolidWorks 2015. A) Entorno de 18 in. B) Entorno de 12 in.



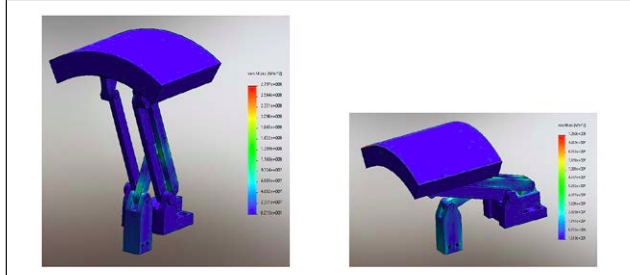
IV. RESULTADOS

A. Esfuerzo máximo de Von Mises

El esfuerzo máximo de Von Mises calculado para el ensamble, mostrado en la figura 11 esta dado en unidades de esfuerzo, exactamente en unidades de Newtons sobre metro al cuadrado $\left(\frac{N}{m^2}\right)$.

El rango de colores para la figura 11a es de 8.013×10^1 a $2.797 \times 10^8 \left[\frac{N}{m^2}\right]$, de azul a rojo respectivamente. Y para la figura 11b es de 1.519×10^1 a $1.050 \times 10^8 \left[\frac{N}{m^2}\right]$, de azul a rojo respectivamente.

Fig. 11. Esfuerzo de Von Mises, Imágenes tomadas en SolidWorks 2015. A) Entorno de 18 in. B) Entorno de 12 in.

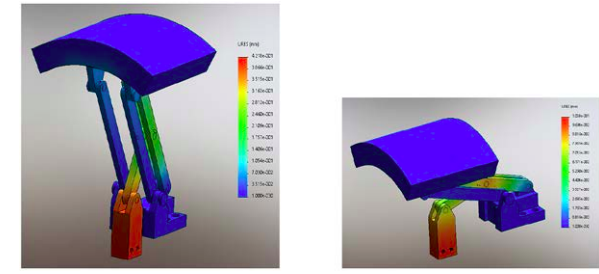


B. Desplazamiento URES

El desplazamiento resultante para el análisis, mostrado en la figura 12 esta dado en unidades de distancia, exactamente en milímetros (mm).

El rango de colores para la figura 12a es de 1.000×10^{-30} a $4.218 \times 10^{-1} [mm]$, de azul a rojo respectivamente. Y para la figura 12b es de 1.000×10^{-30} a $1.058 \times 10^{-1} [mm]$, de azul a rojo respectivamente.

Fig. 12. Desplazamiento Resultante, Imágenes tomadas en SolidWorks 2015. A) Entorno de 18 in. B) Entorno de 12 in.



C. Deformación Unitaria

La deformación unitaria calculado para el ensamble, mostrado en la figura 13 es una medida adimensional, ya que es una relación del cambio de longitud con respecto a la longitud inicial demostrada en la ecuación 6.

El rango de colores para la figura 13a es de 6.871×10^{-7} a 9.675×10^{-3} , de azul a rojo respectivamente. Y para la figura 13b es de 1.873×10^{-7} a 4.372×10^{-3} , de azul a rojo respectivamente.

Fig. 13. Deformación Unitaria, Imágenes tomadas en SolidWorks 2015. A) Entorno de 18 in. B) Entorno de 12 in.

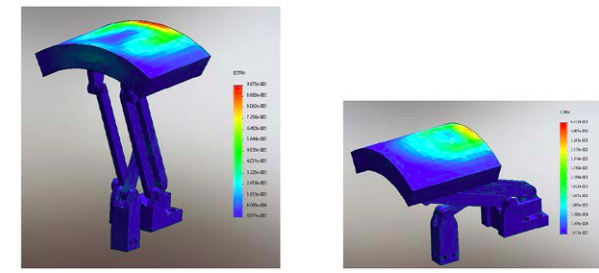
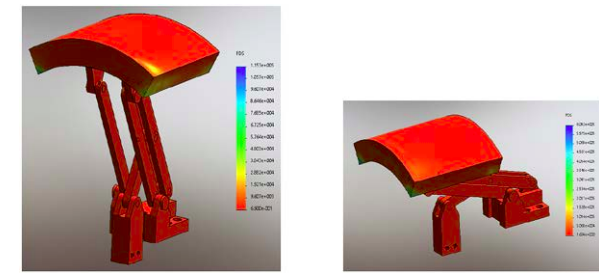


Fig. 14. Factor de seguridad, Imágenes tomadas en SolidWorks 2015. A) Entorno de 18 in. B) Entorno de 12 in.



D. Factor de seguridad

El factor de seguridad calculado para el ensamble, mostrado en la figura 14 es una medida

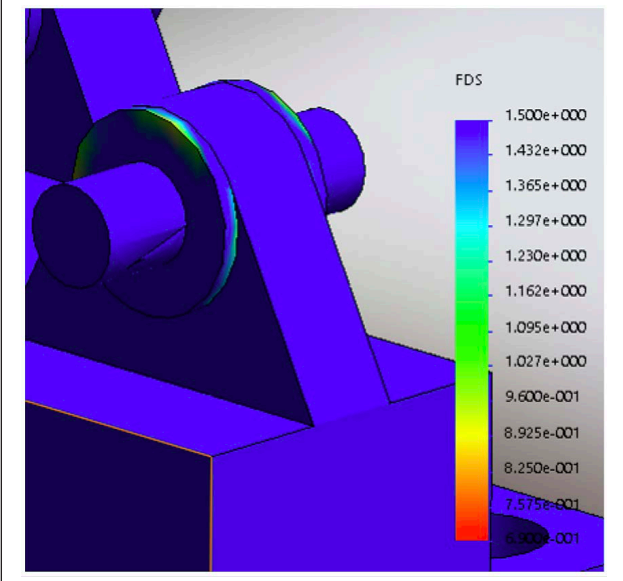
adimensional, ya que es una relación del esfuerzo máximo de Von mises presente en IV-A con respecto al esfuerzo limite elástico del material.

El rango de colores para la figura 14a es de 6.900×10^1 a 1.153×10^5 , de rojo a azul respectivamente. Y para la figura 14b es de 1.694×10^0 a 6.082×10^5 , de rojo a azul respectivamente.

Dado que en la figura 14a el factor de seguridad no supera de 1.5, que es el indicado para diseños, se filtra el estudio mostrando las partes que presentan un factor de seguridad menor a este valor, mostrado en la figura 15.

Se comprueba que el material seleccionado para estas arandelas son demasiado rígidos, lo cual es mejor cambiarlas por unas de un material mas dúctil.

Fig. 15. Sistema de apertura brazo, Imagen tomada en SolidWorks 2015



V. CONCLUSIONES

En el análisis y diseño de sistemas mecánicos es de gran importancia el estudio de los esfuerzos que serán soportados por el mecanismo, ya que por medio de este se evita que el mecanismo presente rupturas o grietas en sus piezas, que generan pérdidas en mantenimientos e inversión. Se demuestra que el factor de seguridad se ve fuertemente afectado por el aumento en las fuerzas aplicadas y en gran medida se ve influenciado en la posición del

mecanismo, ya que las fuerzas se distribuyen de diferentes maneras, para cada posición de este así como se muestra en la figura 14.

El esfuerzo de Von Mises es una medida de gran importancia en el análisis estático, ya que usa todas las componentes de esfuerzo presentes en un material, ocasionadas por fuerzas externas a él. Por medio de este se logra establecer, fallas en los materiales cuando el esfuerzo máximo de Von Mises no sea mayor al esfuerzo límite elástico del objeto a analizar como fue mostrado en la figura 11. La deformación unitaria nos permite tener la relación de cuánto se deforma un objeto.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está apoyado por el proyecto IMP-ING-1778 denominado "Diseño de un sistema para la preparación de suelo de forma automatizada para cultivos orgánicos dirigido a pequeños agriculto-

res", financiado por el vicerrectoría de investigación de la Universidad Militar Nueva Granada en Bogotá, Colombia.

REFERENCIAS

- [1] P. Kurowski, *Engineering Analysis with SolidWorks Simulation 2013*. SDC publications, 2013.
- [2] H. Ford and J. M. Alexander, *Advanced mechanics of materials*. Longmans London, 1963.
- [3] N. Perez, "Introduction to fracture mechanics," *Fracture Mechanics*, pp. 25–38, 2004.
- [4] J. Case and A. H. Chilver, *Strength of materials and structures: an introduction to the mechanics of solids and structures*. Elsevier, 2013.
- [5] TEKNIC. (2015, Julio) Cpm-mcvc-2331s-rls. [Online]. Available: <https://www.teknic.com/model-info/CPM-MCVC-2331S-RLS/>
- [6] THK. (2015, Junio) Btk 1404v-3.6. [Online]. Available: https://tech.thk.com/en/products/thk_cat_main_five.php?id=2596
- [7] H.-H. Lee, *Finite element simulations with ANSYS Workbench 14*. SDC publications, 2012.