ISSN 2520-9213
Revista UNIDA Científica
vol. 4 n° 2 (julio-diciembre) - 2020
http://revistacientifica.unida.edu.py/publicaciones/index.php/cientifica/index

ARTÍCULO ORIGINAL

Uso del material UTP y estimación de cargas para el diseño de una rueda UPTIS

Harley Davinson Aparicio Palomino[1*], **Arturo Moisés Flores Álvarez****[1]
[1] Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica, Grupo de Investigación Pumii. Lima, Perú. E-mail:* haparicio p@uni.pe, ** amfloresa@uni.pe

RESUMEN
El problema del impacto ambiental producido por la fabricación de ruedas en los rovers puede ser disminuido si se utilizan materiales reciclables durante la construcción de rovers espaciales. Este artículo trata sobre el diseño de una rueda de un rover, partiendo del análisis de Bekker para poder estimar el torque aplicado sobre la rueda para su diseño. Además, se trata el uso de materiales reciclables como el UTP, para la construcción de la rueda UPTIS se utiliza la tecnología FDM con impresoras 3D. La tecnología FDM se utiliza con impresoras 3D especializadas y termoplásticos de materiales compuestos de grado de producción para fabricar piezas resistentes y duraderas. El objetivo es comparar resultados de esfuerzos, desplazamientos, factores de seguridad y la ubicación de esfuerzos máximos en el mismo modelo de rueda comparando los materiales de aluminio y UTP. Se utiliza el programa Solidworks para el diseño en CAD de la rueda y se realiza una simulación con las cargas aplicadas en la rueda. Finalmente se concluye que la rueda deformable permite una mayor deformación que la rueda rígida, permitiendo más puntos de apoyo sobre una superficie. Se podría aumentar los puntos de apoyo y distribución de esfuerzos en la rueda al tener una mejor configuración interna de la rueda que le permita deformarse aún más.

Palabras Claves: Análisis de Bekker, tecnología FDM, TPU.

ABSTRACT
The problem of the environmental impact produced by the manufacture of wheels on rovers can be reduced if recyclable materials are used during spatial rovers construction. This article deals with the design of a rover wheel, based on Bekker's analysis to estimate the torque applied to the wheel for its design. In addition, we covered the use of composite materials for the construction of the UPTIS wheel using FDM technology with 3D printers. FDM technology used with specialized 3D printers and production grade composite thermoplastics to manufacture strong and durable parts. The main objective is to compare results of stresses, displacements, safety factors and the location of maximum stresses on the same wheel model comparing aluminum and UTP materials. The Solidworks program is used to CAD design the wheel and simulate the loads applied to the wheel. Finally, we conclude that the deformable wheel allows greater deformation than the rigid wheel, allowing more support points on a surface. It could increase the points of support and stress distribution in the wheel by having a better internal configuration of the wheel that allows it to deform even more.

Keywords: Bekker analysis, FDM technology, TPU.

[1] Correspondencia: haparicio p@uni.pe
Recibido: 30 de junio del 2020. Aceptado: 25 de setiembre del 2020.
Conflicto de Interés: Ninguna que declarar.
Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una Licencia Creative Commons.

INTRODUCCIÓN

Debido a una explotación descontrolada de los recursos naturales, actualmente se está adoptando por la búsqueda de nuevos materiales y procesos de fabricación que tengan un menor impacto ambiental. Con respecto a utilizar nuevos materiales y procesos de fabricación se encuentra ligado con la exploración marciana, en la construcción de rovers porque nos da una nueva alternativa en la forma de construcción, mediante el uso de UTP, un material reciclable y amigable con el medio ambiente. En este trabajo el tema de diseño es importante, debido a que se realiza un estudio de los esfuerzos, desplazamientos, factor de seguridad de una rueda UPTIS de material UTP para comparar con una rueda de aluminio.

El termino UPTIS es el nombre que se le dio a una rueda prototipo apta para todo tipo de vehículos que es aprueba de pinchazos hechos por la empresa Michelin. Este tipo de ruedas podría ser aplicado en los rovers. Sobre todo, por la característica más importante que es la deformación de la rueda para poder aptarse sobre suelos rocosos. Por lo tanto, en nuestro caso la llamaremos rueda deformable, así destacando la característica más importante.

El diseño de la rueda es de gran importancia para un adecuado desplazamiento del rover sobre la superficie marciana. Las ruedas tienen que soportar diferentes cargas al momento de desplazarse valiéndose del análisis de Bekker para estimación de estas cargas. También se considera las características de suelo, dichas características se encuentran asociadas a las cargas sobre la rueda. La adaptabilidad hacia la superficie que se desplaza el rover, la tracción de la rueda (empuje de parte del suelo) y las fuerzas resistivas del suelo son otros factores para el diseño de la rueda.

Los rovers utilizados en la exploración marciana tienen en cuenta todos los problemas de diseño antes mencionado. Las ruedas de estos rovers no son deformables, es debido a que se utilizan ruedas rígidas para superar superficies rocosas que desgastan las ruedas. Ejemplos de estas ruedas son del ExoMars, ruedas del Kapvik y ruedas del Curiosity. Debido a este hecho se plantea el uso de ruedas deformables que se adapten mejor a este tipo de terreno rocoso.

MATERIALES Y MÉTODOS

El nivel de investigación es descriptivo, exploratoria y correlacional. Descriptivo debido a que describe la problemática en el que se basa este trabajo, siendo esta la explotación de los recursos naturales para el desarrollo tecnológico y la investigación. Este tipo de desarrollo tecnológico está enfocado en el desarrollo de rover para la exploración marciana. Enfocándonos en el diseño y construcción de ruedas para rovers, proporcionando una nueva alternativa para el desarrollo de estos, mediante el uso de un material reciclable que es el UTP y deformable para un suelo rocoso.

Es correlacional, debido a que relaciona la variables independientes siendo esta la carga vertical que soporta la rueda, diámetro de la rueda, ancho de la rueda, el tamaño y la cantidad de garras en la rueda, los parámetros del suelo (cohesión del suelo, ángulo de fricción del suelo, exponente de deformación del suelo, módulo de fricción de deformación del suelo, módulo de cohesión de la deformación del suelo y los parámetros de Terzaghi, con las variables dependientes que son las fuerzas resistivas, empuje del suelo y torque sobre la rueda. Para esto nos basamos en el análisis de Bekker. Este análisis se basa en la caracterización del terreno para usar modelos de interacción rueda-suelo figura 1. La interacción rueda-suelo se usan para estimar parámetros físicos del terreno que son medibles o estimados como la cohesión del suelo y el ángulo de fricción, a partir de magnitudes conocidas como torque de la rueda y la carga vertical. En nuestro caso, ya se tiene conocido el tipo de suelo (El suelo VL2 de corteza crujiente es el ambiente de suelo más representativo para marte) y la carga vertical (la carga vertical es de 123 N) sobre la rueda, por lo tanto, el cálculo se da de modo inverso. Este torque calculado sería aplicado en la rueda para lograr su desplazamiento en función de las variables independientes antes mencionadas.

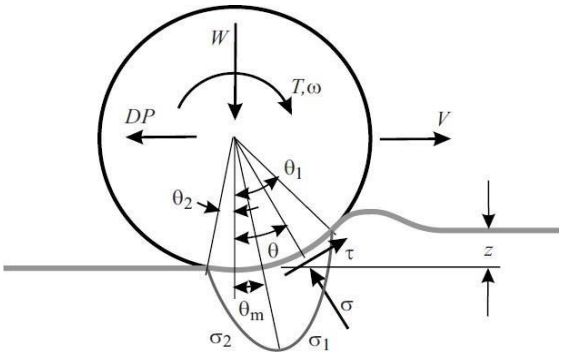


Figura 1. Diagrama de cuerpo libre de una rueda rígida en terreno deformable, usado en el análisis de Bekker.

Hay que mencionar que las ecuaciones planteadas en el análisis de Bekker están en formas de integrales. Por lo tanto, se necesitó encontrar la distribución de esfuerzos normales sobre la rueda como se muestra en la figura 1 en función del ángulo de contacto de la rueda y el suelo. Los esfuerzos normales pueden tener una aproximación a una forma lineal. La distribución de esfuerzos sobre diferentes tipos de suelos puede aproximar a una forma lineal (Lagnemma y Dubowsky, 2004). Dicha forma lineal se puede encontrar si se determina el esfuerzo máximo y el ángulo de contacto de la rueda y suelo. La ubicación de esta se puede considerar en la mitad del ángulo de contacto. Se muestra las medidas de la rueda que se tomaron en cuenta para el cálculo en la tabla 1.

Tabla 1. Dimensiones importantes en la rueda.

Dimensiones	
Diámetro (mm)	210
Ancho (mm)	100
Altura de la garra (mm)	5

En la tabla 2 se muestra las fuerzas presentes en la rueda, la fuerza vertical, torque sobre la rueda, resistencia del suelo a movimiento, empujes del suelo y *Draw pull*. Esta última es la cantidad de fuerza disponible para acelerar o tirar una carga, por lo tanto, a mayor *Drawbar pull*, mayor es la posibilidad de desplazamiento. Luego, se realiza un análisis estático, se ignora el análisis dinámico sobre la rueda debido que el rover se mueve lentamente aproximadamente a un 1m/s.

Tabla 2. Fuerzas presentes en la rueda.

Cargas	
Fuerza vertical (W)	123
Torque (N.m)	26
Resistencia del suelo a movimiento (N)	26
Empuje del suelo (N)	140
Drawbar pull (N)	114

RESULTADOS

Los resultados son de la simulación de la rueda UTP y la rueda de aluminio al someter a las cargas calculadas.

1.1. FUERZA VERTICAL

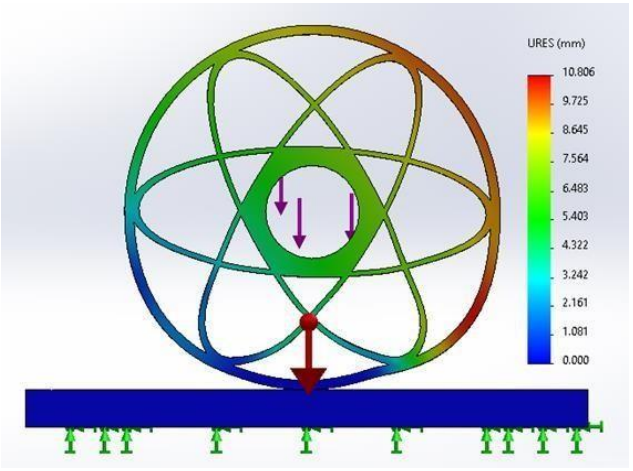


Figura 2. Desplazamientos en la rueda UTP debido a la carga vertical.

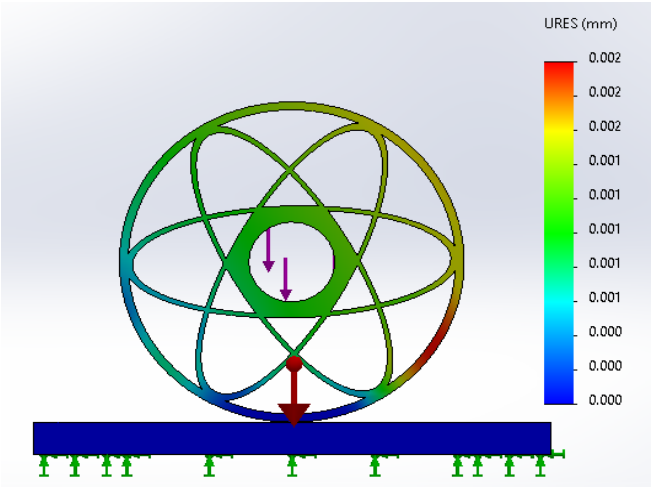


Figura 3. Desplazamientos de la rueda de aluminio debido a la carga vertical.

Con este primer resultado nos muestra una diferencia con respecto a los desplazamientos que se puede dar con el uso de diferentes materiales, este desplazamiento de da al aplicar una fuerza de 123 N.

1.2. TORQUE

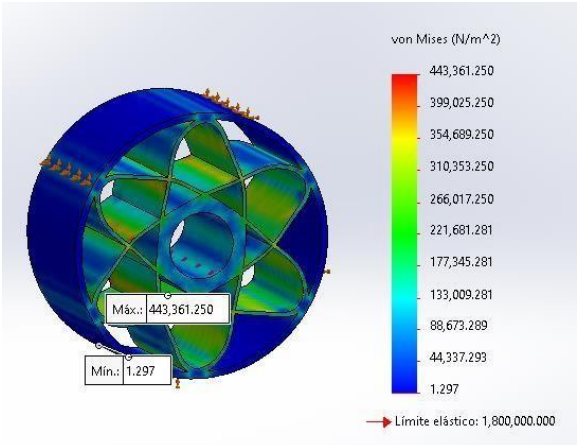


Figura 4. Esfuerzo de Von Mises debido al torque aplicado sobre la rueda de UTP.

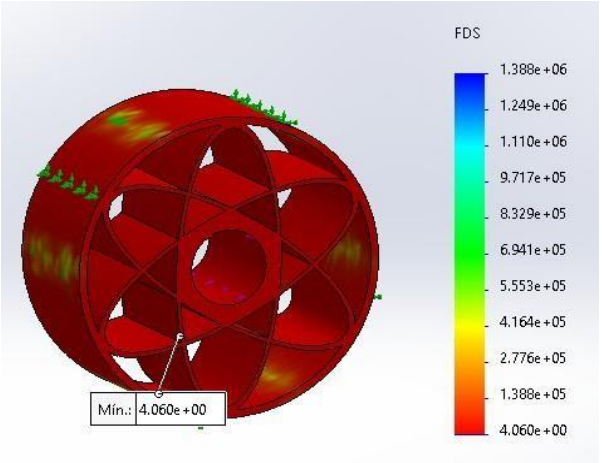


Figura 5. Factor de seguridad de la rueda de UTP.

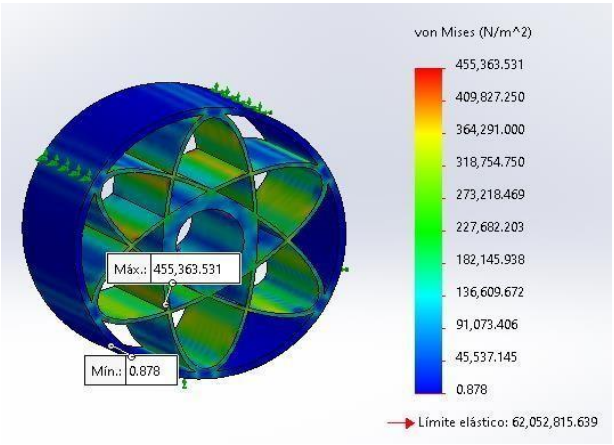


Figura 6. Esfuerzo de Von Mises debido al torque aplicado sobre la rueda de aluminio.

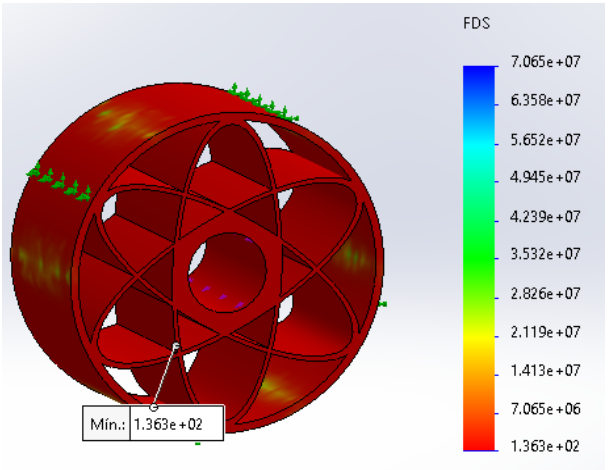


Figura 7. Factor de seguridad de la rueda de aluminio.

Los resultados muestran una los esfuerzos de Von Mises de las ruedas, dando en evidencia que ambos esfuerzos en los diferentes materiales tienen un valor alrededor de 450 KPa ubicándose en la misma posición. La diferencia más notable se da en factor de seguridad, para la rueda UTP el factor mínimo es de 4 y la de la rueda aluminio es de 272.

1.3. DRAWBAR PULL

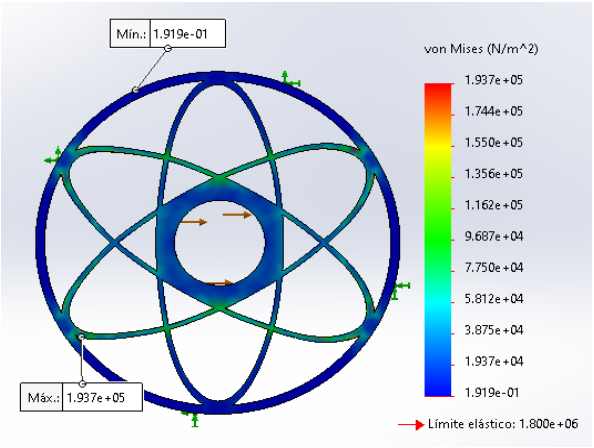


Figura 8. Esfuerzo de Von Mises debido al Drawbar Pull en la rueda de UTP.

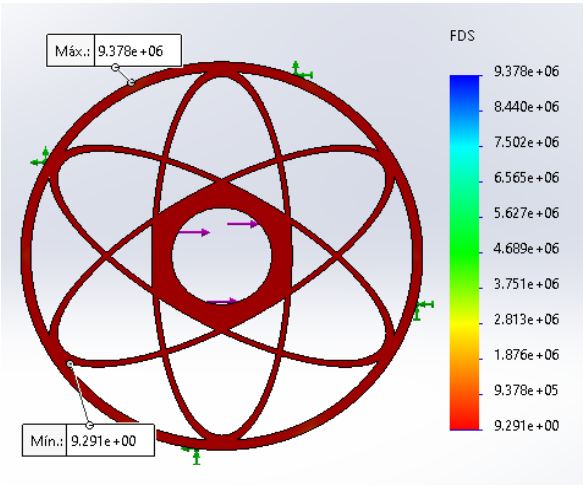


Figura 9. Factor de seguridad en la rueda de UTP.

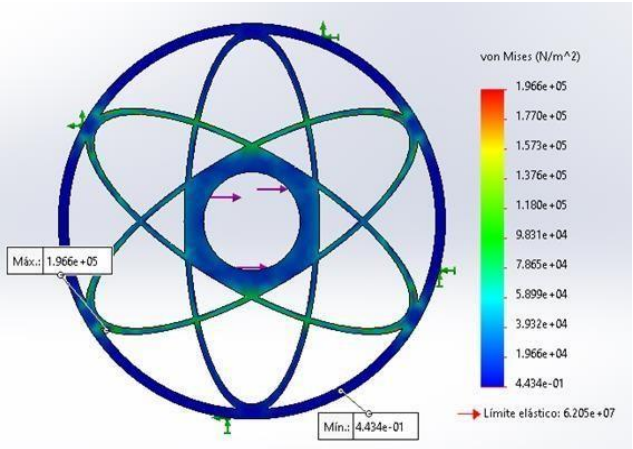


Figura 10. Esfuerzo de Von Mises debido al Drawbar Pull en la rueda de aluminio.

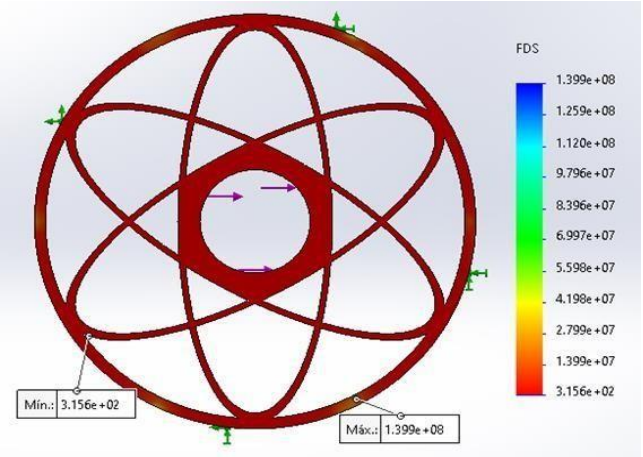


Figura 11. Factor de seguridad en la rueda de aluminio.

Los resultados muestran de los esfuerzos de Von Mises de las ruedas, dando en evidencia que ambos esfuerzos en los diferentes materiales tienen un valor alrededor de 200 KPa ubicándose en la misma posición en la rueda. La diferencia más notable se da en factor de seguridad, para la rueda UTP el factor mínimo es de 9.2 y la de la rueda aluminio es de 315.

1.4. RESISTENCIA DEL SUELO AL MOVIMIENTO Y EL EMPUJE DEL SUELO

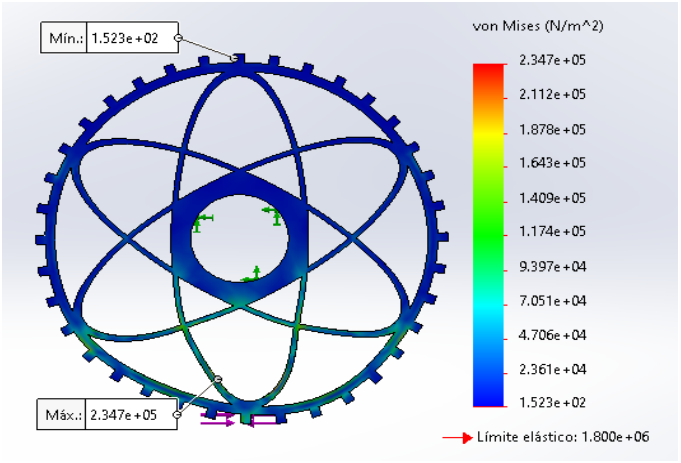


Figura 12. Esfuerzo de Von Mises debido a las fuerzas resistivas y el empuje del suelo en la rueda de UTP.

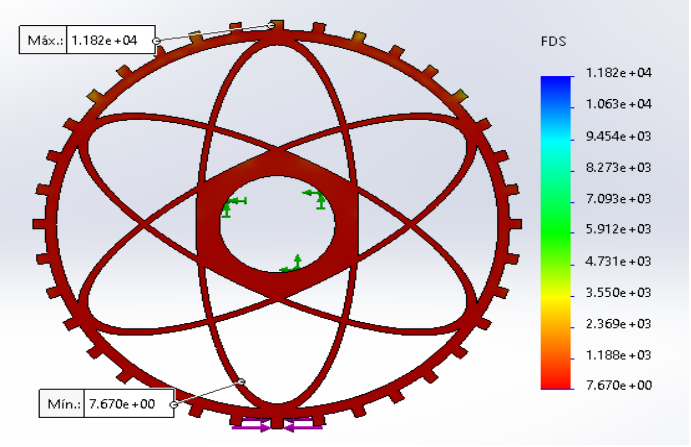


Figura 13. Factor de seguridad en la rueda de UTP.

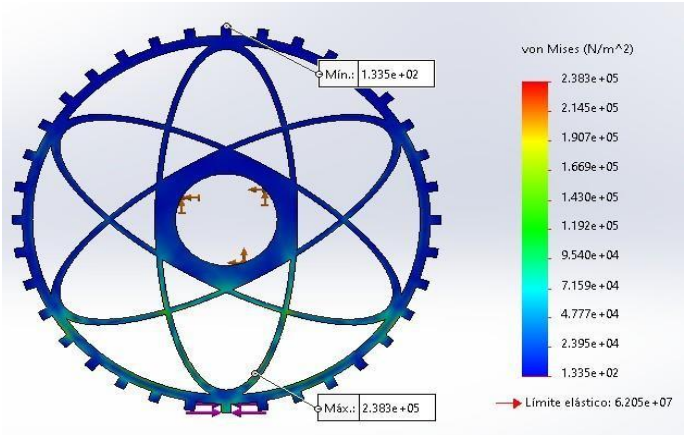


Figura 14. Esfuerzo de Von Mises debido a las fuerzas resistivas y el empuje del suelo en la rueda de aluminio.

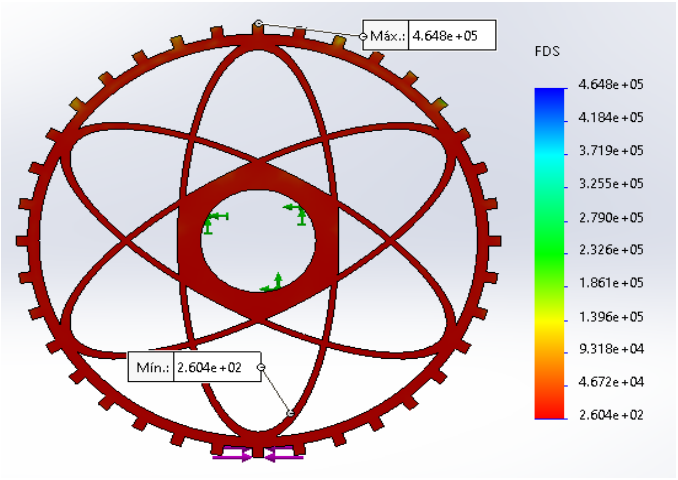


Figura 15. Factor de seguridad en la rueda de UTP.

Los resultados muestran de los esfuerzos de Von Mises de las ruedas, dando en evidencia que ambos esfuerzos en los diferentes materiales tienen un valor alrededor de 240 KPa ubicándose en la misma posición en la rueda. La diferencia más notable se da en factor de seguridad, para la rueda UTP el factor mínimo es de 7.6 y la de la rueda aluminio es de 216. Mencionar que las fuerzas resistivas están aplicadas sobre 3 garras que están en contacto con el suelo. Para simplificar el análisis se aplica la fuerza con un valor igual a la tercera parte de las fuerzas de resistivas y fuerzas de empuje sobre una garra, considerando que las fuerzas se distribuyen equitativamente sobre cada una de las garras.

Los resultados mencionados anteriormente nos dan en evidencia que la rueda de aluminio tiene una mayor resistencia para el soporte de cargas con respecto a la rueda de UTP, de la misma manera el factor de seguridad es mayor. Pero eso no significa que el UTP sea un material inadecuado para el diseño de la rueda, el factor de seguridad de la rueda UTP tiene un valor mínimo de 4.0 siendo este factor de seguridad muy bueno para el diseño de cualquier componente mecánico. Además, la ubicación de estos esfuerzos máximos en la rueda se da en lugares donde el desplazamiento de la rueda de UTP es mayor que en comparación con la rueda de aluminio. Recordando el hecho que el desplazamiento de dichos puntos sobre la rueda de UTP permite una mejor adaptación de la rueda en una superficie rocosa. A diferencia de una rueda rígida el cual el punto de aplicación de una fuerza de contacto podría ser una pequeña área, consiguiendo una concentración de esfuerzos en esa área de contacto.

DISCUSIÓN

La diferencia más notable con respecto a este trabajo a diferencia de otros estudios que se realiza para determinar las fuerzas que influyen en el desplazamiento de la rueda, es el uso de pruebas experimentales con diferentes tipos de suelo, con diferentes tipos de parámetros, para diferentes tipos de suelos rocosos, suelos inclinados, el uso de diferentes tipos de ruedas, con diferentes cantidades de garras y configuración en las garras presentes en la rueda. Pueden determinar con mayor exactitud las cargas que afectan a la rueda, usando diferentes tipos de sensores para sus pruebas experimentales. En esta investigación solo se determinó las cargas aplicadas sobre la rueda mediante una formulación matemática, que podrían no determinar de manera aproximada las cargas reales aplicadas, siendo esta su principal desventaja en comparación de pruebas experimentales que se podrían realizar en un laboratorio adecuado. El análisis de Bekker puede usarse para las cargas aplicadas sobre la rueda, pero solo de manera aproximada. Este análisis trae consigo una serie de parámetros diferentes que dificultan el proceso de cálculo.

Vale mencionar que algunas limitaciones en el análisis de Bekker no contemplan un modelo para el estudio de ruedas deformables sobre una superficie ya sea rocosa o la superficie sea deformables. El análisis de Bekker solo contempla un modelo para el estudio de ruedas rígidas sobre terrenos deformables. El análisis de Bekker solo se usó como punto de partida para este análisis de diseño.

CONCLUSIONES

Como punto de partida para un diseño de una rueda deformable, se debe probar con diferentes configuraciones interiores de la rueda. Al estudiar con diferentes configuraciones de la estructura interna de la rueda, se podrá saber cuál de todas ellas permite una distribución mejor de los esfuerzos y un mayor desplazamiento de los puntos de la rueda que aumenten las áreas de contacto con la superficie del suelo. El uso del análisis de Bekker para la estimación de cargas sobre la rueda es un buen punto de partida para el diseño de la rueda. Mediante el análisis estático se demuestra que la rueda deformable hecho del material UTP es adecuado para soportar cargas estimadas por el análisis de Bekker. Si bien es cierto la rueda del aluminio presenta mejor resistencia que la de UTP, la rueda de UTP tiene una ventaja el cual puede deformarse mucho más que la rueda de aluminio. Logrando así una mayor adaptabilidad sobre una superficie rocosa.

REFERENCIAS

Ellery, A. (2016). Planetary rovers-robotic exploration of the solar system. Ontario, Canada: Ottawa.

Lagnemma, K., y Dubowsky, S. (2004). Mobile robots in rough terrain-estimation, motion planning, and control with application to planetary rovers. USA: Cambridge.

Wong, J. Y. (2008). Theory of Ground Vehicles. Ottawa,Canada: Carleton University.