



FIME

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN®

Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Laboratorio de Biomecánica

Práctica 2. Optimización topológica orientada a un marco de bicicleta

1992212	Jose Eduardo Mendoza Ziga	IMTC
1992298	Manuel Antonio Ulloa Méndez	IMTC
1733433	Raúl Alejandro Tamez González	IMTC
1992043	Eduardo Villarreal Gámez	IMTC
1818785	Oiram Colunga Bernal	IMTC
1822072	Brandon Arturo Solano Arias	IMTC
1916426	Daniel Alberto Acosta Banda	IMTC
Maestro:	Dra. Yadira Moreno Vera	
Hora:	V1	
Grupo:	204	

*Fecha de entrega 12 de septiembre, 2022
Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza*

Objetivo

Conocer cada una de las secciones que integran un código de optimización topológica, como se debe crear el archivo (.m) en MATLAB y como se ejecuta el análisis.

Utilizar el programa Matlab para comprender el uso y colocación de esfuerzos y cargas en un espacio determinado.

Estado del arte

1.1.- Cuadro de bicicleta

El cuadro de bicicleta es la estructura rígida o semirrígida que une todos los componentes de la bicicleta. Al cuadro se fija el manillar, la horquilla, el sillín, la rueda trasera, la transmisión y los frenos. En caso de ser una bicicleta eléctrica, también se fija el sistema eléctrico completo o algunas partes de él.

Los cuadros de bicicleta son de materiales resistentes como el aluminio, el acero, el carbono o el magnesio. Están diseñados para ofrecer al ciclista una geometría de conducción optimizada para el uso que se le va a dar a ese tipo de bicicleta. Así, una bicicleta de carretera tiene una geometría pensada en una posición de pedaleo aerodinámica. En cambio, una bicicleta de paseo tiene una geometría para que el ciclista se pueda sentir lo más cómodo posible. También existen diferentes tallas de cuadros y geometrías específicas para mujeres y niños. Es importante escoger una geometría y talla de cuadro apropiadas para cada ciclista.

El material del cuadro tiene una relación directa con tres factores importantes: el peso, la resistencia y el precio. Cuanto menos pese el cuadro, menos peso deberá arrastrar el ciclista y, por tanto, menos esfuerzo deberá realizar. *Los materiales más ligeros y resistentes son el magnesio y el carbono, pero también son los más caros.* El acero, es el material más barato, pero también el más pesado. El aluminio es el material más común en los cuadros porque tiene una relación peso-resistencia-coste más equilibrada. De esta forma podemos tener cuadros resistentes y ligeros a un precio razonable. [\[1\]](#)

1.2.- Geometría del cuadro

La longitud de los tubos, y los ángulos a los que están unidos definen la geometría del cuadro. Los ángulos habituales a los que se hace referencia en el diseño del cuadro son el ángulo del tubo frontal (de dirección) y el ángulo del tubo del asiento. Estos ángulos se miden generalmente con referencia al horizontal. El rango típico es entre 68° a 75° grados. En general, las bicicletas con ángulos más relajados (números más bajos) tienden a ser más estables y cómodas. Las bicicletas con ángulos más cerrados o pronunciados, más verticales (números más altos) tienden a ser maniobrable, pero menos cómodo en superficies rugosas. Cuadros con ángulos más relajados tienden a tener distancias entre ejes más largos

que los cuadros más verticales, bicicletas con ángulos relajados suelen tener mayor ángulo de horquilla. Todos estos factores contribuyen a las características de conducción.

La GEOMETRÍA DE UN CUADRO ha ido asociada hasta hace bien poco al concepto de ANTROPOMETRÍA, o lo que es lo mismo: no pasábamos de buscar una adaptación del cuadro a las medidas corporales del ciclista.

Y esto se completaría después con una adaptación a nivel BIOMECÁNICO, normalmente a manos de un especialista, donde se jugaría con las variables de altura y posición de sillín, largo de bielas, altura y posición de manillar, ancho de manillar.

Lo cual está muy bien, pero ¡OJO! Esto es solo el 50 % de la bicicleta.

Faltaría el otro 50 % que es el que estudia cómo se comporta o como interacciona (si lo prefieres) la bicicleta con la superficie donde rueda. Y a esto lo podríamos llamar CONDUCCIÓN.

Con la aparición del MTB y sus múltiples modalidades, en las que hay que hacer bastante más que pedalear y punto... en los departamentos I+D+i de las fábricas descubrieron como influían ángulos y medidas en el comportamiento de la bicicleta.

Este aprendizaje se aprovechó después en las nuevas modalidades de bicicleta de carretera (Aero, escalada, gran fondo, contra reloj, gravel, ciclo-cross), surgiendo cuadros adaptados a las necesidades de cada modalidad.

1.3.- ¿Cómo interpreto la tabla de geometría de un cuadro de bicicleta?

FRAME SIZE		S	M	L	XL
A	Longitud tubo sillín	395mm	430mm	470mm	520mm
B	Longitud tubo superior	590mm	610mm	630mm	650mm
C	Caída eje pedalier	-65mm	-65mm	-65mm	-65mm
D	Altura eje pedalier	305mm	305mm	305mm	305mm
E	Longitud vainas	430mm	430mm	430mm	430mm
F	Ángulo tubo sillín real	72°	72°	72°	72°
G	Ángulo tubo sillín efectivo	73.5°	73.5°	73.5°	73.5°
H	Ángulo dirección	70°	70°	70°	70°
I	Fork Offset	46mm	46mm	46mm	46mm
J	Distancia entre ejes	1081mm	1101mm	1122mm	1143mm
K	Longitud pipa	85mm	90mm	100mm	115mm
L	Reach	411mm	430mm	447mm	463mm
M	Stack	605mm	610mm	619mm	632mm

Figura 1: Tabla de parámetros de la geometría de un cuadro de bicicleta.

Los parámetros STACK y REACH son los que utilizaremos para saber cuál es nuestra TALLA.

El resto de los parámetros los utilizaremos para saber cómo se comporta ese cuadro incluso antes de habernos montado.

¿Por qué Stack y Reach? Hasta hace bien poco todos los cuadros tenían lo que ahora se denomina geometría tradicional.

Pero con la aparición de geometría slooping y diferentes diseños según modalidad (XC, Enduro, DH, etc), se impuso la necesidad de medir la ALTURA y la LONGITUD o alcance de los cuadros, de una manera independientes a otras medidas y ángulos que podrían afectarlas.

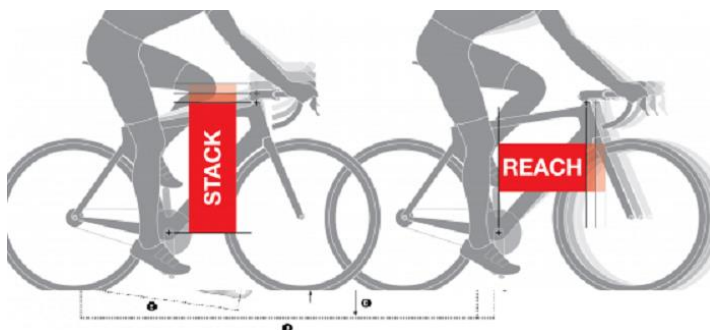


Figura 2: interpretación gráfica del STACK y el REACH.

El stack

Es el punto más alto un cuadro de bicicleta. Esta medida es la distancia VERTICAL entre el centro de la pipa de dirección y el centro del eje del pedalier. Siendo una medida más precisa que las ofrecidas antiguamente: de centro de caja de pedalier a unión de tubo sillín con tubo horizontal. El Stack es inseparable del Reach.

El reach

Es el alcance de un cuadro de bicicleta. Esta medida es la distancia horizontal entre el centro de la pipa de dirección y el eje del pedalier.

Mucho más precisa que la ofrecidas antiguamente: de centro de la pipa de dirección al centro del tubo del sillín.

Ángulo de dirección

Este es el que se forma entre la pipa de la dirección y suelo.

Siendo un ángulo habitual 73° , podemos apreciar que cuanto más se acerca a 90° más nerviosa es la dirección.

Y cuanto más nos alejamos de 90° , encontramos una dirección más dócil y tenderá a corregir sola la trayectoria.



Figura 3: Representación del ángulo de dirección.

Ángulo de sillín

Es el formado entre suelo y tubo del sillín.

Siendo un ángulo habitual 72° , podemos apreciar que cuanto más se acerca a 90° estaremos sentados más lejos del eje de la rueda trasera = menos tracción.

Por el contrario, cuanto más se aleja de 90° tendremos mayor tracción.

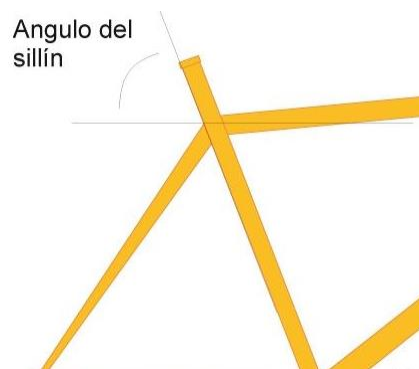


Figura 4: Representación del ángulo de sillín.

Avance de horquilla offset

Es la distancia que separa el eje del tubo de dirección del eje de giro de la rueda delantera.

La medida más habitual es 4,5 cm.

El OFFSET sirve para reducir o aumentar el TRAIL de la horquilla.

En modalidades muy técnicas (All Mountain, Enduro, DH), donde el ángulo de dirección necesita ser muy relajado el mayor offset o avance de la horquilla ayuda a reducir un trail demasiado grande para conseguir un óptimo equilibrio entre maniobrabilidad y estabilidad de la bicicleta, mientras que en modalidades más de pedaleo (XC, Maratón), con una dirección más vertical un menor offset aumenta el trail para lograr el mismo equilibrio.



Figura 5: Representación del avance de horquilla o flecha y representación del avance de la dirección.

Avance de dirección Trail

De esta medida dependerá la capacidad de “auto direccionarse” de una bicicleta: a mayor avance mejor mantendremos la línea recta, especialmente a gran velocidad, y a menor avance maniobraremos peor, especialmente a poca velocidad.

Longitudes vainas

Distancia de eje de la rueda trasera al eje del pedalier. El ángulo del sillín va relacionado con las vainas traseras, ya que cuanto más cortas sean estas, mayor será este ángulo.

Las vainas cortas (unos 39 ó 40 cm.) suponen mucha tracción.

Las vainas largas dan mayor estabilidad y facilitan alta cadencia de pedaleo.

Longitud tubo horizontal

Un tubo largo nos permite ir más extendidos sobre la bicicleta, si es mayor de que nos corresponde por longitud de brazos/tronco os provocará molestias.

En cuadros con SLOOPING (el tubo horizontal va colocado con inclinación) se mide sobre una línea totalmente horizontal virtual.

Altura eje pedalier

Distancia de centro de caja de pedalier a suelo.

Dependiendo del neumático que montemos puede variar hasta en 1 cm.

Eje de pedalier bajo = mayor estabilidad, pero riesgo de golpear con pedales objetos.

Eje de pedalier alto = menos estabilidad, pero muy efectiva a la hora de superar objetos.

Distancia entre ejes

Mide distancia de eje de la rueda delantera a eje de la trasera.

Una bicicleta con poca distancia de ejes es muy ágil, pero a alta velocidad se mostrará inestable y poco segura.

Una bicicleta con mucha distancia entre ejes es muy torpe en los giros rápidos, pero tenderá a mantener la línea recta.

Como aplicar esta información a la elección de una bicicleta

Si por ejemplo quieres comprar una bicicleta de Cross Country, el primer paso será tener muy claro que buscas.

Eres muy bueno bajando, pero no se te dá bien subir. Deberás buscar un cuadro que potencie este factor, es decir unas vainas traseras especialmente cortas.

O si no tienes seguridad bajando busca un cuadro con un ángulo de dirección lo más pequeño posible, aunque esto en cuadros de Cross Country va a ser difícil.

Aquí un plan B seria por ejemplo optar a un fabricante que utilice forward geometry, una combinación de los 2 parámetros anteriores. O geometría G2 , que es otra interpretación de los 2 requisitos anteriores. [\[2\]](#)

1.4.- Componentes del cuadro

Telescopio:

Barra unida al tubo superior e inferior sobre el que gira el manillar, es decir, realiza la función de eje. Es de alta resistencia, debido a que aguanta gran parte de la fuerza a la que se somete el manillar.

Vaina inferior:

Se encargan de unir el eje de la rueda trasera con la caja de pedalier.

Vaina superior:

Se refiere al tubo que se encarga de enlazar el eje de la rueda trasera con el tubo del asiento.

Tubo del asiento:

Tubo que forma dos triángulos en el cuadro y las partes inferiores con las superiores. En la unión inferior se aloja la caja de pedalier y en la superior el sillín de la bicicleta.

Tubo inferior:

Une el telescopio con la caja de pedalier.

Tubo superior:

Une el telescopio con el tubo del asiento. Este tubo puede llegar a ser prescindible en el cuadro y hay en el mercado ya varios ejemplos que no lo incluyen, como pueden ser las bicicletas holandesas o algunas eléctricas. En el caso del tipo de bicicletas de las que vamos a realizar el estudio no se puede quitar.

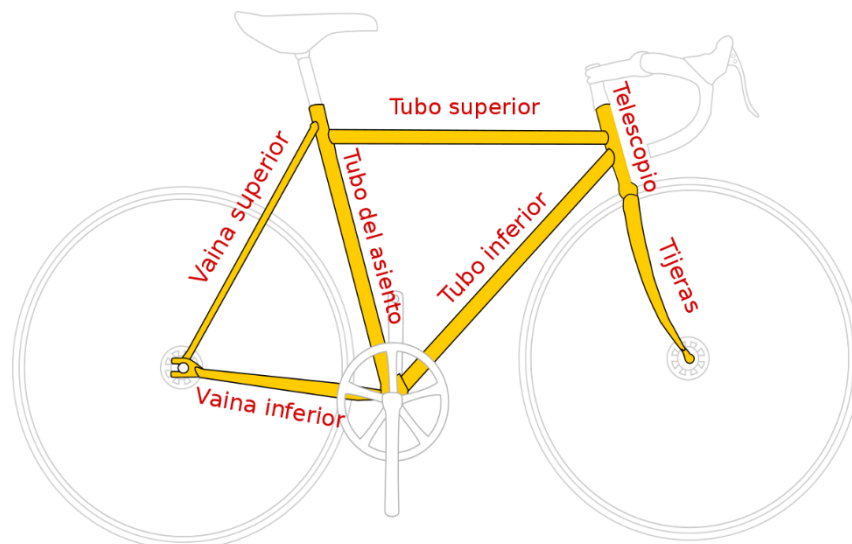


Figura 6: Componentes de un cuadro de bicicleta.

1.5.- ¿Qué material escoger para un cuadro de bicicleta?

Acero, aluminio, fibra de carbono y titanio. Éstos son los materiales más comunes con los que se elaboran los cuadros de bicicletas, tanto para carretera como para montaña o contrarreloj.

Lo más habitual es que sean de aluminio o carbono. O de una combinación de ambos materiales. También hay aleaciones que incluyen cromo, vanadio e incluso existen cuadros fabricados con fibra de basalto, que es una roca volcánica. Pero... ¿cuál es mejor?

Comúnmente se tiende a pensar que, entre una bicicleta con cuadro de aluminio y otra con cuadro de carbono, es siempre preferible elegir la segunda. Sin embargo, no tiene por qué ser así.

Cada material tiene sus propias peculiaridades y ofrece una serie de características distintas a otros. Por eso, antes de dejarte seducir por el aluminio, el carbono, el titanio o cualquier otra materia prima que se emplea para la fabricación de cuadros, hay una serie de factores que debes considerar:

El tipo de uso que vas a darle a la bicicleta: ¿De qué te sirve gastarte 3.000€ en una bicicleta de titanio si vas a hacer un par de salidas al mes por tramos llanos y de no más de 50 kilómetros? No es lo mismo una bicicleta para competir en carreras, donde la rigidez y la ligereza del cuadro pueden ser la diferencia entre hacer unos segundos más o unos segundos menos en el crono, que planificar largas rutas por tramos sinuosos e irregulares que exigen una mayor flexibilidad y durabilidad de los componentes.

El peso: Muchos ciclistas prefieren una bicicleta de carbono a una de aluminio porque el cuadro de la primera pesa 300 gramos menos (en algunos modelos es incluso menor). Si el peso de tu bicicleta es una prioridad, tal vez deberías considerar la opción de comprar unas ruedas más ligeras en lugar de pagar la diferencia de precio que supone cambiar un cuadro de aluminio por otro de carbono.

El tiempo de uso: ¿Vas a comprarte una bicicleta que te dure toda la vida o piensas cambiarla dentro de un año? No olvides que todos los materiales sufren desgastes y fatigas con el paso del tiempo y la intensidad de uso. Pero unos se desgastan antes que otros. El acero, por ejemplo, se oxida con mayor facilidad que el aluminio, pero su durabilidad también es mayor. La fibra de carbono es más sensible a grandes impactos, como una caída contra unas rocas, pero es menos propenso a un desgaste por uso continuado.

El presupuesto: Es sencillo: a igualdad de equipamiento y componentes generalmente una bicicleta de aluminio cuesta más que una de acero, una de fibra de carbono es más cara que otra de aluminio y un cuadro de titanio tiene unos costes de fabricación mayores que los otros tres materiales.

Estos factores son importantes a la hora de decidirnos por el material del cuadro de nuestra bicicleta. Para facilitar la elección, hemos elaborado una sencilla guía con las características de cada material, sus propiedades y cómo influyen en el manejo de la bicicleta.

Acero.

El acero está considerado un material desfasado. De hecho, las principales marcas hace años que abandonaron la fabricación de cuadros de acero para sus gamas medias y altas... y en la mayoría de los casos también para las bajas. Sin embargo, aún pueden encontrarse en el mercado bicicletas fabricadas con acero.

Hasta la década de 1970 prácticamente todos los cuadros de bicicleta estaban contruidos en acero. En esos años aparecieron las mountain bikes y, con ellas, la necesidad de buscar materiales más ligeros. Así fue como poco a poco fue introduciéndose el aluminio en la industria del ciclismo. En los años 1990, con la llegada de la fibra de carbono, el acero quedó relegado a bicicletas de gamas inferiores o a fabricantes de marcas blancas.

No obstante, existe un tipo de acero denominado CroMo que sigue utilizándose como material para cuadros de algunas bicicletas de gamas superiores. Se llama así porque está hecho a partir de una aleación de cromo y molibdeno. Es más ligero y resistente que el acero convencional.

La principal cualidad de los cuadros de bicicleta de acero es que son más baratos, tienen una mayor durabilidad que el aluminio y son más fáciles de reparar en caso de abolladura o perforación.

Es también un material con una gran resistencia. Si vas a llevar mucho peso encima, como por ejemplo en un viaje largo de aventura con decenas de kilos en la mochila y las alforjas, una bicicleta de acero puede ser una buena elección.

Por contra, el acero presenta como desventaja que es más pesado que los otros materiales y también es más sensible a la oxidación.

Aluminio.

El aluminio es el material más utilizado actualmente para la fabricación de cuadros de bicicleta. De cuadros y de manillares, bielas, tijas y componentes diversos. Se introdujo en la industria del ciclismo hacia la década de 1970 y hoy todas las principales marcas de bicicletas cuentan en sus gamas con modelos de aluminio de forma mayoritaria.

Al contrario de lo que sucede con el acero, el aluminio es un material de una densidad muy baja. Dicho de otra manera: el aluminio es más maleable que el acero y, además, es más ligero, por lo que resulta un material más fácil de manejar en la fabricación de cuadros de

diferente geometría. Es también más barato que la fibra de carbono y requiere menos tiempo de elaboración.

Los tubos de aluminio pueden tener diferentes grosores. Esta característica la utilizan los fabricantes para elaborar cuadros con una excelente combinación de rigidez y ligereza. Así, por ejemplo, los extremos del tubo horizontal suelen ser más gruesos que la parte central, favoreciendo así la rigidez de la estructura sin que repercuta en un incremento del peso.

Otra de las ventajas del aluminio es su coste de fabricación, más barato que la fibra de carbono. Además, cuenta con una excelente resistencia en relación a lo ligero que es y es menos sensible a la corrosión que el acero.

Por contra, es un metal más propenso a sufrir lo que se denomina fatiga de los materiales, que es el desgaste estructural por el paso del tiempo y el uso intensivo. También es un material más difícil de reparar que el acero.

Los cuadros de aluminio son seguramente la mejor opción en términos de presupuesto y tipo de uso para la mayoría de los aficionados al ciclismo. Sin embargo, a pesar de que las marcas utilizan aleaciones de aluminio con otros metales para aumentar su resistencia, su durabilidad sigue siendo menor que la del carbono o el titanio.

Carbono.

La fibra de carbono se ha convertido en el material estrella de la industria del ciclismo. Hasta hace 25 años tan sólo unos pocos profesionales podían disfrutar de bicicletas con cuadros de fibra de carbono. Hoy forman parte del catálogo comercial de la mayoría de las marcas punteras gracias a la mejora de los procesos de fabricación, que han abaratado su coste.

Es un material mucho más caro que el aluminio y el acero, pero se adapta totalmente a prácticamente cualquier geometría. De ahí que en la alta competición haya cada vez más bicicletas con tubos curvos o con formas que hasta hace unos años eran imposibles de fabricar... sencillamente porque los materiales que se empleaban tenían una capacidad de diseño limitada.

La gran ventaja de la fibra de carbono es su relación peso-rigidez. Se trata de un material que se contrae y se expande en función de la tensión y los kilos que tenga que absorber en cada momento. Por eso las bicicletas de carbono resultan más cómodas para pedalear en trazados irregulares y largas jornadas por la carretera y offroad.

Otra ventaja es que es un material muy ligero. Ten en cuenta que, aunque los cuadros sean sólidos, en realidad están realizados a partir de fibras que en algunos casos tienen el mismo grosor que un pelo humano. Estas fibras se trenzan y se refuerzan con resina para crear la estructura del cuadro.

Además, no tiene el problema del aluminio y el acero ante la corrosión. Y su durabilidad es mayor. De ahí que algunas marcas ofrezcan garantía de por vida ante fatiga de los materiales en sus modelos con cuadro de carbono.

Probablemente estés pensando que, dado que es un material más ligero, tiene un ciclo de vida mayor y es más rígido, sea también mejor y merezca la pena pagar la diferencia de precio por tener una bicicleta de fibra de carbono antes que una de aluminio.

Sin embargo, hay que tener en cuenta los contras. El carbono es un material facturable. Es decir, que, si un golpe fuerte en una bicicleta de aluminio puede provocar una abolladura, en un cuadro de carbono directamente se fractura el material y en muchos casos resulta irreparable.

La calidad de un cuadro de fibra de carbono no sólo depende del material, sino especialmente del proceso de fabricación. Dependiendo del grosor y de la colocación de las fibras, un mismo cuadro puede ser más o menos rígido y presentar algunos puntos sensibles a una rotura en caso de golpe seco.

Las marcas de referencia suelen utilizar la técnica del cruzado de fibras para elaborar sus cuadros. Para sus modelos tope de gama emplean lo que se denomina el monocasco. Consiste en un molde donde se introduce el carbono para elaborar el triángulo que conforma el cuadro de una sola pieza.

Estos moldes son muy caros. De ahí que las bicicletas monocasco no estén al alcance de cualquier bolsillo.

Las bicicletas con cuadro de carbono suponen una notable diferencia para quien pasa largas jornadas pedaleando en la carretera, ya que proporciona un grado de comodidad y ligereza extra. Sin embargo, si vas a lanzarte por rutas traileras, senderos escarpados y caminos de cierta dificultad técnicas, quizás debas considerar si merece la pena pagar tanta diferencia de dinero por un cuadro sensiblemente más ligero que quizás acabe astillado en caso de ser golpeado contra una roca.

Titanio.

Cuando el titanio hizo su aparición como material de fabricación en la industria de la bicicleta, se encontró con que compartía espacio con el aluminio y la fibra de carbono. Y, como estos últimos resultaban materiales más asequibles en términos económico, las bicicletas de titanio quedaron relegadas a una porción muy pequeña del mercado.

El titanio es un material que comparte propiedades con los otros tres anteriores. Es tan fuerte como el acero, mucho más ligero, resiste mejor la corrosión y resulta mucho más duradero. Prácticamente una bicicleta de titanio fabricada de manera óptima es indestructible.

Decimos lo de «fabricada de manera óptima» porque ésta es una de sus grandes desventajas, junto con el precio. El titanio es un componente que apenas reacciona con el oxígeno. Es por ello que resulta muy difícil soldar los tubos del cuadro y se requiere hacerlo en cámaras llenas de gas argón.

En cuanto a sus ventajas, la comodidad a la hora de rodar es más que notable dada su combinación de ligereza y rigidez. Y no temas que la bicicleta acabe estrellándose contra una roca, porque su capacidad para absorber los impactos es superior.

Sin embargo, no es barato como materia prima ni tampoco es sencillo su proceso de fabricación. De ahí que el precio de este tipo de bicicletas sea superior y que muchas marcas directamente renuncien a tener en sus gamas unidades montadas con cuadros de titanio [\[3\]](#).

Desarrollo

2.1.- Propuesta de diseño de la geometría, alcances y limitaciones

La propuesta fue obtenida vía un artículo que contiene métodos adecuados para para obtener un diseño de pieza óptimo debido a casos de carga operativa (estática). Referente al tema de optimización, es acerca de un balancín superior de un cuadro especial de una bicicleta de montaña. Para obtener el diseño optimizado de la pieza, se utilizó un método de optimización topológica combinado con una optimización de forma numérica.

Como bien se mencionó, la parte es un balancín superior de un marco especial de una bicicleta de montaña concretamente. El marco se encuentra en este caso diseñado para descenso y para una persona con discapacidad de altura. Sufre de acondroplasia, su altura es de unos 135 cm y pesa unos 45 kg. El balancín superior forma parte de un mecanismo de suspensión trasera y se monta en el marco mediante pasadores y cojinetes de bolas (Fig. 7).

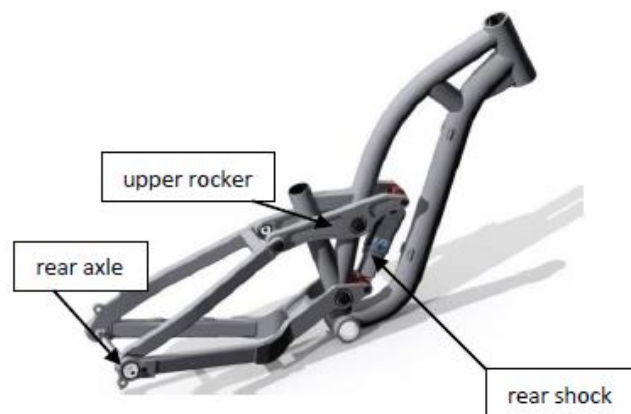


Figura 7: Marco diseñado en la propuesta

En el extremo delantero del balancín (rocker), el amortiguador trasero (rear shock) está montado con un tornillo M6. En los rodamientos de bolas del extremo trasero, conectan el balancín con el resto del mecanismo de suspensión a través de un pasador. El material del balancín utilizado para los cálculos de optimización topológica es acero o aleación de aluminio.

2.2.- Reacciones de carga del balancín

La carga operativa del balancín se determinó mediante simulaciones dinámicas, en las que se utilizaron varios casos de carga. Los casos de carga usados se dividen según la posición del ciclista en la bicicleta, "montar sentado" y "montar de pie". Estos casos de carga se evaluaron como insuficientes en términos de valores bajos de fuerzas de reacción. Por lo tanto, se utilizó un coeficiente dinámico y se determinaron dos casos de carga más. Estos se denominan "aterrizaje de la rueda trasera" y "aterrizaje de dos ruedas". A partir de estos dos casos de carga, el "aterrizaje de la rueda trasera" tiene las mayores fuerzas de reacción y, por lo tanto, se utilizó como estado de optimización.

Aterrizaje de la rueda trasera

Las fuerzas de reacción del balancín se evaluaron mediante simulación dinámica en PTC Creo Mechanism, donde se fija la posición del marco y se aplica la fuerza al eje trasero (Fig. 7). El vector de la fuerza está orientado directamente hacia arriba y tiene un valor de tres veces el peso del ciclista, donde tres es un valor de dyn. coef. y el peso del ciclista utilizado para los cálculos es de 50 kg, por lo que es $F = 1500$ N para la fuerza de "aterrizaje" aplicada en el eje trasero (Fig. 7). El valor de dyn. coef. se determinó con la ayuda de ingenieros de la industria de bicicletas. La Figura 8 muestra el modelo usado y los vectores de reacción simulados en un estado comprimido. La Figura 9 luego muestra los valores absolutos simulados de esos vectores.

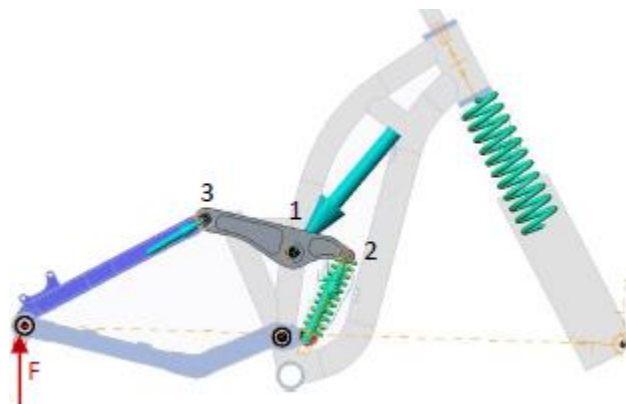


Figura 8: Vectores de fuerzas de reacción y simulación del modelo

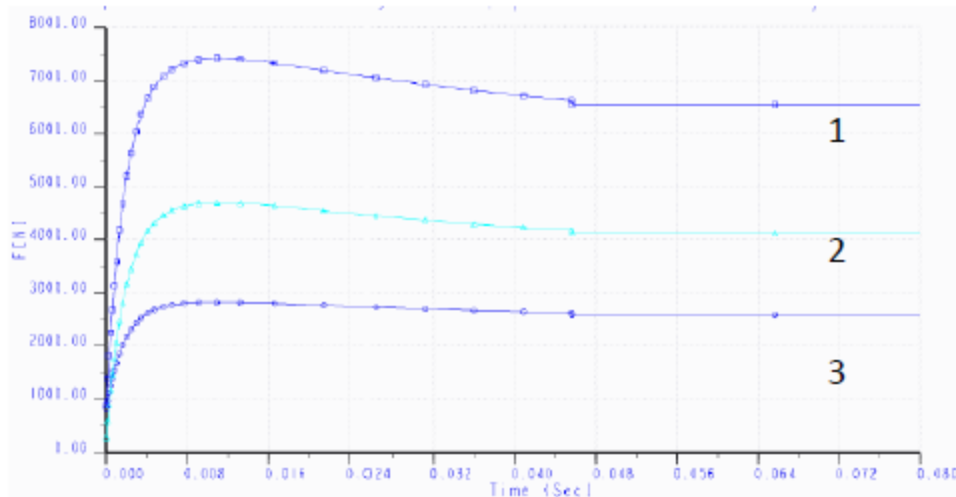


Figura 9: Fuerzas de reacción medidas

Como se puede observar en la figura en la figura 9, hay tres reacciones que deben dividirse en tres conjuntos de carga/restricción para realizar la optimización. Cada conjunto contiene dos restricciones de pasador en lugar de fuerzas de reacción y solo una fuerza de reacción. Entonces, la tarea de optimización no es solo se limita a un solo análisis de elemento finito, sino tres o más, para cada iteración. Esto depende del número de casos de carga para los que se realiza la optimización. Se agregó a la solución una fuerza lateral aleatoria (100 N) en la parte trasera. Se pueden agregar otras fuerzas para lograr una mayor rigidez en las direcciones deseadas o para aumentar el factor de seguridad de la pieza en otros casos de carga, como "aterrizaje con dos ruedas" o "montar sentada", donde la dirección de la fuerza de reacción tiene una orientación ligeramente diferente, otros casos de carga podrían ser adicional. Para mantener un tiempo de cálculo razonable, únicamente se optimizó la parte para el "aterrizaje de la rueda trasera" y la fuerza lateral ficticia en la parte trasera.

2.3.- Pasos del desarrollo del programa de optimización topológica

La optimización de topología es un método que combina los resultados de un análisis de elementos finitos. En este método, el objetivo es encontrar una solución con una distribución óptima del material del balancín superior del amortiguador trasero del eje trasero en un volumen determinado. Este volumen se llama espacio de diseño. El espacio de diseño está entrelazado con elementos finitos. Cada iteración determina qué elementos estarán vacíos y cuáles representarán el material [Kubec 2010]. El procedimiento de optimización se muestra en la figura 10.

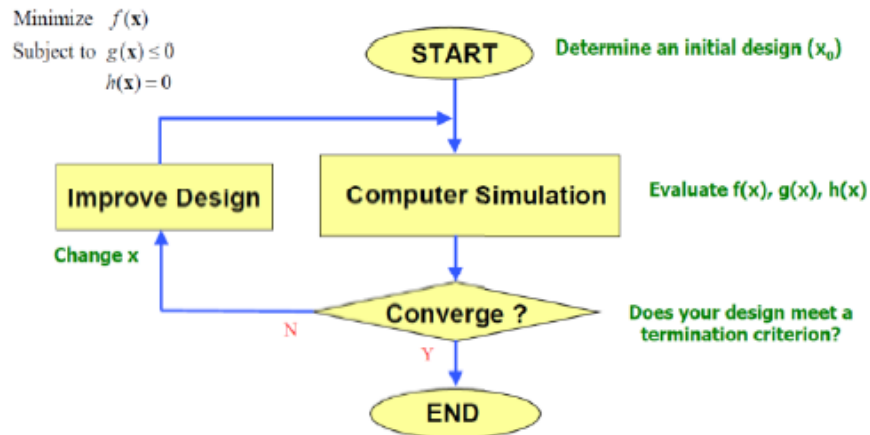


Figura 10: Procedimiento básico de optimización. [Weck 2004]

En la optimización de topología, hay tres tipos de parámetros: función objetivo, restricciones de diseño y variables de diseño [Weck 2004]. Donde para este caso:

Función objetivo $f(x)$: cumplimiento

Restricción de diseño $g(x)$, $h(x)$: masa, esfuerzo

Variables de diseño (x) : densidad de la malla

En caso de optimización topológica, las variables de diseño son cada elemento de la malla espacial de diseño. El ejemplo a continuación (Fig. 11) tiene 27 variables de diseño. Según [Weck 2004], existen dos tipos de restricciones de diseño: $h(x) = 0$ (restricciones de igualdad) y $g(x) \leq 0$ (restricciones de desigualdad).

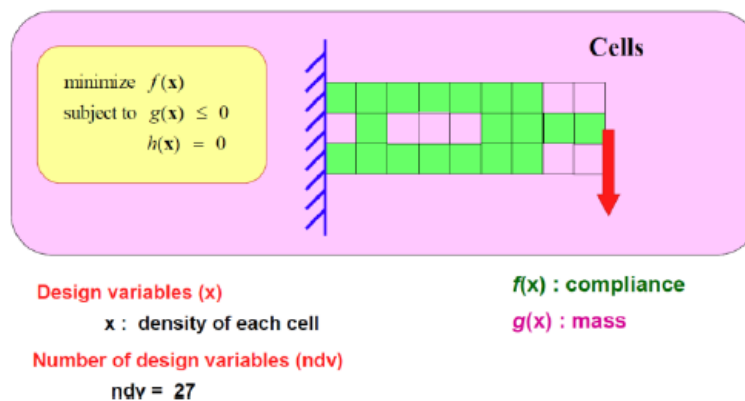


Figura 11: Optimización topológica. [Weck 2004]

Para este caso la optimización topológica fue realizada por dos programas de software diferentes: CAESS ProTopCI y ALTAIR solidThinking Inspire 2014. Se plantean dos tipos de balancines, el tipo A (Fig. 7,8) y el B. La demostración de la sensibilidad de las condiciones iniciales se realiza en el tipo B. El procedimiento para manufacturar la topología computarizada se muestra en un diseño final que es el tipo A.

2.4.- Condiciones iniciales y sensibilidad del tamaño del elemento

Como se mencionó con anterioridad, demostración de las condiciones iniciales y el tamaño de los elementos o la sensibilidad de la densidad de la malla se realizó con el software ALTAIR solidThinking Inspire y CAESS proTopCI. Donde se usó balancín tipo B, ya que los cálculos se realizaron en las primeras etapas del desarrollo del cuadro de una bicicleta.

Para esta parte del trabajo se realizaron varios cálculos. Cada cálculo tiene un tamaño de elemento diferente y un peso objetivo diferente del balancín después de la optimización. El material para estos cálculos es acero. La figura 12 muestra el balancín tipo B después de realizar la optimización de la forma del espacio de diseño.

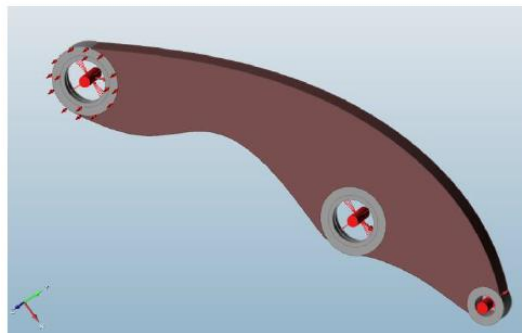


Figura 12: Balancín tipo B. Espacio de diseño – café

La figura 13 muestra un cálculo con un 45 % máx. peso (0,401 kg) y el tamaño medio de los elementos es de 2,05 mm. La figura 14 muestra el mismo tipo de cálculo con un tamaño de elemento diferente. En este caso el peso alcanzado fue de unos 0,344 kg.

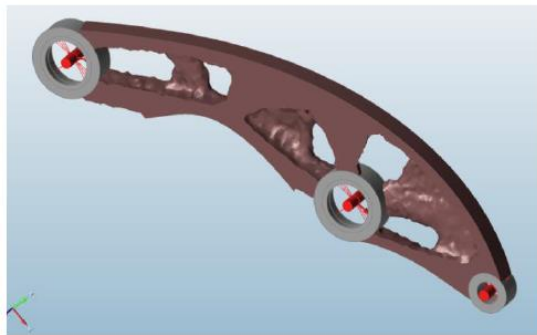


Figura 13: Balancín tipo B. $m=0.401$ kg, tamaño medio del elemento 2.05 mm.

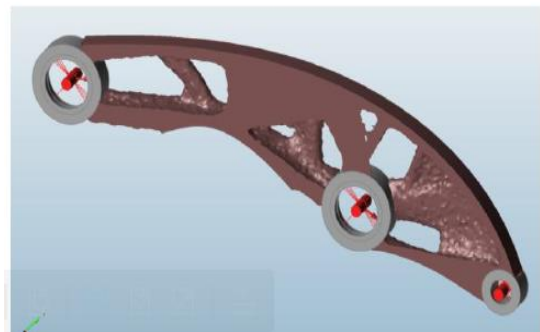


Figura 14: Balancín tipo B. $m=0.344$ kg, tamaño medio del elemento 1.66 mm.

La Figura 15 muestra un cálculo del mismo tipo, pero en un software diferente. Aquí se utilizó CAESS proTopCI para lograr el menor peso posible. El espacio de diseño tiene más de 70 000 elementos. La principal diferencia entre el software ALTAIR y CAESS está en el preprocesador. Mientras que ALTAIR tiene el suyo propio, CAESS utiliza el módulo PTC Creo Simulate, que es mucho más avanzado y, por lo tanto, permite mucho más control sobre la topología calculada. El software ALTAIR es adecuado para el análisis rápido de una distribución óptima de materiales sobre el espacio de diseño y su sensibilidad sobre las condiciones iniciales. La sensibilidad de las condiciones iniciales se demuestra en las figuras 16 y 17. Donde se aplicó una fuerza lateral ficticia al lado trasero del balancín. El tamaño medio de los elementos se volvió a cambiar.



Figura 15: Balancín tipo B. $m=0.104$ kg, tamaño medio del elemento 1.5 mm.

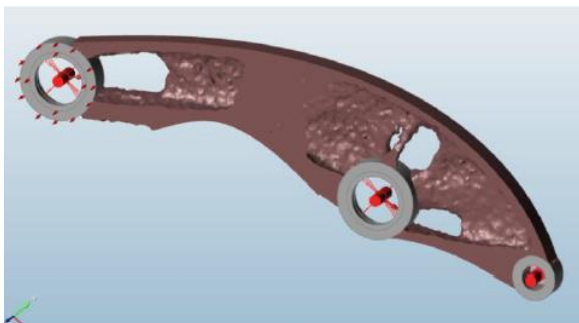


Figura 16: Balancín tipo B. $m=0.366$ kg, tamaño medio del elemento 2.05 mm. Fuerza del lado trasero $F=100$ N

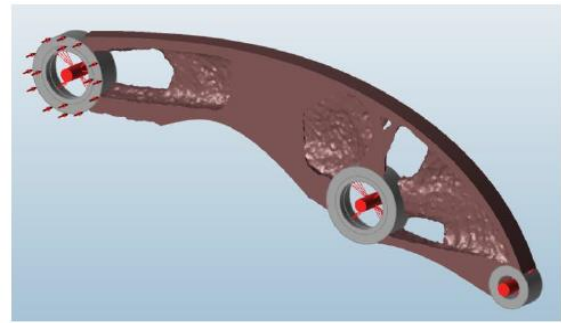


Figura 17: Balancín tipo B. $m=0.359$ kg, tamaño medio del elemento 1.33 mm. Fuerza del lado trasero $F=100$ N

Resultados de la optimización

El material de balancín tipo A para el cálculo fue aleación de aluminio EN AW 6061. La optimización se realizó en el software ALTAIR y CAESS. En el paso 1 (Fig. 18), se realizó un análisis de optimización de forma 2D en PTC Creo. Luego, la geometría calculada se importó al software ALTAIR, donde se dividió en regiones o espacios de diseño y no diseño. La optimización de la topología se realizó en el paso 2. El paso 3 muestra el modelo CAD creado en PTC Creo con referencia al paso 2. El paso 4 muestra las regiones enrejadas y capas insertadas, donde en la forma exterior del modelo se creó una región hexagonal y en el interior del modelo se insertaron varias regiones de la carcasa con una estructura de refuerzo en forma de cruz enrejada (Fig. 19).

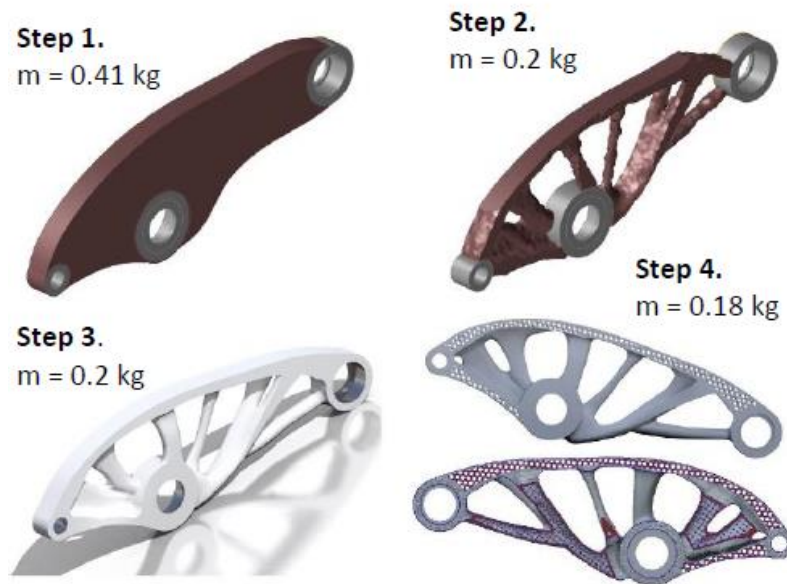


Figura 18: Balancín tipo B. Proceso de optimización de diseño



Figura 19: Balancín tipo A, paso 4, estructura enrejada con vista transversal

Las funciones de enrejado solo se pueden insertar en regiones predefinidas antes de importar un modelo del módulo PTC Creo Simulate. Estas regiones deben crearse en PTC Creo Simulate con la función de región de volumen. Después de eso, el modelo se importó al software CAESS, las estructuras de celosía (Fig. 20) se crearon mediante el siguiente script:

```
Material regions information
*
* {Id=1; Name=soucast; Code=1}
* {Id=2; Name=hexagon; Code=1}
* {Id=3; Name=shell; Code=1}
*
* Default: Full solid structure (normal mode)
*
Set.Gen.RegionMatList = *

Set.Gen.IniTopParValue = 0.001
Cmd.CreateSolid
*
* Lattice region
*
Set.Gen.RegionMatList = 2
Set.Lat.TypeCode = 202
Set.Lat.Origin = 0,0,0
Set.Lat.CellSize = 2
Set.Lat.CellScale = 1,1,1
Set.Lat.Rotation = 0,0,0
Set.Lat.ThicknessMin = 1
Set.Lat.ThicknessMax = 1.5
Cmd.CreateLattice
*
* Lattice region
*
Set.Gen.RegionMatList = 1.
Set.Lat.TypeCode = 100
Set.Lat.Origin = 0,0,0
Set.Lat.CellSize = 3
Set.Lat.CellScale = 1,1,1
Set.Lat.Rotation = 0,0,0
Set.Lat.ThicknessMin = 0.9
Set.Lat.ThicknessMax = 1.5
Cmd.CreateLattice
*
* Shell region
*
Set.Gen.RegionMatList = 1
Set.Shell.ThicknessMin = 1.5
Set.Shell.ThicknessMax = 2
Cmd.CreateShell
```

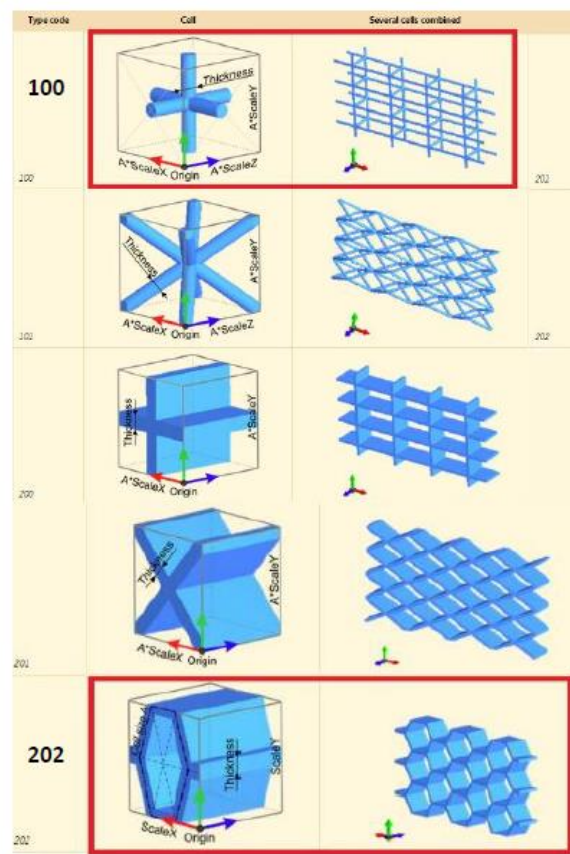


Figura 20: Estructuras enrejadas disponibles (las usadas fueron las marcadas en rojo)

El software ALTAIR también contiene un módulo FEA, donde es posible verificar la topología calculada. Los resultados se muestran en la figura 21. ALTAIR contiene una función de posprocesador bastante útil que permite ocultar un cierto volumen de la pieza de acuerdo con el intervalo seleccionado de tensión, deformación, etc. de Von Mises. El uso de esta función se muestra en el lado derecho de la figura 21. donde la esquina superior derecha muestra el volumen con valores de tensión de Von Mises superiores a 50 MPa. Los valores más altos de tensión de Von Mises son de aproximadamente 80 MPa, que se comparan con el límite elástico del material dentro de los límites permitidos.

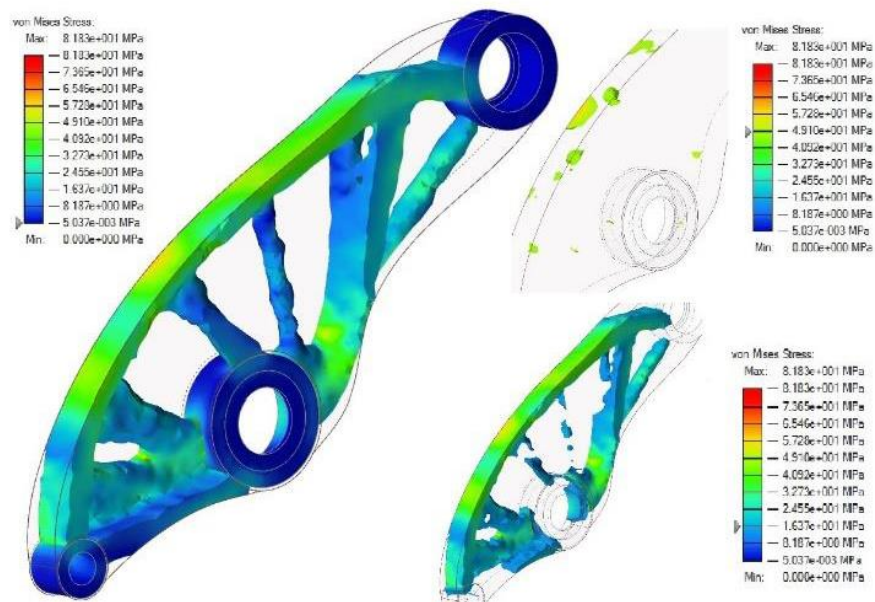


Figura 21: Análisis de elemento finito en balancín tipo A en el paso 2

Conclusiones

Eduardo Villarreal Gámez – 1992043:

En la presente práctica se pudo estudiar la estructura rígida de un marco de bicicleta, conociendo todos los componentes que lo conforman, su geometría y parámetros, sus distribuciones de carga y los materiales más comunes de los que son fabricados, entre otras cosas. En el desarrollo se realizó un análisis de optimización topológica de un balancín superior del cuadro de una bicicleta de montaña.

Esta práctica me permitió darme cuenta que la fabricación de estas piezas optimizadas es una tarea bastante complicada o incluso imposible mediante métodos convencionales, es por ello que se utilizan softwares avanzados como los mencionados, los cuales apenas tienen ciertas limitaciones de diseño, por lo que permiten diseñar piezas con una estructura y una distribución de material efectivas, de modo que la pieza puede ser ligera sin perder ninguna de sus propiedades mecánicas. De esto último considero que radica la importancia de utilizar herramientas apropiadas para el diseño de piezas mecánicas, que son cosas que como ingeniero uno tiene que tener en cuenta.

José Eduardo Mendoza Ziga – 1992212:

En esta práctica se investigó sobre el marco de una bicicleta desde sus componentes, formas, características, hasta sus materiales, funciones, ángulos y como interactúan los esfuerzos en este, para este caso se tomó en cuenta una persona que tiene una altura baja y con simulaciones se determinó cómo debería ser la distribución óptima de material según las posiciones de la persona y los esfuerzos que aplique.

Además, se logró cumplir con el objetivo el cuál fue conocer las secciones que integran el código de optimización topológica además de la creación del archivo y cómo funciona este, también se comprendió cómo funcionan las cargas y esfuerzos en un determinado espacio.

Brandon Arturo Solano Arias -1822072:

En esta práctica se investigó todo sobre lo que compone una bicicleta pero nos centramos en el cuadro de la bicicleta la parte más importante de una bicicleta para determinar la ergonomía y necesidades que debe cumplir, se vio los materiales de los cuales se pueden fabricar las bicicletas y las ventajas y desventajas que cada material ofrece para la construcción de un cuadro, también la forma que debe tener para cada tipo de uso que se le vaya a dar y en los terrenos que será empleada la bicicleta, a través de la optimización

topológica se pudo ahorrar bastante material y mejorar la resistencia a esfuerzos además de aligerar y poder hacer una correcta selección de material para la fabricación del mismo. A través del software ALTAIR se pudo observar mediante la simulación los puntos o el mapeado de los esfuerzos en la estructura del cuadro diseñado, como resultado de esta práctica se pudo emplear la optimización topológica y poder observar todos los beneficios que se obtienen al utilizarlo.

Daniel Alberto Acosta Banda - 1916426:

En esta practicas procedimos a investigar acerca del diseño de bicicletas, en relación a temas vistos anteriormente como el diseño generativo y demás, aparte de eso también se vio acerca de otros detalles esenciales para crear un diseño que sea tanto eficiente como económico, ya sea por ejemplo, el material que se vaya a utilizar para las partes, o la longitud de alguna parte, e incluso otros factores que puedan llegar a verse insignificantes como el ángulo del sillín, o el cómo se acomodan los tubos que son el frame de la bicicleta,

En resumen, podríamos decir que son un montón de detalles por los que puede llegar a ser muy difícil el crear un diseño eficiente, en este aspecto nos puede ayudar de gran manera el diseño generativo.

Oiram Colunga Bernal – 1818785

En esta práctica se realizó un estudio sobre la estructura de una bicicleta así llegando a conocer todos los componentes e importancia de cada uno como su complejidad, así como la importancia del material del cual debe de estar hecho cada componente como las ventajas y desventajas. También se utilizó el software ALTAIR y gracias a este pudimos realizar la optimización topológica, también pudimos observar donde actúan más fuerzas sobre el marco de la bicicleta y así la importancia del material y estos análisis ya que con ellos se pueden mejorar las piezas simuladas.

Raúl Alejandro Tamez González - 1733433

Qué me estás práctica número dos se investigó sobre cómo se constituye una bicicleta, pero el punto central de este desarrollo es específicamente el cuadro de la bicicleta, ya que esta es la parte más importante de todo el cuerpo de la misma que nos determina la ergonomía y necesidades que se deben de tener para poder cumplir con el propósito de llevar una persona Sobre esta misma y sea lo más cómodo posible. Siguieron los distintos tipos de materiales y formas que debía de tener un cuadro de bicicleta para hacer lo más eficiente posible, también la forma que debe tener cada tipo dependiendo del uso que se le va a dar y por los terrenos que estaba recorrer.

Vimos también que no es igual el tipo de cuadro que se hace para las bicicletas, ya que la variable principal es la utilidad que se le va a dar a la misma y debido a esto es que la bicicleta y su diseño varían. Esto nos hace referencia a que la Biomecánica de las cosas van orientadas al uso que se le van a dar ya cómo es que estás te vende comportarse ante el medio ambiente.

Manuel Antonio Ulloa Méndez. - 1992298

En conclusión, esta práctica cumple con su objetivo, ahora comprendo el uso y colocación de esfuerzos y cargas en un espacio determinado. En este caso, para un cuadro de bicicleta. Al final, pude comprender que los parámetros a tomar en cuenta para el diseño y la elección de una bicicleta y en específico del cuadro son demasiados, pueden variar muchas cosas, entender estos parámetros es el primer paso para entender la geometría del cuadro de bicicleta.

Referencias Bibliográficas

- 1- Anónimo. (1 de Junio de 2018). BykeAnalytics. Obtenido de BykeAnalytics: <https://bikeanalytics.com/componentes-bicicleta/>
- 2- Anónimo. (3 de Enero de 2018). La Bicicleta. Obtenido de La Bicicleta: <https://labicicleta.net/escuela/geometria-de-un-cuadro-de-bicicleta/>
- 3- Tuvalum. (3 de Febrero de 2018). *Tuvalum*. Obtenido de Tuvalum: <https://tuvalum.com/blog/guia-materiales-cuadros-bicicleta/#:~:text=Acero%2C%20aluminio%2C%20fibra%20de%20carbono,una%20combinaci%C3%B3n%20de%20ambos%20materiales.>
- 4- [GE 2015] GE Reports staff. The FAA Cleared the First 3D Printed Part to Fly in a Commercial Jet. GE, 2015, [online]. April 14, 2015 [26/06/2015]. Available from <<http://www.gereports.com/post/116402870270/the-faa-cleared-the-first-3d-printed-part-to-fly>>.
- 5- [Ackermann 2014] Ackermann, M. et al. Properties of Models Produced by Direct Selective Laser Melting Technology. In: Novel Trends in Production Devices and Systems II, Pfaffikon: Trans Tech Publications, 231-236, ISBN 978-3-03835-313-3
- 6- [CAESS 2015] CAESS d.o.o. Caess ProTOp help documentation. Maribor: CAESS, 2015.\
- 7- [Cadek 2015] Cadek, M. Special mountain-bike frame design. Diploma thesis. Liberec: Technical University of Liberec, 2015. (in Czech)
- 8- [Kubec 2010] Kubec, V. and Cechura, M. Contemporary design possibilities in the design of the frames of large hydraulic presses. MM Prumyslove spektrum, November 2010, 2010, 11, 20-21, ISSN 1212-2572 (in Czech)
- 9- [SLM 2014] SLM Solutions GmbH. SLM Materials - Discover the variety. Form SLM Materials Rel. 02/2014_11. Lübeck: SLM Solutions, 2014.
- 10- [Weck 2004] de Weck, O. L. and Kim, Y. Design Optimization -Structural Design optimization. Massachusetts Institute of Technology, 2004.