

## **Análisis de fatiga del sistema de suspensión de una bicicleta MTB de Epoxy Carbon mediante ANSYS**

Fatigue analysis of Epoxy Carbon MTB bicycle suspension system to thorough ANSYS

Análise de fadiga do sistema de suspensão de bicicleta Epoxy Carbon MTB para ANSYS completo

Alejandro Vera\*

---

### **Resumen**

El presente trabajo tiene como objetivo determinar el comportamiento modal por fatiga del sistema de suspensión de una bicicleta de montaña (MTB) usando como material fibra de carbón (Epoxy Carbon). Estos sistemas frecuentemente son fabricados de aluminio y es usual que se fracturen debido a los grandes esfuerzos en un proceso iterativo de carga y descarga que es habitual en las condiciones de uso diario de este tipo de bicicletas. Las simulaciones se realizaron con el software ANSYS que utiliza el método de elementos finitos en el procesamiento del análisis de fatiga. Los resultados indicaron que el factor de seguridad del Epoxy Carbon tiene valores más altos que el aluminio a medida que aumenta la carga remota tanto en análisis estático y de fatiga, además tiene un peso de 40,74% más ligero que el aluminio, por lo tanto, es una buena alternativa para usarlo en las bicicletas MTB.

**Palabras clave:** Sistema de suspensión; análisis de fatiga; elementos finitos; ANSYS.

---

### **Abstract**

The objective of this work is to determine the modal behavior for fatigue of the suspension system of a mountain bike (MTB) using carbon fiber as material (Epoxy Carbon). These systems are often made of Aluminum and it is common for them to fracture for great strains in an iterative loading and unloading process that is common in the conditions of daily use of this type of bicycles. The simulations were carried out with the ANSYS software that uses the finite elements method in the fatigue analysis process. The results indicated that the safety factor of Epoxy Carbon has higher values than Aluminum as the remote load increases in both static and fatigue analysis, also it has a weight of 40.74 % lighter than Aluminum, so it is a good alternative to use it in MTB bicycles.

**Keyword:** Suspension system; fatigue analysis; finite elements; ANSYS.

---

### **Resumo**

O objetivo deste trabalho é determinar o comportamento modal devido à fadiga do sistema de suspensão de uma mountain bike (MTB) usando como material de fibra de carbono (Epoxy Carbon). Estes sistemas são geralmente feitos de alumínio e é comum fraturarem devido a grandes esforços em um processo de carga e descarga interativa que é comum nas condições de uso diário deste tipo de bicicleta. As simulações foram realizadas com o software ANSYS, que utiliza o método de elementos finitos no processo de análise de fadiga. Os resultados indicaram que o fator de segurança do epóxi-carbono tem valores mais altos do que o alumínio, já que a carga remota aumenta tanto na análise estática quanto na de fadiga, além de ter um peso 40,74% mais leve que o alumínio. Portanto, é uma boa alternativa para usá-lo em bicicletas MTB.

**Palavras-chave:** Sistema de suspensão; análise de fadiga; elementos finitos; ANSYS.

---

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Av. San Josemaría  
Escrivá de Balaguer N° 855, Chiclayo, Perú.

\*Autor para correspondencia: [avlazaro@usat.edu.pe](mailto:avlazaro@usat.edu.pe) (A. Vera).

**Recibido: 20 de febrero del 2019      Aceptado: 20 de abril del 2019**

## Introducción

El sistema de suspensión posee una función muy importante en el desempeño de una bicicleta de montaña. Está estructurado por una parte posterior y otra delantera. Esta última está compuesta por la horquilla que absorbe las cargas que provienen de las irregularidades del terreno y forma parte también del sistema de dirección. Suponiendo un hipotético impacto en la calzada el 80% de la carga de choque la absorben las ruedas, llantas y radios, un 10% la horquilla y el 10% restante el cuadro y manillar. Tanto las ruedas como la horquilla y el cuadro responden como si fueran muelles rígidos que se comprimen al recibir una carga generada por un obstáculo en la calzada y la inercia del ciclista por lo cual la horquilla es un elemento que determinará la capacidad de absorción de los golpes y las irregularidades del terreno sobre el ciclista. De aquí que se incluyan en la horquilla sistemas de amortiguación para absorber de manera progresiva los desniveles que nos encontremos (Álvarez, 2014).

El sistema de amortiguación falla por ser sometido a una alta cantidad de ciclos de fluctuaciones del esfuerzo, al ser un proceso repetitivo ante altibajos del camino. Una investigación de los escritos referidos a las fallas en horquillas, pone en evidencia que estas fracturas sobre las vainas son una causa común de serios accidentes para los usuarios (Shelton y Sullivan, 2003).

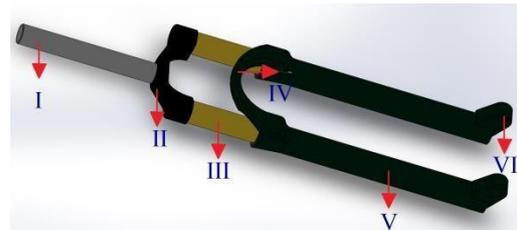
Por lo general las horquillas suelen estar fabricadas con metales similares a los del cuadro tales como aceros o aluminios (Álvarez, 2014), en este elemento no se ha hecho hincapié del efecto que tendrá hacer uso de materiales compuesto como la fibra de carbono.

Por esta razón el objetivo de este estudio en el sistema del sistema de amortiguación delantera (horquilla) es realizar una simulación lo más fiel posible al modelo original y un posterior análisis de los resultados obtenidos mediante el método de elementos finitos (Conde, 2015), con los resultados obtenidos, se determinarán los sectores más propensos a la fractura, además de una representación de la variación del factor de seguridad en los materiales, aluminio 6016 TS y Epoxy Carbon Prepreg.

## Material y métodos

El sistema de suspensión, horquilla, está compuesto por un tubo de dirección que es un punto de apoyo con el chasis y una conexión con el timón. Posee un diámetro exterior de 28,58 mm, la corona es la parte en donde se unen el tubo de dirección y las barras que son unos tubos de 27,94 mm de diámetro exterior que entran en las botellas y suben y bajan mientras andamos en la bicicleta, el puente es la pieza que une a las dos botellas, estas son el complemento de las barras y en su interior va alojado todo el sistema de suspensión, en la parte inferior lleva las bases para instalar las punteras para el eje de la rueda, su diámetro exterior es de 35,54 mm.

En la Figura 1 se muestra el modelo CAD de la horquilla realizado en el software SolidWorks, en el cual se dibujó el sistema de suspensión. Teniendo el sólido se realizó un análisis estático estructural con el software ANSYS.



**Figura 1.** CAD del sistema de suspensión.

Para el Pre-procesado del estudio se realizaron se tuvo que crear la tabla de propiedades mecánicas y térmicas del material Epoxy Carbon Prepreg en Engineering Data con los datos de ACP Composites de certificación ISO 9001:2008, las principales propiedades mecánicas se encuentran en la Tabla 1.

**Tabla 1**  
Propiedades del Epoxy Carbon ISO 9001:2008

Propiedades	Unidades
Módulo elástico E	70 GPa
Relación de Poisson $\mu$	0,1
Relación de amortiguamiento $\xi$	0,00015
Coefficiente de dilatación	2,1 /K
Límite de tracción	600 MPa
Límite elástico	3400 MPa

Luego se exporta la geometría CAD de la horquilla al entorno ANSYS en formato IGS, según se muestra en la Figura 2.

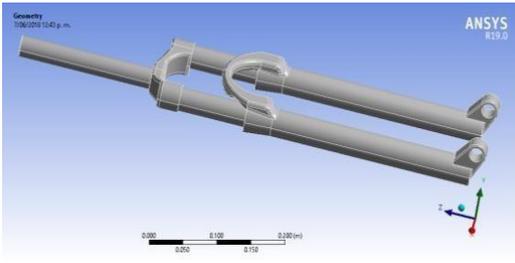


Figura 2. CAD del sistema de suspensión en ANSYS.

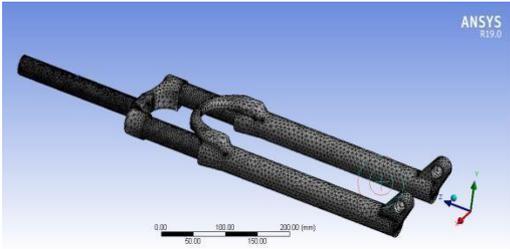


Figura 3. Mallado de horquilla.

En el proceso de discretización se utilizó una malla de aproximación y curvatura con elementos tetraédricos de alto orden como se puede observar en la Figura 3, se muestra el sistema de suspensión mallado para luego aplicar el método de elementos finitos a través del Solver de ANSYS.

En las sujeciones se empleó un soporte fijo en el tubo de dirección y se aplicó una carga remota de 1500N, seleccionada de la Tabla 2 de la norma UNE-EN ISO4210-6 correspondiente al ensayo estático de flexión, creando un sistema de coordenadas entre las punteras, la fuerza se aplicó perpendicular al eje del tubo de dirección y en el plano de la rueda (eje Y), además de la fuerza gravitatoria de la tierra 9,81m/s<sup>2</sup> en el eje Z.

Tabla 2  
Fuerzas en el soporte de la carga

Tipo de bicicleta	B. de paseo	B. para adultos jóvenes	B. de montaña	B. de carrera
Fuerza(N)	1000	1000	1500	1200

Luego se indican los tipos de resultados que se desean obtener, los más importantes son: Total Deformation, Equivalent Elastic Strain, Equivalent Stress, Stress Toll y Fatigue Tool, Life, Damage, Biaxiality Indication, Safety Factor. Este último, es el factor de seguridad que se calcula mediante la Ecuación 1:

$$N_s = S_y / \sigma', \quad (1)$$

Donde **S<sub>y</sub>** es la resistencia a la fluencia y **σ'** es el esfuerzo de Von-Mises.

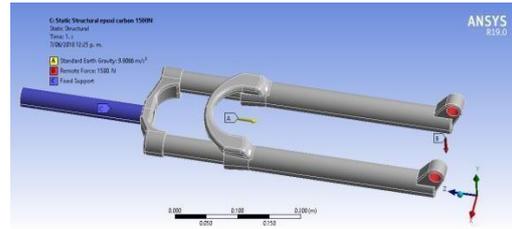


Figura 4. Carga remota y sujeciones.

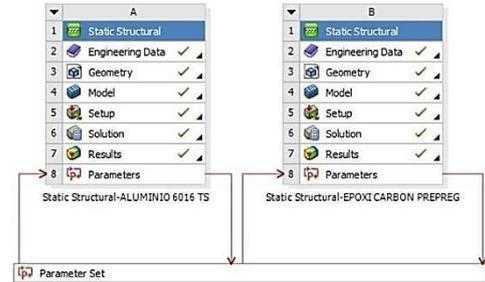


Figura 5. Estructura del análisis Parametrizado.

Finalmente, en el postprocesado el software ANSYS nos indica la correcta ejecución de su solucionador a través de una marca de cotejo, los módulos de los resultados brindan una idea más clara sobre el comportamiento del sistema bajo la geometría diseñada, el material asignado y la carga a las que se encuentra sometido.

En la figura 5 se crea una parametrización de los resultados, teniendo como entrada la variación de la carga remota y como variables de salida los módulos de los resultados, el esquema que se crea en ANSYS.

## Resultados y discusión

### 1. Análisis estático con carga de 1500N

Se realizó un primer análisis partiendo del ensayo realizado en la norma UNE-EN ISO4210-6.2014, con una carga máxima de 1500N.

Mediante el análisis estático del CAD, se logró simular los desplazamientos, la deformación total (figura 6), la deformación elástica equivalente, las fuerzas de reacción, los esfuerzos equivalentes (figura 8) que se producen en el modelo tridimensional bajo unas condiciones de contorno previamente definidas.

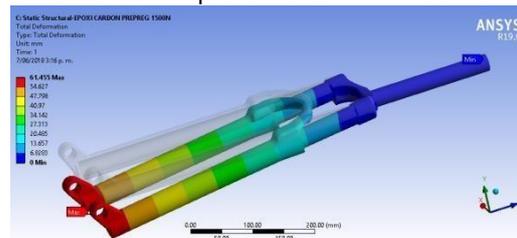


Figura 6. Deformación total.

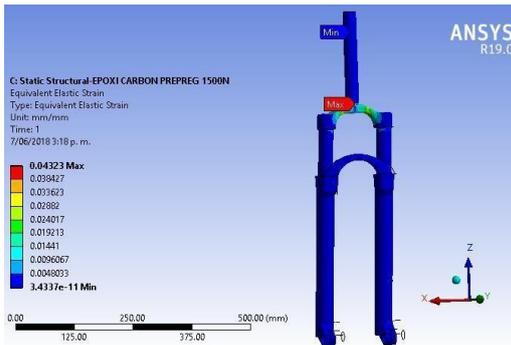


Figura 7. Deformación elástica equivalente.

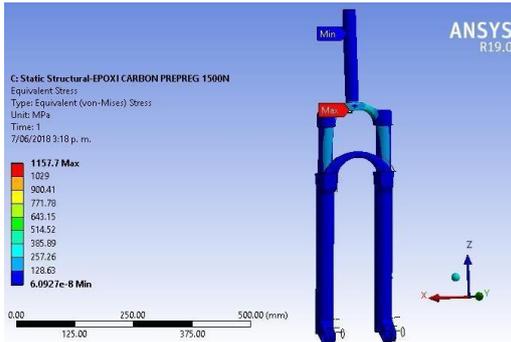


Figura 8. Esfuerzos equivalentes (von Mises).

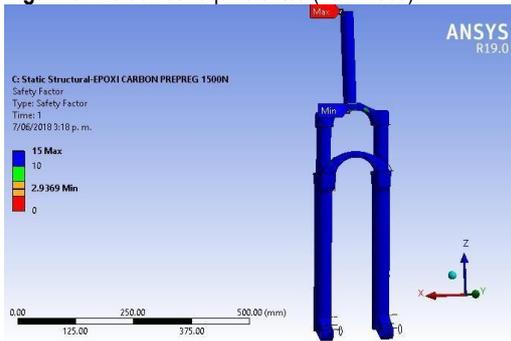


Figura 9. Factor de seguridad F.S.

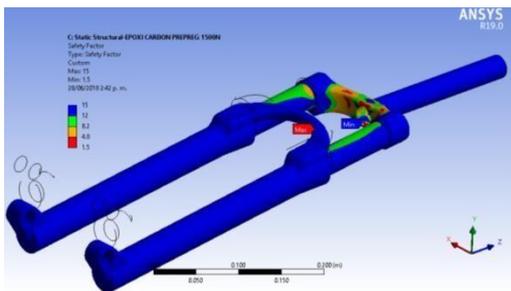


Figura 10. Factor de Seguridad.

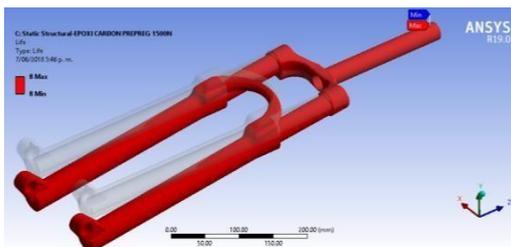


Figura 11. Vida

Evaluando el factor de seguridad F.S. del modelo simulado (figura 9), se pudo rediseñar la horquilla para evitar problemas durante el funcionamiento real de la pieza, si fuese necesario. Se realizó este previo análisis con el propósito de crear luego un estudio de fatiga debido a que para realizar el estudio de fatiga en ANSYS previamente se debe de realizar una simulación estática estructural.

En la Figura 6 se observa que la deformación total aumenta a medida que se acerca a las punteras alcanzando una deformación máxima de 61, esto se denota por el cambio de tonalidad, en la Figura 7 y 8 se observa las zonas donde la horquilla experimentará la deformación y esfuerzos, resaltando la región de la corona y las barras de la suspensión donde estas propiedades son más altos, es decir se concentran los valores máximos.

En la Figura 9, se observa que el ensamblaje tiene un factor de seguridad mínimo de 2,9 lo cual permite señalar que la horquilla tiene una capacidad de operar de manera correcta sin fallar.

## 2. Análisis de Fatiga

Para este estudio se parte de los resultados obtenidos a partir del estudio del análisis estático estructural con la carga remota de 1500N como base para crear el módulo del análisis a la fatiga.

La constante de amplitud de carga ha sido seleccionada con base cero, lo que significa que la carga será alternante de 0 a 1500N, Figura 13.

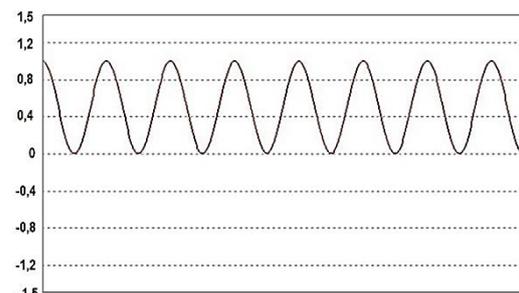


Figura 13. Zero-base.

De acuerdo al análisis realizado, en la Figura 10 se observa que el ensamblaje tiene un factor de seguridad de 1.5 que es mucho menor al obtenido en el análisis estático, esto hace referencia a que muchas piezas fallan por cargas cíclicas, más que por cargas estáticas. Cualquier pieza que se someta a cargas repetidas puede acumular daño.

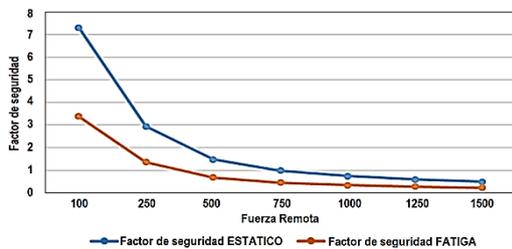
### 3. Parametrización de Resultados

Para la parametrización de resultados se emplearon dos materiales: aleación de aluminio 6061ts y Epoxy Carbon, el dato de entrada es la carga remota que varía de 100 a 1500 N, los datos de salida son los diferentes tipos de resultados que se describen en el pre procesado, resaltando el factor de seguridad del módulo estático y de fatiga. El peso del sistema de suspensión con aluminio como material es de 1,972 kg y con Epoxy Carbon es de 1,168 kg.

**Tabla 3**  
F.S estático y de fatiga-ALUMINIO 6061ts

Dato	Fuerza	Factor de	Factor de
DP 0	100	7,3131123	3,38283061
DP 1	250	2,94657506	1,36299894
DP 2	500	1,47687613	0,68315945
DP 3	750	0,98538406	0,45580968
DP 4	1000	0,73933839	0,34199619
DP 5	1250	0,59161497	0,27366368
DP 6	1500	0,49309265	0,22809015

La Variación del factor de Seguridad F.S. estático y de fatiga del Aluminio, ante el aumento de la fuerza remota, se muestra en la tabla 3.

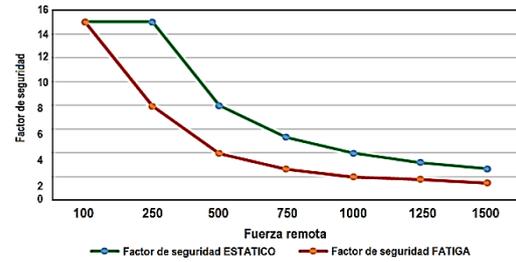


**Figura 14.** Variación del F.S. -aluminio.

**Tabla 4**  
F.S estático y de fatiga- Epoxy Carbon

Dato	Fuerza	Factor de	Factor de
DP 0	100	15	15
DP 1	250	15	7,90975548
DP 2	500	7,96278019	3,95552709
DP 3	750	5,30881068	2,63716239
DP 4	1000	3,981717	1,97792594
DP 5	1250	3,18542587	1,78236672
DP 6	1500	2,93698717	1,45865336

Se debe tener en cuenta que el software no considera factores de seguridad mayores a 15 según se muestra en la Figura 15.



**Figura 15.** Variación del F.S. - Epoxy Carbon.

Los resultados evidencian que el F.S. en el módulo de fatiga es mucho menor que el F.S. en el módulo estático, por lo cual se procede a comparar los materiales únicamente por Fatiga. La diferencia entre ambos materiales tiene una magnitud numérica de 1,231, en relación al factor de seguridad.

### Conclusiones

El uso del material de fibra de carbono es una buena alternativa para la manufactura del sistema de suspensión de la bicicleta de montaña, demostrando que puede reemplazar a los materiales metálicos convencionales como el aluminio y además es 40,74% más ligero y 84,36% más confiable o seguro que el aluminio 6061ts, que usualmente se utiliza. La simulación indica el comportamiento del prototipo en donde la concentración de esfuerzos se ubica en la zona de la corona y la mayor deformación en la región de las punteras con una razón de 61,5. El presente estudio puede ser realizado variantes de la suspensión o con otro tipo de material compuesto.

### Referencias bibliográficas

Álvarez, C. 2014. Diseño de un nuevo modelo para el bicing. Editorial Universidad Politécnica de Catalunya, España. 34 pp.

Shelton, H.; Sullivan, J.O.; Gall, K. 2003. Analysis of the fatigue failure of a mountain bike front shock, Engineering Failure Analysis. University of Colorado at Boulder, Boulder, USA.

Conde, A. 2015. Análisis de la resistencia a fatiga de un cuadro de bicicleta de doble. Madrid, España.

UNE-EN ISO4210-6.2014. Requisitos de seguridad para bicicletas- Métodos de ensayo del cuadro y horquilla. Editorial AENOR, España. 17 pp.

Ansys. 2018. ANSYS Mechanical Pro Simulate the mechanical behavior of materials in real-world conditions. Disponible en: <https://www.ansys.com/es-es/products/structures/ansys-mechanical-pro>.