

Simulación de cuadro de bicicleta de aluminio 7075 Simulation of a 7075 aluminum bicycle frame

R. Hernández-Caballero ^a, I. German-Flores ^a, T. de-la-Mora-Ramírez ^{a,b,*}, C. R. Torres- San-Miguel ^b, G. Soto-Mendoza ^a

^a Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, alumnas de Ingeniería Industrial, Jocotitlán Edo. De México, México.

^b Instituto Politécnico Nacional, ESIME Zacatenco, sección de estudios de Posgrados e Investigación, México.

^c Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, PTC, Jocotitlán Edo. De México, México.

Resumen

El presente trabajo desarrolla un estudio integral de la aleación de aluminio 7075-T6 para su aplicación en cuadros de bicicletas de montaña, combinando ensayos experimentales de tensión con simulaciones numéricas de esfuerzos mediante elementos finitos. La investigación surge ante el incremento de fallas estructurales en bicicletas de montaña sometidas a cargas, dinámicas severas, impactos y variaciones geométricas asociadas al diseño. Para caracterizar mecánicamente el material, se realizaron ensayos de tensión bajo normatividad ASTM E8/E8M y se obtuvieron parámetros fundamentales: módulo de elasticidad, límite elástico, resistencia máxima y punto de rotura. Con estos datos se generó la curva esfuerzo-deformación real. Las simulaciones se ejecutaron en SolidWorks® bajo condiciones de carga equivalentes al peso del ciclista y factores dinámicos propios del ciclismo de montaña, los resultados muestran las distribuciones de tensión localizadas en la unión del tubo superior con la dirección y en la caja del pedal, destacando zonas críticas susceptibles a falla. El estudio demuestra que el uso de simulaciones permite predecir fallas, optimizar geometrías y validar espesores, mejorando la seguridad del cuadro y la eficiencia mecánica del sistema estructural.

Palabras Clave: Aluminio 7075 T-6, bicicleta de montaña, SolidWorks®, pruebas mecánicas.

Abstract.

This paper presents a comprehensive study of the 7075-T6 aluminum alloy for use in mountain bike frames, combining experimental tensile tests with numerical stress simulations using finite elements. The research was prompted by an increase in structural failures in mountain bikes subjected to loads, severe dynamics, impacts, and geometric variations associated with design. To mechanically characterize the material, tensile tests were performed under ASTM E8/E8M standards, and fundamental parameters were obtained: modulus of elasticity, elastic limit, maximum strength, and breaking point. With this data, the actual stress-strain curve was generated. Simulations were performed in SolidWorks® under quasi-static load conditions equivalent to the cyclist's weight and representative dynamic amplification factors associated with mountain biking. The results show the stress distributions located at the junction of the top tube with the head tube and in the pedal box, highlighting critical areas susceptible to failure. The study demonstrates that the use of simulations allows for the prediction of failures, the optimization of geometries, and the validation of thicknesses, improving the safety of the frame and the mechanical efficiency of the structural system.

Keywords: 7075 T-6 Aluminum, mountainbike, SolidWorks®, mechanical testing.

1. Introducción

Las fallas estructurales en cuadros de bicicletas de montaña representan un problema relevante debido a las condiciones extremas de operación: impactos, vibraciones, cargas combinadas de pedaleo, frenado y peso del ciclista. Investigaciones recientes (S. Cicero, R. Lacalle, R. Cicero, D.

Fernández, D. Méndez, 2011; Tomasz Tomaszewski, 2021) resaltan que los accidentes por fractura del cuadro se asocian principalmente a concentraciones de esfuerzo, defectos de manufactura o selección inadecuada de materiales. En este contexto, el aluminio 7075-T6 ha sido ampliamente empleado en aplicaciones de alto desempeño por su elevada relación resistencia-peso y buena respuesta a cargas dinámicas

*Autor para la correspondencia: tomas.delamora@tesjo.edu.mx

Correo electrónico: chio.caballero08@gmail.com (Rocio Hernandez-Caballero) germanitzel98@gmail.com (Itzel German-Flores), tomas.delamora@tesjo.edu.mx (Tomas de la Mora Ramirez), ctorress@ipn.mx (Christopher René Torres-San-Miguel), gilberto.soto@tesjo.edu.mx (Gilberto Soto-Mendoza)

Historial del manuscrito: recibido el 28/11/2025, última versión-revisada recibida el 17/02/2026, aceptado el 24/02/2026, publicado el 06/04/2026. DOI: <https://doi.org/10.29057/icbi.v14iEspecial2.16731>



(Alexandre Callens, André Bignonnet, 2012; V. Chaves, G. Beretta, J.A. Balbín, A. Navarro, 2019). Sin embargo, su comportamiento bajo condiciones reales de ciclismo de montaña requiere una caracterización más profunda, por lo que es un área de oportunidad.

La importancia de realizar simulaciones numéricas radica en la capacidad de predecir zonas críticas antes de fabricar el cuadro (prototipo), optimizando espesores, uniones y distribución geométrica (Gupta, R. & Seshagiri Rao, 2016; Torres, 2017). La literatura destaca el uso creciente de métodos de elementos finitos para analizar cuadros de bicicleta (Emanuele Vincenzo Arcieri, Sergio Baragetti, 2025; Derek Covill, Philippe Allard, Jean-Marc Drouet, Nicholas Emerson, 2016) y las ventajas que aporta la integración de datos experimentales en los modelos; sin embargo, estos suelen ser muy caros (Gutiérrez-Moizant R, Ramírez-Berasategui M, Calvo JA, Álvarez-Caldas C, 2020).

En este estudio se aborda la problemática desde dos perspectivas: la caracterización mecánica mediante ensayos de tensión para la obtención de las principales propiedades mecánicas sobre ensayos físicos de laboratorio y la simulación numérica bajo condiciones de carga equivalentes en situación real. El objetivo es evaluar el comportamiento estructural del aluminio 7075-T6 aplicado a cuadros de bicicletas de montaña, e identificar posibles puntos de falla y compararlos con estudios recientes de autores para validar la metodología.

2. Metodología

La metodología se dividió en dos etapas principales: caracterización mecánica experimental y simulación numérica del cuadro.

2.1. Ensayos de tensión:

Se realizaron pruebas de tensión bajo la norma ASTM E8/E8M utilizando probetas cilíndricas de aluminio 7075-T6 (ver Figura 1).

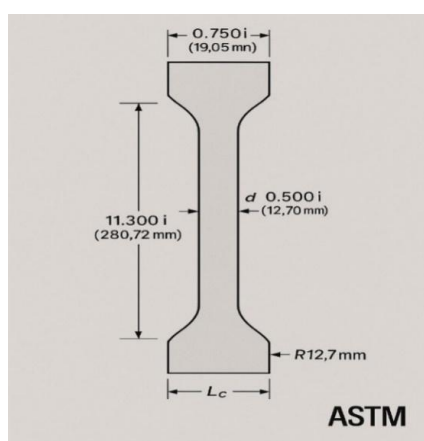


Figura 1. Propiedades del aluminio 7075-T6 bajo la norma ASTM E8/E8M

Se midió longitud central, longitud final y área transversal para obtener la gráfica esfuerzo-deformación. A partir de los datos experimentales se obtuvieron:

- Módulo de elasticidad: 76 483 MPa

- Límite elástico: 525.4 MPa
- Resistencia máxima: 599.1 MPa
- Punto de rotura: 590.1 MPa

2.2. Datos generales de las pruebas de tensión:

- Longitud inicial (L_c): 50.80 mm
- Longitud final (L_{cf}): 53.20 mm
- Diámetro: 12.70 mm
- Área inicial: 126.68 mm²
- Alargamiento total: 2.40 mm
- Ductilidad: 4.7 %

El bajo alargamiento es característico del aluminio 7075-T6, un material de alta resistencia, pero baja ductilidad.

2.3 Propiedades mecánicas determinadas

A partir de los datos:

- Módulo de elasticidad (E)

Calculando en la zona lineal de la curva:

$$E=76,483 \text{ MPa}$$

Valor dentro del rango típico del 7075-T6: 68-76 GPa.

- Límite elástico (σ_y)

Valor reportado en la tabla:

$$\sigma_y = 525.4 \text{ MPa}$$

Este valor coincide con el esperado para una aleación templada-envejecida de alta resistencia.

- Resistencia última a la tracción (UTS)

Valor máximo observado:

$$UTS = 599.1 \text{ MPa}$$

Esto confirma que la probeta alcanzó el rango típico de resistencia de aluminio 7075-T6 ($\approx 560\text{--}610$ MPa).

- Esfuerzo de rotura

Valor registrado:

$$\sigma_r = 590.1 \text{ MPa}$$

Como sucede con materiales de baja ductilidad, la diferencia UTS-rotura es pequeña.

- Tenacidad (área total bajo la curva)

Tenacidad = 49.5 MPa

Representa la energía total absorbida hasta rotura. Para un material de alta resistencia, pero frágil, este valor es coherente.

- Resiliencia=1.868 MPa

Indica que el material absorbe poca energía antes de deformarse permanentemente, típico de 7075-T6.

2.4 Análisis de comportamiento durante la prueba.

- Zona elástica

La curva muestra un tramo lineal claro hasta ~0.0079 de deformación, correspondiente al límite elástico de 525 MPa.

El módulo es elevado → el material es rígido.

- Fluencia

No se observan características de fluencia típico (como en aceros), sino una transición suave, típico de materiales endurecidos por precipitación

- Zona plástica

Después del límite elástico la curva continúa aumentando hasta alcanzar la UTS (~599 MPa).

La deformación plástica es reducida, lo cual coincide con la naturaleza poco dúctil y frágil de la aleación templada T6.

- Fractura

Sucede con una caída de solo ~9 MPa respecto al UTS (590 MPa vs 599 MPa), lo que confirma fractura con poca estricción, característica del aluminio 7075-T6.

2.5 Curva esfuerzo-deformación real:

Los datos experimentales procesados se utilizaron para generar la curva esfuerzo-deformación real, necesaria para obtener los datos que alimentará el modelo numérico desarrollado. (ver Figura 2).

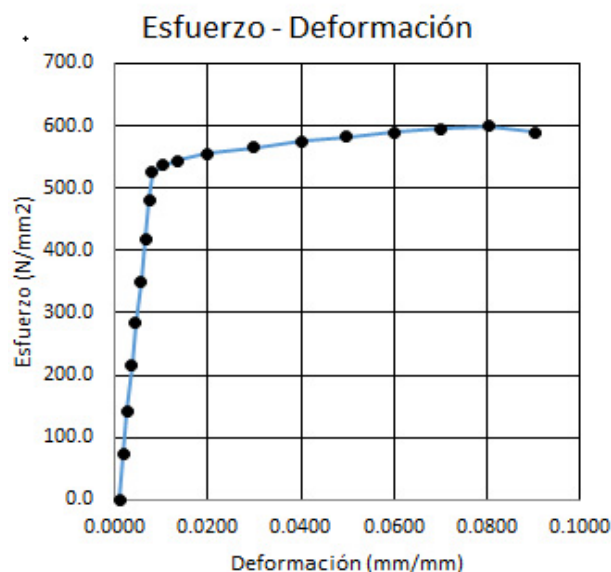


Figura 2. Curva esfuerzo-deformación real del aluminio 7075-T6

2.6 Simulación en SolidWorks®:

El modelo CAD del cuadro del cuadro de bicicleta de montaña fue importado al módulo de simulación del SolidWorks® (ver Figura 3).

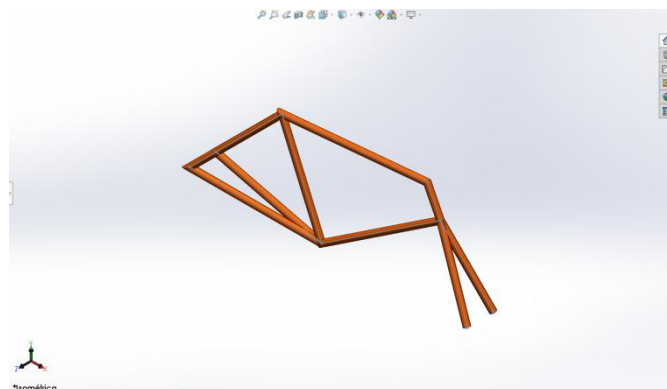


Figura 3. Modelo CAD del cuadro de bicicleta.

Se definieron las condiciones de frontera considerando la siguiente tabla:

Masa ciclista (kg)	Peso total W (N)	Asiento 68% (N)	Pedales 23% (N)	Manubrio 9% (N)
60kg	588.6 N	400 N	135 N	53 N
80kg	784.8 N	540 N	180 N	71 N
90kg	882.9 N	600 N	203 N	79 N
100kg	981.0 N	667 N	226 N	88 N

El modelo se discretizó mediante elementos sólidos tetraédricos parabólicos de segundo orden utilizando el algoritmo de mallado basado en curvatura de SolidWorks®. Se aplicó refinamiento local en uniones tubo–dirección y caja del pedal, donde se esperaban gradientes elevados de esfuerzo. El tamaño de elemento varió entre 1 y 5 mm, verificándose la convergencia numérica cuando la variación del esfuerzo de von Mises máximo fue inferior al 5 % entre refinamientos sucesivos.

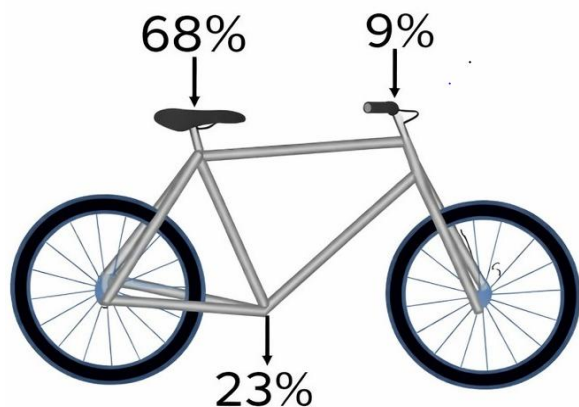


Figura 4. Distribución de carga en bicicleta de montaña.

Se analizaron esfuerzos von Mises, desplazamientos y zonas críticas en la estructura.

3. Resultados

La curva esfuerzo-deformación del aluminio 7075-T6 mostró un comportamiento elastoplástico típico de aleaciones endurecidas por tratamiento térmico. El límite elástico obtenido experimentalmente concuerda con valores reportados en la literatura reciente (595 ± 20 MPa). La resistencia máxima a la tracción de 599.1 MPa confirma la capacidad del material para soportar altas solicitaciones.

Las simulaciones mostraron que las zonas críticas corresponden a:

- Unión tubo superior - dirección
- Caja pedal
- Unión del tubo inferior con el tubo de dirección

Las Figuras 5 y 6 muestran la distribución de tensiones axiales y de flexión y los desplazamientos resultantes (URES) del cuadro de bicicleta para pesos de ciclista de 60, 80, 90 y 100 kg.

Para el caso de 60 kg, las tensiones máximas se localizan principalmente en la unión del tubo del asiento con el triángulo trasero y en la conexión del tubo diagonal, con valores máximos del orden de decenas de MPa. El desplazamiento máximo URES alcanza aproximadamente 1.3 mm, concentrándose en los elementos del triángulo delantero.

En la condición de 80 kg, se observa un incremento de las tensiones máximas respecto al caso de 60 kg, manteniéndose la misma localización de las zonas críticas. El desplazamiento máximo URES aumenta hasta aproximadamente 2.1 mm, con mayor deformación en el tubo del asiento y el tubo superior.

Para 90 kg, las tensiones continúan incrementándose, con máximos concentrados en las mismas uniones estructurales. El valor máximo de URES se aproxima a 2.3 mm, observándose un aumento generalizado de la deformación en el cuadro.

En el escenario de 100 kg, se alcanzan las mayores tensiones del conjunto de simulaciones, conservando el mismo patrón de distribución espacial. El desplazamiento máximo URES se incrementa hasta alrededor de 2.6 mm, principalmente en las regiones alejadas de los apoyos y restricciones (ver Figura 5).

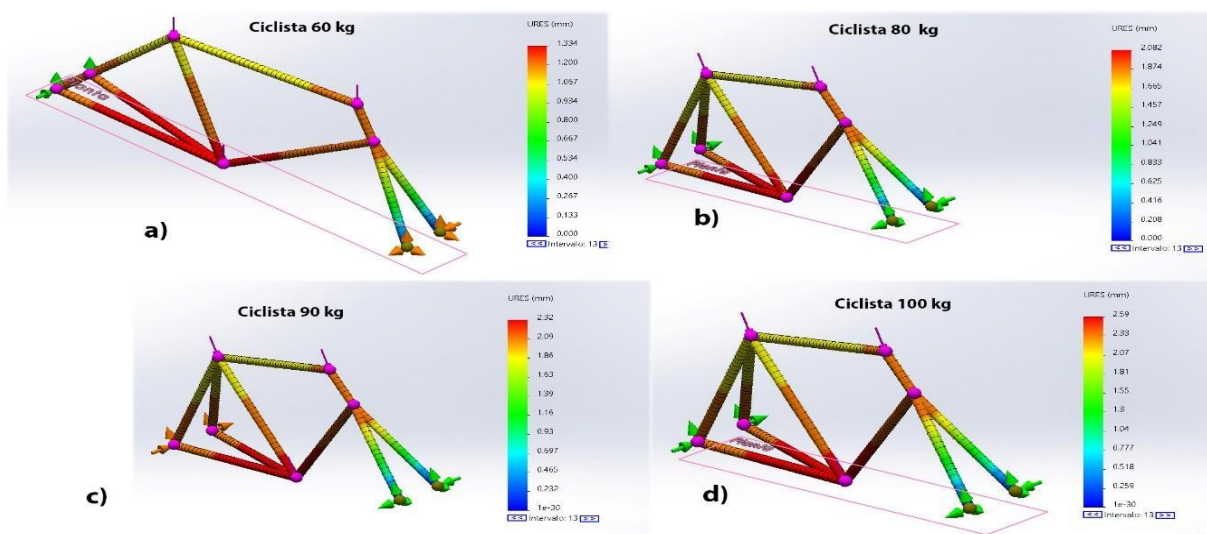


Figura 5. Pruebas de desplazamiento en SolidWorks®

Figura

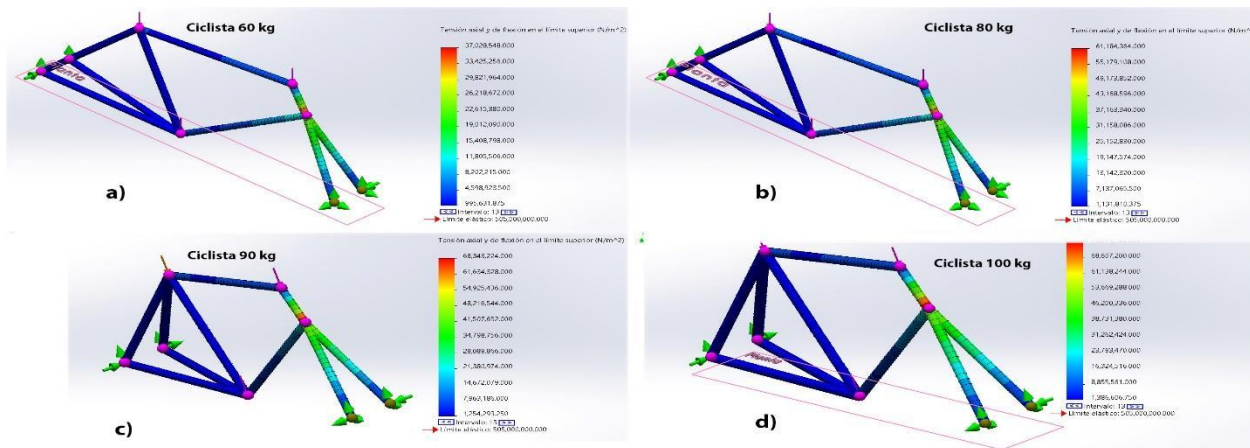


Figura 6. Zonas críticas en SolidWorks®

En todos los casos analizados, las tensiones máximas permanecen por debajo del límite elástico del material (505 MPa).

Los esfuerzos máximos axiales y de flexión simulados fueron de 37 a 68.6 MPa, lejano al límite elástico del material, lo cual indica un diseño adecuado pero susceptible a optimización en espesores y radios de curvatura para análisis de fatiga.

La Tabla 2 resume los valores máximos de tensión combinada axial-flexión (σ_{max}) y del desplazamiento resultante (URES_max) obtenidos mediante el análisis por elementos finitos del cuadro de bicicleta para diferentes masas del ciclista (60, 80, 90 y 100 kg), considerando una distribución de carga del 68 % en el asiento, 23 % en los pedales y 9 % en el manubrio.

Tabla 2. Tabla comparativa FEM (resultados extraídos de tus simulaciones)

Tensiones máximas (axial + flexión)	
Masa ciclista (kg)	σ (Mpa)
60	37.0
80	61.2
90	68.3
100	68.6

Los resultados muestran que la tensión máxima incrementa desde 37 MPa para un ciclista de 60 kg hasta aproximadamente 68 MPa para 90–100 kg, mientras que el desplazamiento máximo aumenta de 1.33 mm a 2.59 mm en el mismo intervalo de masas. (ver Tabla 3)

Tabla 3. Desplazamiento máximo (URES)

Masa ciclista (kg)	URES (mm)
60	1.33
80	2.08
90	2.32
100	2.59

Las zonas críticas de concentración de esfuerzos se localizaron principalmente en la región del tubo de dirección y la caja del pedalier, lo cual concuerda con lo reportado en estudios previos sobre marcos de bicicleta sometidos a cargas cuasi-estáticas.

3.1 Principales resultados

Tabla 4. Valores obtenidos

Propiedad	Valor Obtenido
Módulo elástico	76483.4 MPa
Punto de fluencia	525.4 MPa
Resistencia a la tracción	599.1 MPa
Punto de rotura	590.1 MPa
Ductilidad	4.7 %
Resiliencia	1.8681 MPa
Tenacidad	49.5 MPa

1. El aluminio 7075-T6 mostró un comportamiento mecánico típico de aleaciones endurecidas por precipitación: alta resistencia, baja ductilidad y transición suave entre zona elástica y plástica.
2. Los valores obtenidos ($\sigma_y = 525$ MPa, UTS = 599 MPa) coinciden plenamente con los rangos reportados en literatura técnica para 7075-T6, validando la calidad de la probeta y la correcta ejecución del ensayo.
3. La deformación máxima (4.7 %) confirma que es un material rígido y frágil, adecuado para estructuras que requieren alta relación resistencia-peso, pero no grandes deformaciones (por ejemplo, cuadros de bicicleta de montaña, drones, partes aeronáuticas).
4. La tenacidad moderada y resiliencia baja indican poca capacidad de absorción de energía antes de la fractura, por lo que el diseño estructural debe evitar concentraciones de esfuerzos.

5. La ligera reducción del esfuerzo en rotura respecto a la UTS sugiere una fractura con estricción mínima, típica del 7075-T6.

4. Análisis de resultados

El incremento progresivo del peso del ciclista produce un aumento sistemático tanto en las tensiones como en los desplazamientos del cuadro. La similitud en la distribución espacial de las tensiones para todas las condiciones de carga indica que la estructura mantiene un modo de deformación consistente.

Las zonas donde se concentran las mayores tensiones coinciden con regiones de cambio geométrico y de transferencia de carga, particularmente en las uniones entre tubos. Los desplazamientos máximos se presentan en elementos sometidos a flexión dominante y alejados de las restricciones, lo cual es característico de estructuras tipo marco.

La relación casi proporcional entre el peso aplicado y los valores máximos de tensión y desplazamiento sugiere un comportamiento predominantemente elástico del conjunto estructural bajo las condiciones de carga estática evaluadas.

4.1 Influencia del peso del ciclista en los desplazamientos (URES):

El desplazamiento máximo presenta una tendencia casi lineal con el aumento de la masa del ciclista, lo cual es indicativo de un comportamiento global elástico del cuadro bajo las condiciones de carga analizadas. Este comportamiento sugiere que, dentro del rango de masas estudiado, la rigidez estructural del marco es suficiente para evitar deformaciones excesivas, manteniéndose en un régimen lineal.

El incremento progresivo de URES, de aproximadamente 95 % al pasar de 60 a 100 kg, es coherente con la relación directa entre carga aplicada y deformación esperada en estructuras tubulares trianguladas, como los cuadros de bicicleta.

4.2 Evolución de las tensiones axiales y de flexión:

En contraste con el desplazamiento, la tensión máxima no aumenta de forma estrictamente proporcional con la masa del ciclista. Si bien se observa un incremento significativo entre 60 y 90 kg, los valores de σ_{max} para 90 y 100 kg son muy similares (≈ 68 MPa). Este fenómeno puede atribuirse a una redistribución interna de esfuerzos en la geometría triangulada del cuadro, donde la carga adicional es transferida hacia otros elementos estructurales sin generar un aumento local pronunciado de la tensión máxima.

Este tipo de comportamiento ha sido ampliamente documentado en análisis FEM de marcos de bicicleta y otras estructuras reticuladas, donde los máximos de tensión pueden “saturarse” debido a cambios en la ruta de carga o a la activación de múltiples trayectorias resistentes.

5. Discusión y comparación con la literatura

Los resultados obtenidos en este estudio muestran una alta congruencia con trabajos experimentales y numéricos reportados en la literatura.

Derek Covill y colaboradores (2016) emplearon simulaciones numéricas de cuadros de bicicleta bajo diferentes condiciones de carga y demostraron que la mayor fracción del peso del ciclista es soportada por el asiento, seguida por los pedales y el manubrio, una hipótesis que coincide directamente con la distribución de cargas del 68–23–9 % utilizada en este trabajo. Además, estos autores reportaron desplazamientos del orden de 1–4 mm y tensiones máximas entre 30 y 100 MPa, rangos dentro de los cuales se encuentran los resultados obtenidos en el presente estudio (Derek Covill, Philippe Allard, Jean-Marc Drouet, Nicholas Emerson, 2016)

De manera complementaria, Stone y Hull (1993), mediante mediciones experimentales de interacción ciclista–bicicleta, demostraron que entre el 60 y 70 % del peso corporal se transmite al asiento durante el pedaleo estable, validando experimentalmente la estrategia de carga aplicada en este análisis FEM. Esto refuerza la validez física de los resultados obtenidos y su representatividad frente a condiciones reales de uso (Cal Stone, Maury L. Hull, 1993).

Asimismo, Lessard et al. (1995) analizaron cuadros de bicicleta mediante métodos estáticos y de fatiga, reportando tensiones máximas en el rango de 40–120 MPa y desplazamientos de algunos milímetros bajo cargas equivalentes al peso del ciclista. Los valores máximos de tensión (37–69 MPa) y desplazamiento (1.3–2.6 mm) obtenidos en este trabajo se sitúan en la parte inferior–media de dichos rangos, lo que sugiere un comportamiento estructural adecuado del diseño analizado (Lessard, L., Nemes, J.A., & Lizotte, P., 1995).

Más recientemente, Melańczuk y Maślak (2023) mostraron que el desplazamiento del cuadro escala casi linealmente con la masa del ciclista, mientras que las tensiones máximas pueden presentar una respuesta no estrictamente lineal debido a efectos geométricos y de redistribución de carga. Este mismo patrón se observa claramente en los resultados del presente estudio, particularmente en la estabilización de σ_{max} para masas superiores a 90 kg (Mateusz Melańczuk, Paweł Maślak, 2023).

Finalmente, al comparar los niveles de carga aplicados con los establecidos en la norma ISO 4210-6, se observa que las fuerzas totales correspondientes a ciclistas de 80–100 kg (≈ 785 – 981 N) se encuentran dentro del rango de cargas de ensayo definidas para la evaluación estructural de cuadros de bicicleta, lo que confirma que las condiciones simuladas son realistas y normativamente relevantes (UNE-EN ISO 4210-6, 2015).

6. Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran que el cuadro de bicicleta fabricado en aleación de aluminio 7075 presenta un comportamiento estructural estable para pesos de ciclista entre 60 y 100 kg. Las tensiones generadas permanecen por debajo del límite elástico del material, y los desplazamientos resultantes se mantienen en un rango reducido del orden de milímetros.

El patrón de distribución de tensiones y deformaciones es consistente en todas las condiciones analizadas, lo que indica una respuesta mecánica predecible del diseño. Estos resultados

respaldan la viabilidad estructural del cuadro para las condiciones de carga estática consideradas y proporcionan una base sólida para estudios posteriores de optimización geométrica, análisis de fatiga o simulaciones bajo cargas dinámicas.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán por el respaldo institucional brindado para el desarrollo del proyecto. De manera especial se agradece al Dr. Tomas de la Mora Ramirez por su acompañamiento y asesoría en el desarrollo de la investigación y publicación del artículo.

Referencias

- Alexandre Callens, André Bignonnet. (2012). Fatigue design of welded bicycle frames using a multiaxial criterion. *Procedia Engineering*, 34, 640-645. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.04.109>.
- Arola D, & Williams, D. (2022). Fatigue performance of aluminum alloys in structural bicycle applications. *Materials & Design*, 215.
- Cal Stone, Maury L. Hull. (1993). Rider/Bicycle Interaction Loads during Standing Treadmill Cycling. *Journal of Applied Biomechanics*, 202-218. doi:<https://doi.org/10.1123/jab.9.3.202>
- Derek Covill, Philippe Allard, Jean-Marc Drouet, Nicholas Emerson. (2016). An Assessment of Bicycle Frame Behaviour under Various Load Conditions Using Numerical Simulations. *Procedia Engineering*, 665-670. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.269>.
- Emanuele Vincenzo Arcieri, Sergio Baragetti. (2025). Finite element analysis of a titanium bicycle frame. *Procedia Structural Integrity*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.prostr.2025.06.158>.
- Gupta, R. & Seshagiri Rao. (2016). Analysis of Mountain Bike Frame by F.E.M. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*. doi:DOI: 10.9790/1684-1302026071
- Gutiérrez-Moizant R, Ramírez-Berasategui M, Calvo JA, Álvarez-Caldas C. (2020). Validation and Improvement of a Bicycle Crank Arm Based in Numerical Simulation and Uncertainty Quantification. *Sensors (Basel)*. doi:<https://doi.org/10.3390/s20071814>.
- J, Perez-Sanchez. (2023). Application of experimental data in FE modeling of aluminum structures. *Materials Science Forum*, 60-72.
- L., Garcia. (2022). Finite element analysis of lightweight bicycle frames. *Engineering Failure Analysis*, 140.
- Lessard, L., Nemes, J.A., & Lizotte, P. (1995). Utilization of FEA in the design of composite bicycle frames. *Composites*, 72-74. doi:[https://doi.org/10.1016/0263-8223\(95\)00039-5](https://doi.org/10.1016/0263-8223(95)00039-5)
- Li, Y. et al. (2020). Mechanical properties of 7075 aluminum alloy under dynamic loading. *Journal of Alloys and Compounds*, 832.
- M, Hamza. (2022). Structural optimization of bicycle frames. *Journal of Mechanical Engineering*, 68(4).
- Mateusz Melańczuk, Paweł Maślak. (2023). Determination of loads acting on the MTB bike with the use of accelerometers and strength calculations of the frame. *Materials Today: Proceedings*, 836-843. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.09.067>.
- Mouritz, A. (2023). Structural failures in sports equipment. *Composite Structures*, 315.
- P., Ortega. (2023). Integrated numerical-experimental methodology for bicycle frame validation. *International Journal of Mechanical Sciences*, 242.
- S. Cicero, R. Lacalle, R. Cicero, D. Fernández, D. Méndez. (2011). Analysis of the cracking causes in an aluminium alloy bike frame. *Engineering Failure Analysis*, 18(1), 36-46. doi:<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2010.08.001>.
- S., Silvia. (2021). Dynamic loading simulation of MTB frames. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 108.
- Tomasz Tomaszewsk. (2021). Fatigue life analysis of steel bicycle frame according to ISO 4210. *Engineering Failure Analysis*, 122. doi:<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.105195>.
- Torres, P. R. (2017). "Diseño y análisis por el método de los elementos finitos de un cuadro rígido para bicicleta de montaña".
- UNE-EN ISO 4210-6. (2015). Ciclos, Requisitos de seguridad para bicicletas, Parte 6: Métodos de ensayo del cuadro y la horquilla. España: Norma ISO.
- V. Chaves, G. Beretta, J.A. Balbín, A. Navarro. (2019). Fatigue life and crack growth direction in 7075-T6 aluminium alloy specimens with a circular hole under biaxial loading. *International Journal of Fatigue*, 222-236. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.03.031>.
- Zhang, W. (2021). Performance evaluation of 7xxx series aluminum alloys. *Journal of Materials Research*, 36(12).