



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

TESIS:

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE
AMORTIGUAMIENTO DE UNA BICICLETA
MONTAÑERA MODELO “CROSS COUNTRY” PARA
INCREMENTAR LOS CICLOS DE VIDA ÚTIL**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO ELECTRICISTA**

Autor (es):

Bach. Bautista Gomez Nilson Roiner

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4531-4452>

Bach. Delgado Cajalean Jose Domel

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7946-8006>

Asesor:

Mtro. Vives Garnique Juan Carlos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0988-9881>

Línea de investigación:

Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente

Pimentel – Perú

2023

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE AMORTIGUAMIENTO DE UNA BICICLETA
MONTAÑERA MODELO “CROSS COUNTRY” PARA INCREMENTAR LOS
CICLOS DE VIDA ÚTIL**

Aprobación del Jurado

Dra. GASTIABURÚ MORALES SILVIA YVONE
Presidente del Jurado de Tesis

Mg. POLO BRICEÑO ELMER ROLANDO
Secretario del Jurado de Tesis

Mtro. VIVES GARNIQUE JUAN CARLOS
Vocal del Jurado de Tesis

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quienes suscribimos la **DECLARACIÓN JURADA**, somos egresados del Programa de Estudios de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaramos bajo juramento que somos autores del trabajo titulado:

REDISEÑO DEL SISTEMA DE AMORTIGUAMIENTO DE UNA BICICLETA MONTAÑERA MODELO "CROSS COUNTRY" PARA INCREMENTAR LOS CICLOS DE VIDA ÚTIL

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán (CIEI USS) conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación a las citas y referencias bibliográficas, respetando al derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Bautista Gomez Nilson Roiner	DNI:70808466	
Delgado Cajalean Jose Domel	DNI: 75837100	

* Porcentaje de similitud turnitin:9%

Pimentel, 30 de marzo de 2023.

Reporte de similitud	
NOMBRE DEL TRABAJO REDISEÑO DEL SISTEMA DE AMORTIGUAMIENTO DE UNA BICICLETA MONTAÑERA MODELO "CROSS COUNTRY" PARA INCREMENTAR LOS CICLOS DE VIDA ÚTIL	AUTOR NILSON ROINER y JOSE DOMEL BAUTISTA GOMEZ y DELGADO CAJALEAN
RECUENTO DE PALABRAS 9579 Words	RECUENTO DE CARACTERES 51583 Characters
RECUENTO DE PÁGINAS 81 Pages	TAMAÑO DEL ARCHIVO 5.6MB
FECHA DE ENTREGA Aug 15, 2023 4:43 PM GMT-5	FECHA DEL INFORME Aug 15, 2023 4:44 PM GMT-5
<p>● 9% de similitud general El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base</p> <ul style="list-style-type: none"> 8% Base de datos de Internet 0% Base de datos de publicaciones Base de datos de Crossref Base de datos de contenido publicado de Crossref 5% Base de datos de trabajos entregados <p>● Excluir del Reporte de Similitud</p> <ul style="list-style-type: none"> Material bibliográfico Material citado Coincidencia baja (menos de 8 palabras) 	

Dedicatoria

De forma especial va dedicado con amor a mis queridos padres: Segundo Bautista Valdivia y Maribel Gómez Gonzáles quienes me impulsaron a dar el siguiente paso para culminar mis estudios universitarios y nunca rendirme a pesar de las adversidades que se me presentaron en el trayecto de la vida, fueron un soporte de apoyo para seguir hasta el final y continuar. A todos mis hermanos por brindarme siempre su apoyo incondicional.

Bautista Gomez Nilson Roiner

Este trabajo de investigación está dedicado a mi familia por ser el principal soporte moral y económico durante mi carrera universitaria. Sobre todo, está dedicado a mis padres que estuvieron en los momentos más difíciles de mi vida apoyándome con su cariño y comprensión. Sus consejos siempre estarán presentes en mi conciencia y me ayudarán a superar las adversidades que se presenten en el camino.

Delgado Cajalean Jose Domel

Agradecimiento

Mi más grande y sincero agradecimiento a mi Dios padre conocedor y salvador de nuestras vidas, que estuvo presente conmigo en cada momento difícil de mi vida, por recargarme de energía y nunca desampararme, a pesar de mis defectos siempre me dio su luz de esperanza.

Por brindarme su asesoría, paciencia y conocimiento para concluir de manera exitosa en mi investigación al Mg. Juan Carlos Vives Garnique, un sincero agradecimiento.

De manera particular a todos mis familiares, amigos y compañeros que me han brindado sus consejos y apoyo para concluir de manera exitosa mis estudios universitarios.

Bautista Gomez Nilson Roiner

Agradezco profundamente a mi alma mater por brindarme las capacidades teóricas y técnicas con las que cuento en la actualidad. Las oportunidades que me han brindado han sido incomparables, y la plana docente que me acompañó a lo largo de todos estos años ha sido un lujo para mí.

Agradezco a mis docentes y compañeros que siempre me motivaron y despertaron la curiosidad de aprender y conocer la carrera que amo, así mismo mis padres por ser los principales promotores de mi vida universitaria y permitirme cumplir mis sueños, inclusive por encima de los suyos y sin esperar nada más que nuestro aprecio y respeto.

Un sincero agradecimiento para todos ustedes.

Delgado Cajalean Jose Domel

Índice

Dedicatoria.....	4
Agradecimiento.....	5
Índice de Tablas	7
Resumen	9
Abstract.....	10
I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad problemática.....	11
1.2. Formulación del problema.....	13
1.3. Hipótesis.....	15
1.4. Objetivos.....	15
1.5. Teorías relacionadas al tema.....	16
II. MATERIALES Y MÉTODO.....	33
2.1. Tipo y diseño de investigación.....	33
2.2. Variables y Operacionalización.....	33
2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección.....	36
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	36
2.5. Procedimientos de análisis de datos.....	37
2.6. Criterios éticos.....	38
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
3.1. Resultados.....	40
3.2. Discusión.....	84
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	87
4.1. Conclusiones.....	87
4.2. Recomendaciones.....	89
REFERENCIAS	90
ANEXOS.....	92

Índice de Tablas

FIGURA 1. Componentes de una bicicleta.....	16
FIGURA 2. Máquina.....	17
FIGURA 3. Mecanismo.....	18
FIGURA 4. Dibujo de un mecanismo biela-pistón (izquierda) y su esquema cinemático (derecha).....	18
FIGURA 5. Fuerzas que actúan sobre un ciclista en un terreno llano.....	19
FIGURA 6. Fuerzas que actúan sobre un ciclista en un puerto.....	20
FIGURA 7. Modelo matemático de un sistema con amortiguación forzada.....	21
FIGURA 8. Suspensión pasiva.....	23
FIGURA 9. Suspensión activa.....	24
FIGURA 10. Suspensión semiactiva.....	25
FIGURA 11. Componentes de un dispositivo amortiguador.....	26
FIGURA 12. Diseños de suspensión de bicicleta más comunes.....	27
FIGURA 13. <i>Fuerzas transmitidas a las suspensiones</i>	28
FIGURA 14. Suspensión de un solo apoyo.....	29
FIGURA 15. Suspensión doble apoyo.....	30
FIGURA 16. Amortiguador tipo aire.....	30
FIGURA 17. Amortiguador tipo muelle.....	31
FIGURA 18. Amortiguador tipo botella.....	32
FIGURA 19. Amortiguador tipo electrónico.....	32
FIGURA 20. <i>Modelo bidimensional bicicleta - conductor</i>	41
FIGURA 21. <i>Diagrama de cuerpo libre del sistema</i>	42
FIGURA 22. Cuerpo principal de la bicicleta.....	43
FIGURA 23. Diagrama de cuerpo libre del sistema.....	45
FIGURA 24. Variación de la fuerza sobre el resorte con respecto a la pendiente.....	50
FIGURA 25. Bicicleta montañera usada en la simulación.....	53
FIGURA 26. Fuerza aplicada sobre el asiento.....	54
FIGURA 27. Fuerza que genera el conductor sobre los pedales.....	55
FIGURA 28. Aplicación de los parámetros del sistema de suspensión.....	56
FIGURA 29. Aplicación de una fuerza segmentada de 60 Kg sobre el asiento.....	58
FIGURA 30. Fuerza que aplica el ciclista sobre los pedales.....	59
FIGURA 31. Fuerzas de reacción del estudio 01.....	60
FIGURA 32. <i>Velocidad y desplazamiento del estudio 01</i>	61
FIGURA 33. Aplicación de una fuerza segmentada de 70 Kg sobre el asiento.....	62
FIGURA 34. Fuerza que aplica el ciclista sobre los pedales.....	63
FIGURA 35. Fuerzas de reacción del estudio 02.....	64
FIGURA 36. Velocidad y desplazamiento del estudio 02.....	65
FIGURA 37. Aplicación de una fuerza segmentada de 80 Kg sobre el asiento.....	66

FIGURA 38. Fuerza que aplica el ciclista sobre los pedales.	67
FIGURA 39. Fuerzas de reacción del estudio 03.	68
FIGURA 40. Velocidad y desplazamiento del estudio 03.	69
FIGURA 41. Aplicación de una fuerza segmentada de 90 Kg sobre el asiento.	70
FIGURA 42. Fuerza que aplica el ciclista sobre los pedales.	71
FIGURA 43. Fuerzas de reacción del estudio 04.	72
FIGURA 44. Velocidad y desplazamiento del estudio 04.	73
FIGURA 45. Desplazamientos generados en los estudios 1, 2, 3 y 4.	74
FIGURA 46. Nuevo desplazamiento de la suspensión en el Estudio 01.	78
FIGURA 47. <i>Nueva curva de velocidad de la suspensión en el Estudio 01.</i>	78
FIGURA 48. Nueva fuerza de reacción del sistema de suspensión en el Estudio 01.	79
FIGURA 49. Nuevo desplazamiento generado en el Estudio 02.	79
FIGURA 50. Nueva curva de velocidad de la suspensión en el Estudio 02.	80
FIGURA 51. Nuevas fuerzas de reacción generadas en el Estudio 02.	80
FIGURA 52. Nuevo desplazamiento de la suspensión en el Estudio 03.	81
Figura 53. Nueva curva de velocidad de la suspensión en el Estudio 03.	81
Figura 54. Nuevas fuerzas de reacción generadas en el Estudio 03.	82
Figura 55. Nuevo desplazamiento de la suspensión en el Estudio 04.	82
Figura 56. Nueva curva de velocidad de la suspensión en el Estudio 04.	83
Figura 57. <i>Nuevas fuerzas de reacción generadas en el Estudio 04.</i>	83

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo rediseñar el sistema de amortiguamiento de una bicicleta montañera modelo "Cross Country" con la finalidad de obtener un mayor rendimiento y comodidad para el usuario. Para la obtención de las dimensiones y características de la bicicleta se hizo una revisión bibliográfica. El procedimiento aplicado inicia con el análisis estático del modelo conductor – bicicleta, con la finalidad de determinar las cargas que se aplican al amortiguador. Se consideraron para el análisis la masa del conductor, la masa de la bicicleta, y la fuerza que aplica el conductor sobre los pedales. En segundo lugar, se llevaron a cabo 4 simulaciones dinámicas en el software "SolidWorks", de tal manera que se obtuvieron las funciones del desplazamiento, la velocidad y las fuerzas de reacción del sistema de amortiguación. Los resultados obtenidos nos indicaron un desplazamiento muy pequeño y una velocidad excesiva en comparación con las condiciones que se muestran en las bibliografías encontradas. A raíz de los hallazgos se buscó mejorar las características de trabajo del amortiguador, modificando las propiedades del mismo (constante del resorte y constante de amortiguamiento). Se consideró el diseño de dos tipos de amortiguadores, el primero para cargas de 80 – 100 Kg y el segundo para cargas de 120 – 130 Kg. Los nuevos coeficientes aplicados al sistema de amortiguamiento generaron desplazamientos de 44 y 43 mm, y velocidades de 446 – 551 mm/seg como máximo.

Palabras clave: Amortiguación, suspensión, bicicleta, constantes de amortiguamiento.

Abstract

The objective of this investigation is to redesign the damping system of a "Cross Country" model mountain bike in order to obtain greater performance and comfort for the user. To obtain the dimensions and characteristics of the bicycle, a bibliographic review was made. The applied procedure begins with the static analysis of the driver-bicycle model, in order to determine the loads applied to the shock absorber. The mass of the driver, the mass of the bicycle, and the force applied by the driver on the pedals were considered for the analysis. Secondly, 4 dynamic simulations were carried out in the "SolidWorks" software, in such a way that the functions of the displacement, the speed and the reaction forces of the damping system were obtained. The results obtained indicated a very small displacement and an excessive speed in comparison with the conditions shown in the bibliographies found. As a result of the findings, it was sought to improve the work characteristics of the shock absorber, modifying its properties (spring constant and damping constant). The design of two types of shock absorbers was considered, the first for loads of 80 - 100 Kg and the second for loads of 120 - 130 Kg. The new coefficients applied to the damping system generated displacements of 44 and 43 mm, and speeds of 446 – 551 mm/sec maximum.

Keywords: Damping, suspension, bicycle, damping constants.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática.

La utilidad de la bicicleta como medio de transporte está aumentando radicalmente en las ciudades de América Latina y el Caribe, mejorando la movilidad, la equidad y el acceso a nuevas oportunidades. El ciclismo urbano puede llegar a reducir significativamente los problemas de tráfico, mala calidad del aire y emisiones de gases de efecto invernadero [1]. Como opción de transporte, las bicicletas contribuyen al desarrollo y competitividad de las ciudades [2].

Poco a poco, dentro del mercado nos estamos dirigiendo hacia la personalización de los productos y servicios, esto significa que las empresas ahora se están enfocando en desarrollar productos que se ajusten a condiciones y comportamientos de usuarios individuales [3]. Las bicicletas no son la excepción, debido a que las condiciones de trabajo a las que son sometidas varían mucho de usuario a usuario. La optimización aplicada para cualquier mecanismo de la bicicleta, uno de ellos es el sistema de amortiguamiento. Ajustar los ciclos de vida útil y resistencia a la tracción de un sistema de amortiguamiento traería una mayor ergonomía para el usuario, que a largo plazo ahorraría dinero en mantenimiento y repuestos.

Las suspensiones aíslan al ciclista de las vibraciones y los choques inducidos por el terreno al permitir que las ruedas se muevan de forma independiente frente al resto de la bicicleta. Por lo tanto, el ciclista y la bicicleta equipada con suspensiones pueden recorrer un camino más suave, ya que solo las ruedas siguen los contornos del terreno, lo que mejora la comodidad y el manejo de la bicicleta. Los sistemas de suspensión de bicicletas se han diseñado para mejorar la comodidad y el manejo de la bicicleta al disipar la energía inducida por el terreno. Pero en muchos casos debido al uso constante y malas prácticas de cuidado tienden a desgastarse en menor tiempo. Regularmente los ciclistas tienden a gastar más

recursos en mantenimiento y repuestos relacionados al sistema de suspensión, sobre todo los ciclistas de montaña. Esto principalmente debido a los diferentes patrones de conducción del usuario y a las características del terreno. Muchas veces los usuarios no prestan atención a los fabricantes con respecto a las condiciones de trabajo pertinentes para su bicicleta, llevando a desgastes prematuros, sobre todo en el sistema de amortiguamiento.

En este contexto, si un conductor frecuentemente recorre un terreno muy accidentado, a largo plazo el sistema de amortiguamiento tendrá un menor rendimiento que un conductor que recorre una superficie plana; lo mismo sucede con el peso del usuario, a mayor peso, mayor trabajo para el sistema de amortiguamiento, sobre todo en un terreno accidentado. De modo, que durante el diseño de un sistema de amortiguamiento se debe considerar como mínimo el comportamiento de conducción del usuario, su peso, y el estado del terreno.

En los mercados la demanda busca una bicicleta que se adapte a todas sus comodidades y condiciones de esa manera sea más comfortable para los usuarios. Por cada uno de los puntos que se expuso anteriormente, se considera razonable la realización de este prototipo de investigaciones que tengan relación con el mejoramiento del sistema de amortiguación.

En los sistemas de amortiguamiento, el rediseño se lleva a cabo con la finalidad de optimizar los ciclos de vida, buscando mayor confiabilidad en el consumidor, más seguridad durante el recorrido, además se busca promover a que la sociedad se limite a trasportarse en vehículos que emiten gases contaminantes que puedan ser nocivos para el medio ambiente y optar por una movilidad sostenible, cooperando a reducir la polución medioambiental.

Las bicicletas con amortiguamiento existen en los mercados, pero estas aún requieren un mejoramiento en esta área a causa de las condiciones de trabajo a las que las somete el usuario, optando así darle una mayor importancia a este tema que requiere de un análisis detallado para lograr un rendimiento eficiente y seguro. Esta investigación pretende incentivar más a la población al uso eficiente de la bicicleta, ya que se trata de un medio de transporte

económico y accesible, esto ayudará al ciclista a limitarse de gastos sumamente elevados en reparaciones, como es el caso más crítico de las reparaciones en suspensión o en algunos casos hasta cambio por completo del sistema.

1.2. Formulación del problema.

La suspensión está diseñada con un fin en específico de absorber impactos generadas por la rueda trasera. En una bicicleta de montaña, para el sistema de suspensión trasera utiliza un triángulo que soporta el eje de la rueda trasera, que tiene probabilidades de pivotar en correlación con los tubos del cuadro principal. El triángulo trasero comprende cinco partes entre ellos se encuentra el amortiguador. El movimiento del triángulo trasero se controla mediante un varillaje cinemático (tirante del asiento, tirante de cadena, pivote de la suspensión trasera) y un amortiguador. La geometría del varillaje y la ubicación del amortiguador varían según la aplicación prevista y el diseño adoptado por el fabricante de la bicicleta. Al igual que el sistema delantero, los amortiguadores traseros generalmente consisten en una combinación de resortes mecánicos, resortes neumáticos y amortiguadores hidráulicos, a menudo con control independiente de compresión y rebote. Las ventajas que ofrece una bicicleta con un sistema de amortiguación son que el ciclista percibe fuerzas de impacto más bajas al transportarse sobre terreno accidentado reduciendo la fatiga del ciclista, además la rueda trasera en todo momento mantiene contacto con el suelo mientras pasa el bache, generando un manejo más cómodo [4].

Este trabajo de investigación corresponde a [5] en su proyecto de tesis: "Modelo y simulación dinámica de bicicletas de montaña". Aquí el autor nos habla sobre la cantidad de bicicletas que existen y sus distintas marcas, así como también tipos de suspensiones, siempre cada una de ellas con sus ventajas y sus desventajas es por ello que hizo un estudio del comportamiento de la suspensión trasera de una bicicleta, en el cual se utilizó distintos modelos de bicicleta de doble suspensión y simular en un software (SimMechanics), su comportamiento ante excitaciones externas para así utilizar la adecuada comodidad en el

estudio del grado de confort para el ciclista, donde se obtuvo resultados favorables gracias a este tipo de software que son de gran ayuda y simulan de forma correcta, de esta manera se llegó a la conclusión que con este tipo de proyectos de simulación es válido para los distintos tipos de suspensiones traseras para bicicletas de montaña ya que nos ayudan a tener un mejor enfoque de su funcionamiento.

La investigación corresponde a [6] con título “Kinematic Analysis and Optimization of Bicycle Suspension” (Análisis cinemático y optimización de la suspensión de Bicicletas). Para la optimización de la suspensión se ha utilizado una ecuación cinemática para el Índice de Activación de la Suspensión (SAR), que es el índice entre la fuerza de activación de la suspensión, incluyendo la fuerza de pedaleo; todo esto dependiendo de la suspensión, geometría del cuadro y la transmisión de la bicicleta; buscando así lograr un SAR de cero. Los resultados obtenidos demuestran que la optimización de las posiciones de pivote, obtenidos mediante el uso del SAR, concuerdan con modelos dinámicos y pruebas para bicicletas de montaña (Cross country); confirmando la validez del enfoque realizado. Debido a que se ha considerado las fuerzas provocadas por el pedaleo en la suspensión trasera, se llega a la conclusión que para tener una optimización eficiente se debe tener en cuenta las fuerzas de frenado, siendo así, viable llevar a cabo una optimización combinada para reducir el efecto generado por el pedaleo y frenado.

La investigación fue desarrollada por [7] en su tesis: “Caracterización y análisis del uso de bicicletas en la PUCP y lineamientos para su fomento”. En esta tesis el autor pretende hacer un análisis del uso de bicicletas en la PUCP y su tendencia en su utilización para lo cual planteo medidas políticas para fomentar el uso de bicicletas en la PUCP y estas estén basadas en el conocimiento del ciclista, para ello se llevó a cabo estudios, encuestas dentro el campus de la universidad, asimismo se liberaron puntos de suma importancia que se deben tener en cuenta para mejorar su imagen como medio de transporte y también que sirva como un medio de transporte limpio, como resultado se obtuvo que los alumnos temen usarlas por

la poca seguridad que brinda el estado para fomentar el uso de las bicicletas, también existen dos clases de ciclo parqueadero tipo “pétalo” y tipo “onda” con una capacidad total de 218 bicicletas de manera ordenada. Se llegó a la conclusión de que el uso de las bicicletas es muy ventajoso ya que es ambiental, socialmente sostenible, es muy bueno para la salud y además su nivel de vida urbana es maravilloso, lo que sí lo afecta directamente son los factores psicológicos internos de la persona y las normas sociales del ambiente donde habita.

¿Qué propiedades se tendrán en cuenta para el rediseño del sistema de amortiguamiento de una bicicleta montañera Cross Country y poder incrementar los ciclos de vida útil?

1.3. Hipótesis.

Mediante propiedades dinámicas y disipación de la energía cinética se podrá rediseñar el sistema de amortiguamiento de una bicicleta montañera modelo Cross Country, pues se nos hará más fácil al momento de ajustar el rendimiento de las suspensiones en diferentes etapas de su recorrido y así obtener mayor duración de vida en la suspensión.

1.4. Objetivos.

Objetivo general.

Rediseñar el sistema de amortiguamiento de una bicicleta montañera Cross Country, para incrementar los ciclos de vida útil en la suspensión.

Objetivos específicos.

- Determinar las cargas críticas en los amortiguadores de la bicicleta según la posición manejo y distribución de masa del ciclista.
- Evaluar mediante la simulación dinámica y frecuencial el comportamiento de la suspensión actual de la bicicleta.

- Analizar los resultados obtenidos, para así poder ver sus ventajas y desventajas del diseño de la suspensión.
- Rediseñar el sistema de amortiguamiento de la bicicleta para reducir los niveles de vibración dinámica, así mismo incrementar los ciclos de vida útil de la suspensión.

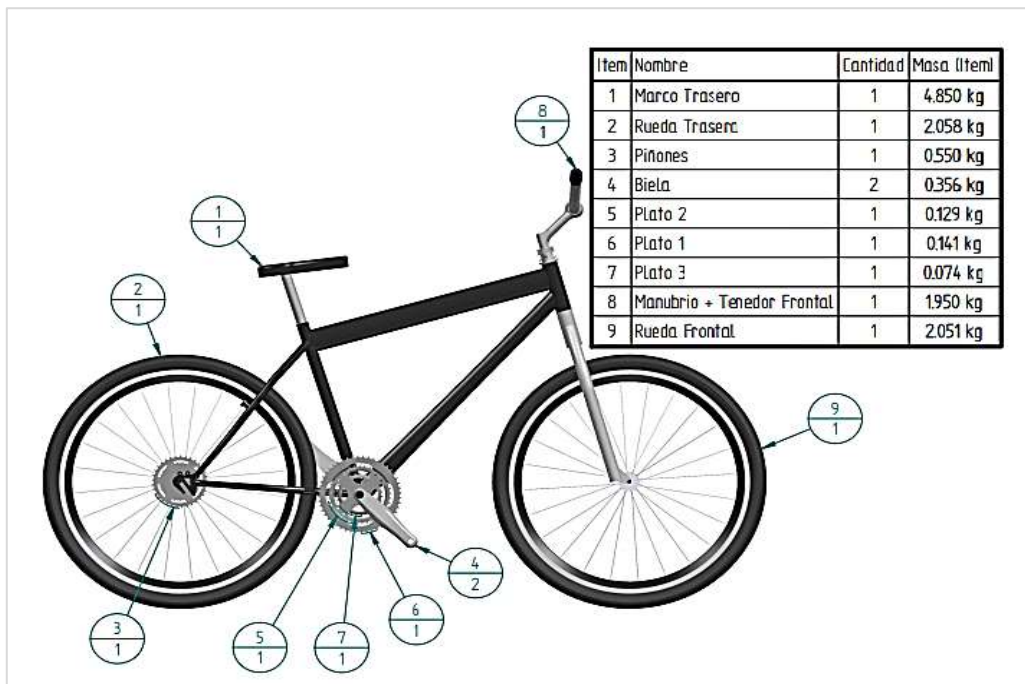
1.5. Teorías relacionadas al tema.

Máquina, mecanismo y diagrama cinemático.

Máquina.

“Es la combinación de piezas ajustadas entre sí, utilizadas para realizar un trabajo determinado. En la actualidad el concepto de maquina se relaciona con la capacidad para transferir niveles de fuerza/momentos cuantiosos.” [8, p. 2]. Las piezas o componentes básicos que conforman una bicicleta son los siguientes:

FIGURA 1. Componentes de una bicicleta.



Fuente: Extraído de [9].

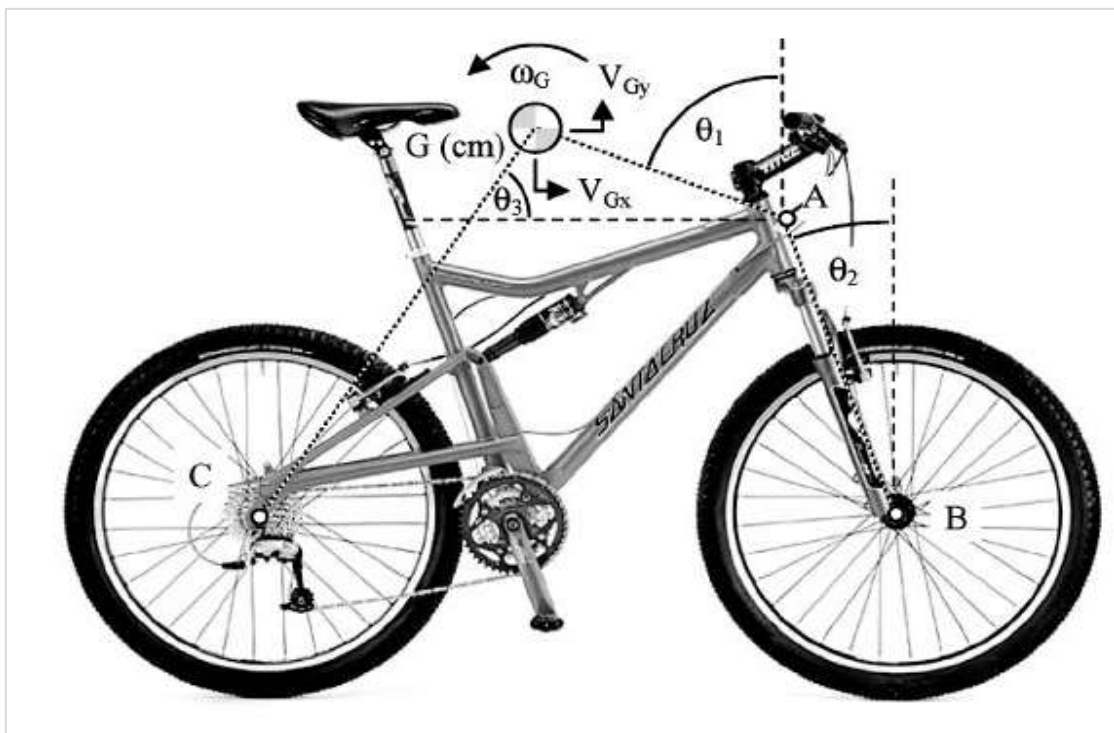
Mecanismo.

“Un mecanismo es una mezcla de cuerpos rígidos, que se conectan entre sí por lo que el movimiento relativo entre los elementos individuales está limitado” [10].

Diagrama cinemático.

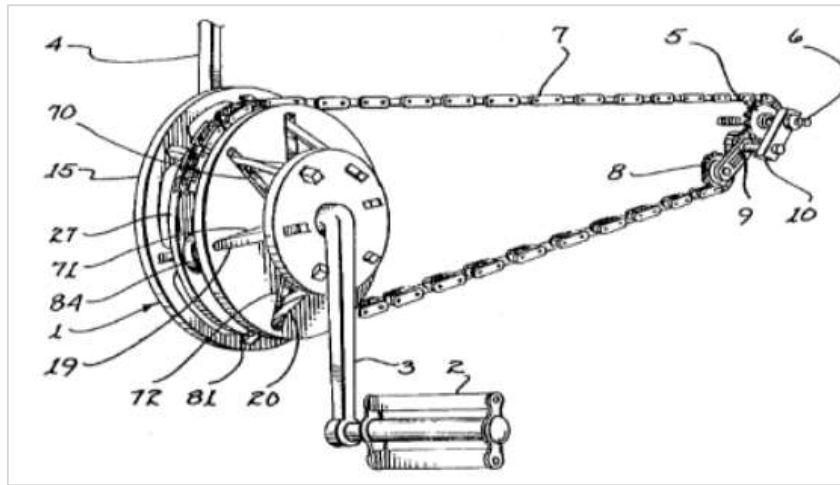
Un diagrama cinemático representa la conexión entre las barras y articulaciones de un mecanismo o máquina. Las barras pueden encontrarse de diferentes geometrías (líneas, triángulos, cuadrados); las articulaciones son elementos que permiten rotación, traslación, o movimientos entre eslabones. El análisis de mecanismos requiere que se dibujen con precisión la relación entre los eslabones y las juntas que forman el mecanismo. A continuación, se representa un ejemplo de cada uno de los conceptos mencionados anteriormente (ver figura 3,4,5).

FIGURA 2. Máquina.



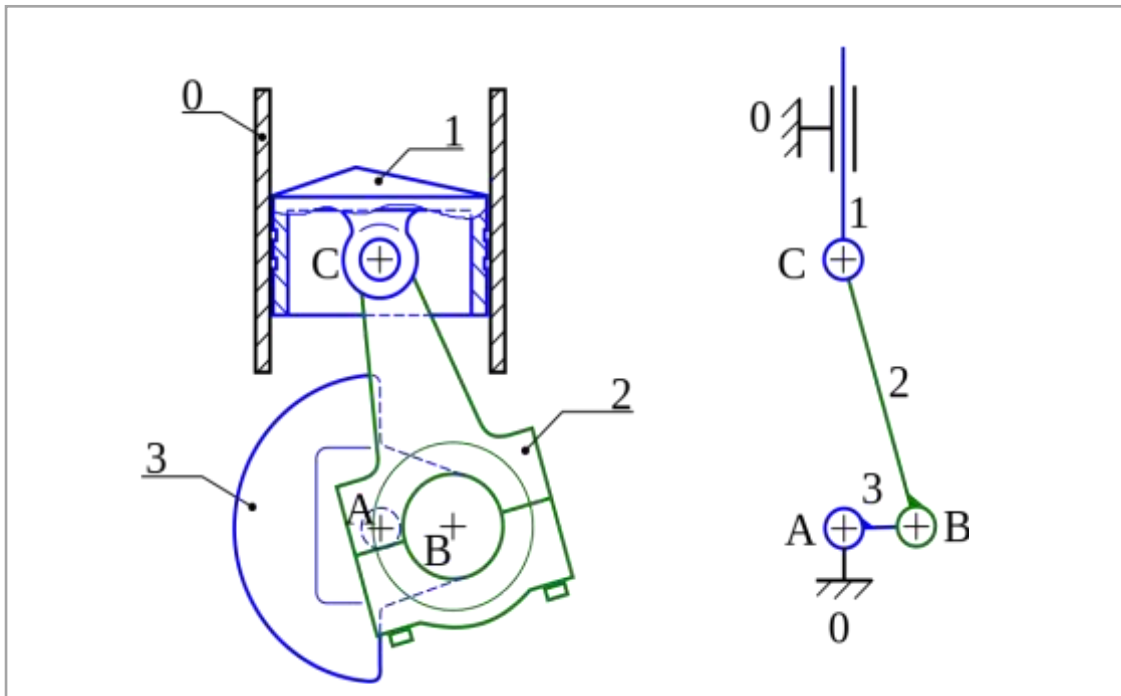
Fuente: Extraído de [11].

FIGURA 3. Mecanismo.



Fuente: Extraído de [12].

FIGURA 4. Dibujo de un mecanismo biela-pistón (izquierda) y su esquema cinemático (derecha).



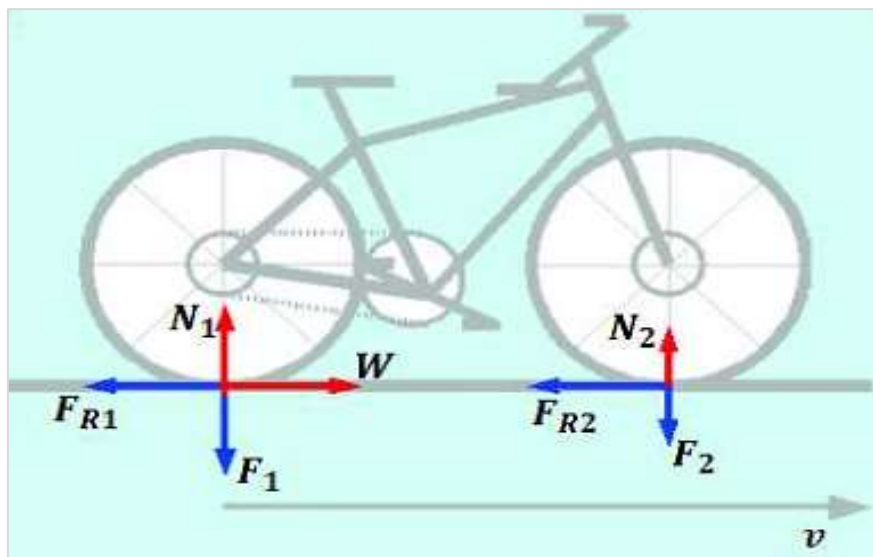
Fuente: Extraído de Wikipedia.

Fuerzas sobre un ciclista.

Vamos a considerar la relación ciclista - bicicleta como centro de masas, donde las fuerzas se representarán en un diagrama de cuerpo libre (DCL).

- a) **En el llano:** Su peso del ciclista es totalmente equilibrado por la fuerza normal. Donde la normal siempre es perpendicular a la superficie de apoyo, entonces todas las fuerzas que actúan en el eje vertical son cero.

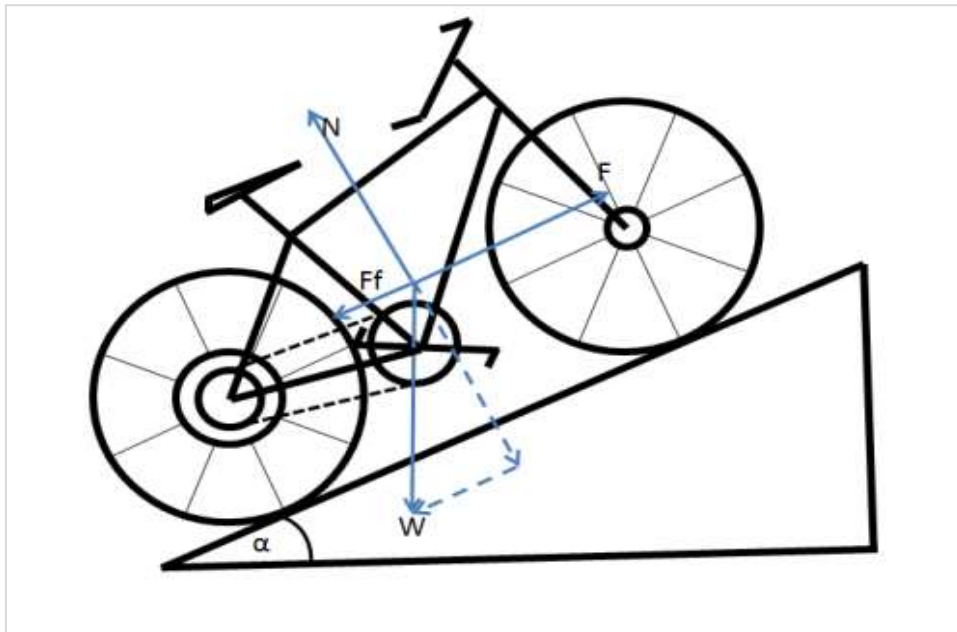
FIGURA 5. Fuerzas que actúan sobre un ciclista en un terreno llano.



Fuente: Elaboración propia.

- b) **En un puerto:** En este caso vamos a tomar como referencia al eje x al eje de la carretera y como eje y a la perpendicular del eje x. En peso la relación ciclista-bicicleta, tiene como dirección el centro de la tierra.

FIGURA 6. Fuerzas que actúan sobre un ciclista en un puerto.



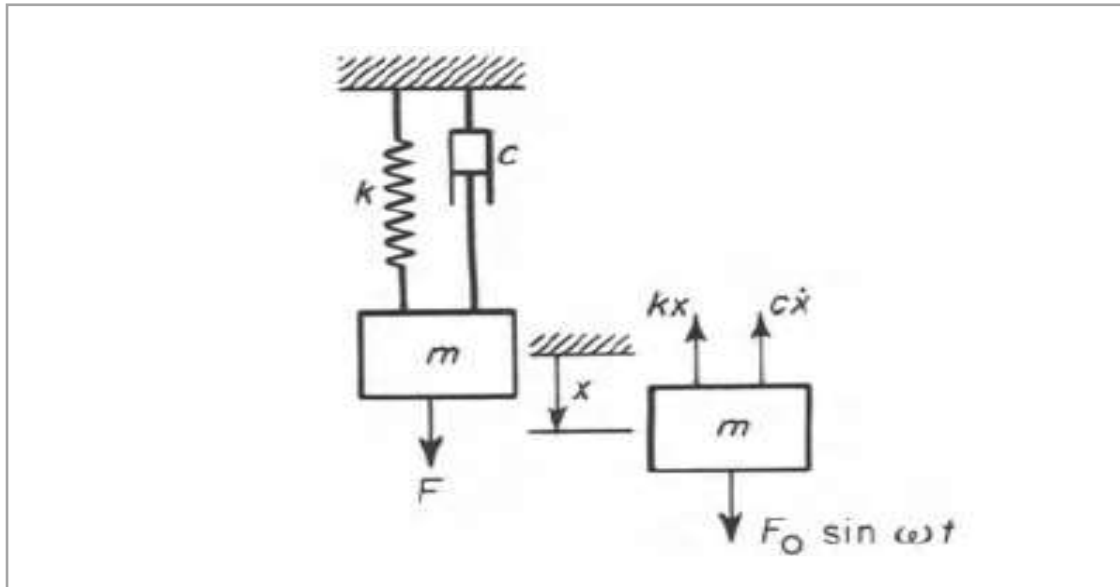
Fuente: Extraído de [13].

Análisis de vibraciones.

Las vibraciones mecánicas son movimientos oscilatorios que se genera sobre la posición de equilibrio de un cuerpo. Todo cuerpo que posea masa y elasticidad es capaz de vibrar. Es importante considerar el estudio de las vibraciones mecánicas debido a que muchas máquinas y estructuras están experimentándolas durante su operación. Todos los sistemas vibratorios están sujetos a amortiguación hasta cierto punto porque la energía se disipa por la fricción y otras resistencias. La vibración forzada tiene lugar bajo la excitación de fuerzas externas. En este caso el sistema tiende a vibrar a la frecuencia de la excitación externa. Si esta frecuencia de excitación coincide con la frecuencia natural de vibración del sistema, nos encontramos frente a la condición de resonancia, que puede ocasionar oscilaciones muy peligrosas. La resonancia debe evitarse en la mayoría de los casos y, para evitar que se desarrollen grandes amplitudes, a menudo se utilizan amortiguadores y absorbentes.

Consideraremos un sistema de un grado de libertad con amortiguamiento viscoso y excitado por una fuerza armónica externa. Su ecuación diferencial de movimiento se encuentra a partir del diagrama de cuerpo libre.

FIGURA 7. Modelo matemático de un sistema con amortiguación forzada.



Fuente: Extraído de [14].

Su ecuación diferencial de movimiento se encuentra a partir del diagrama de cuerpo libre, que es:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0 \sin \omega t$$

Donde:

- m : Masa del sistema.
- K : Constante del resorte.
- C : Constante de amortiguación.

Sistema de amortiguamiento.

El dispositivo mecánico que está diseñado para absorber, suavizar el impulso de choque durante el funcionamiento de un vehículo se denomina amortiguador [15]. Un sistema de suspensión o amortiguador es un dispositivo mecánico diseñado para suavizar o amortiguar el impulso de choque y disipar la energía cinética [16]. El amortiguador aporta beneficios en la conducción y maniobrabilidad del vehículo, debido a que aísla el chasis de las irregularidades del terreno evitando que las fuerzas de reacción afecten directamente al conductor [17]. De manera resumida podemos definir las siguientes funciones [18]:

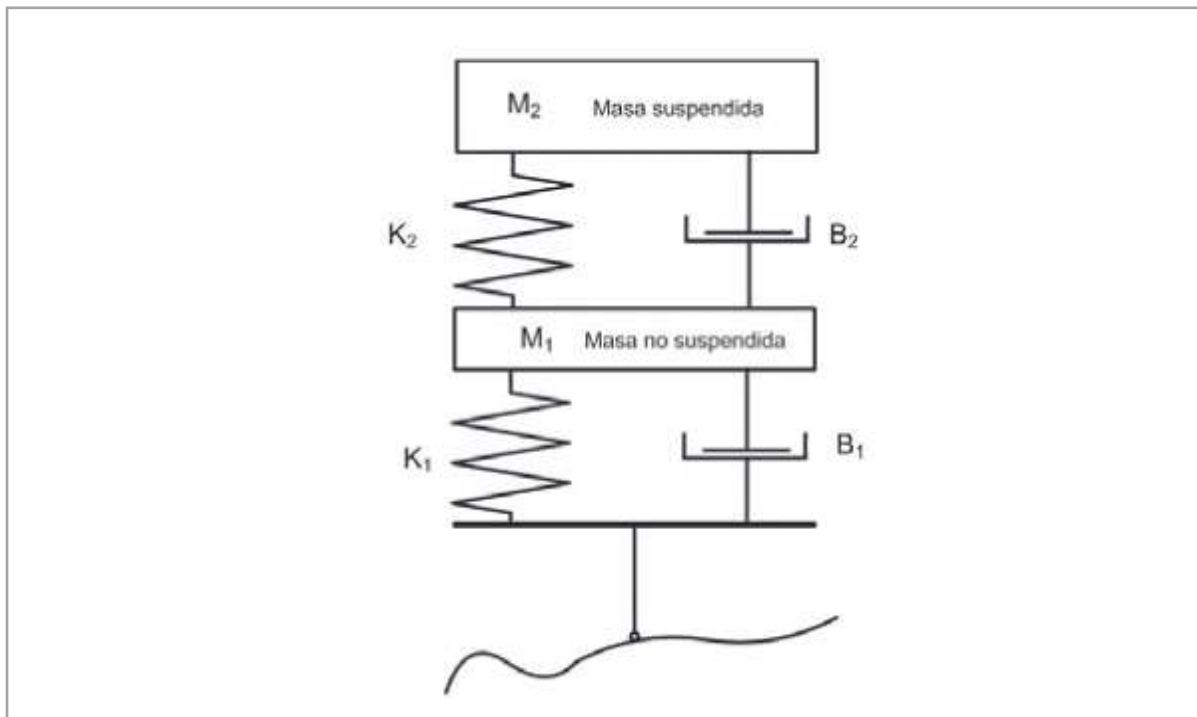
- Soporta la masa del coche.
- Protege el vehículo de daños por impacto.
- Mantiene los neumáticos firmemente pegados al suelo y maximiza la zona de contacto.
- Para proporcionar estabilidad a la dirección con buen manejo.
- Contiene balanceo, cabeceo y guiñada dentro de los límites de diseño.

Las suspensiones utilizadas en los vehículos se dividen en pasivas, activas y semiactivas; como se muestra a continuación:

Suspensiones pasivas.

Tiene parámetros establecidos de manera predeterminada y no se pueden regular de manera automática. Estos sistemas no reciben energía del exterior, y solo almacenan energía mediante resortes y la disipan con amortiguadores.

FIGURA 8. Suspensión pasiva.

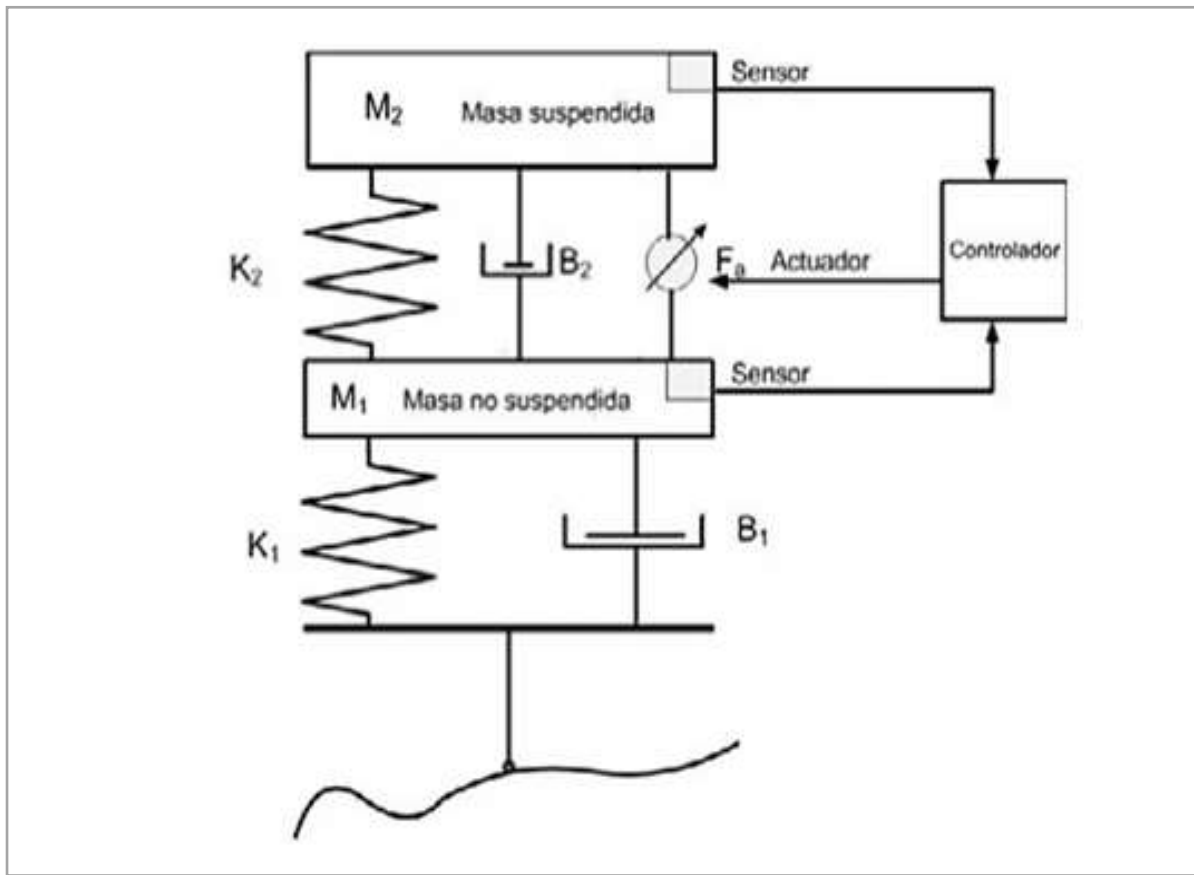


Fuente: Extraído de [19].

Suspensiones activas.

Este sistema incorpora un actuador que permite generar una respuesta dependiendo de las diferentes perturbaciones del terreno. Una suspensión activa almacena, disipa e ingresa energía al sistema a través de actuadores, que son maniobrados por sensores y controladores electrónicos. Con ayuda de los sensores se monitorean las perturbaciones del vehículo durante el manejo, y posteriormente se configura el sistema de control para que reaccione de acuerdo a las señales medidas. Su desarrollo está ligado a la microelectrónica, que en los últimos años ha hecho posible su introducción en vehículos de alta gama.

FIGURA 9. Suspensión activa.

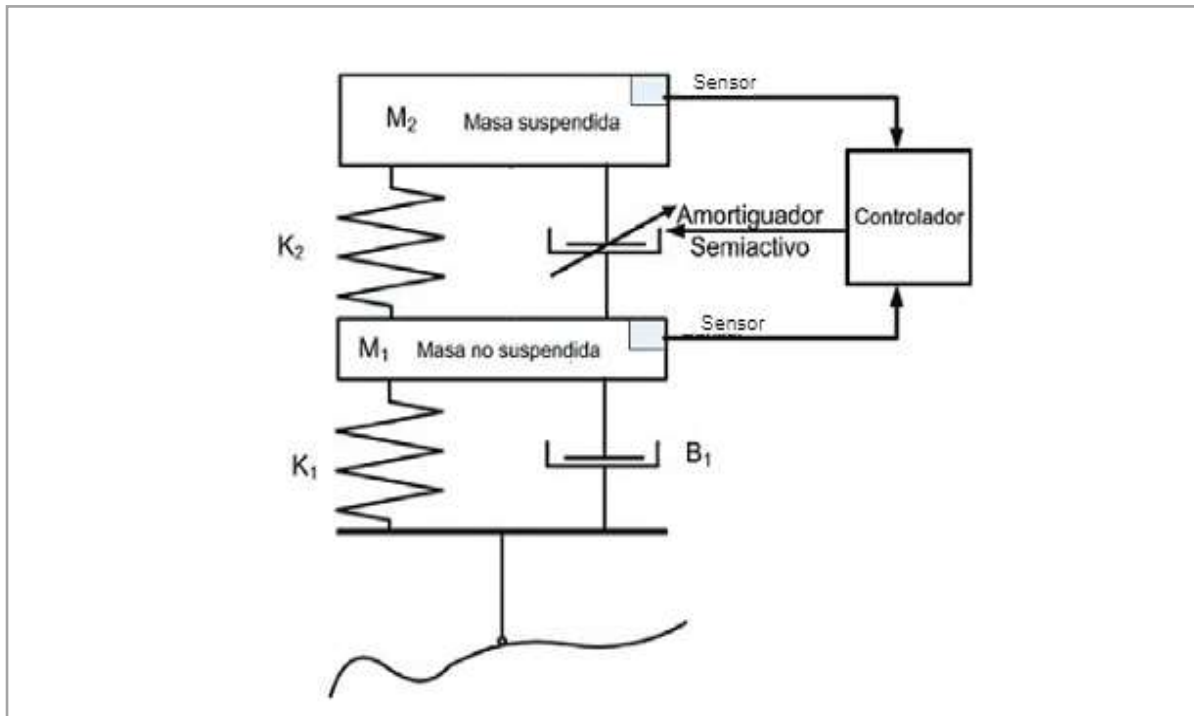


Fuente: Extraído de [19].

Suspensiones semiactivas.

Este sistema permite regular las características de rigidez y amortiguamiento de la suspensión sin ingresar ningún tipo de energía. Se caracteriza por contar con amortiguamiento que varía sus propiedades mediante un control externo.

FIGURA 10. Suspensión semiactiva.



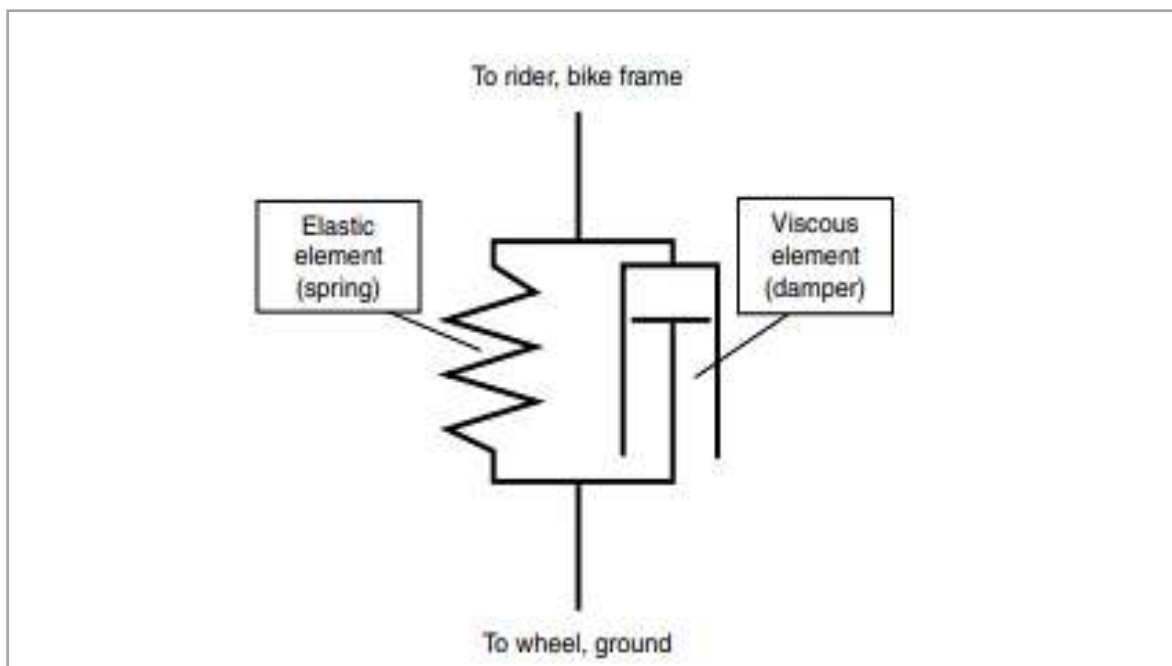
Fuente: Extraído de [19].

El rendimiento de un sistema de suspensión se evalúa a partir de la aceleración y el desplazamiento vertical de la masa suspendida (confort), la deflexión del neumático para determinar la maniobrabilidad y la deflexión de la suspensión [19].

Todos los desperfectos del piso producen vibraciones, que son transmitidos al ciclista a través de su bicicleta al momento de conducirla, con tres principales puntos de entrada: los pies, las manos y el asiento, pero la fuerza de estas vibraciones en frecuencia y amplitud, dependen de la morfología del terreno, de la velocidad de rotación de las ruedas, del material y también del peso del conjunto bicicleta-ciclista [20]. Es así como la vibración se identificará por su periodo, frecuencia y su amplitud. Por definición, la función principal de los sistemas de suspensión es absorber energía. Más específicamente, el elemento viscoso (amortiguador) presente en la mayoría de los dispositivos amortiguadores está diseñado con precisión para disipar la energía transmitida al elemento de suspensión. En el modelo de bicicleta, ciclista y terreno, la energía puede ser generada y transmitida a las suspensiones ya sea por las irregularidades del terreno o por el propio ciclista. En general, la mayoría de

los dispositivos amortiguadores delanteros y traseros se componen de un elemento elástico y viscoso montados en paralelo. Las propiedades mecánicas de ambos elementos generalmente se pueden ajustar por separado en la mayoría de las bicicletas. El elemento elástico está hecho de un resorte de acero que puede ser prerestringido en diferentes niveles o una cámara de aire que puede ser preinflada a diferentes presiones según la naturaleza del terreno y la preferencia del ciclista. El elemento viscoso generalmente está hecho de un pistón y una cámara de cilindro llenos de aceite. El aceite viaja a través de orificios hechos en el pistón. El tamaño total de los orificios se puede ajustar para modificar la viscosidad del amortiguador. Algunos sistemas más simples y económicos incluyen una pieza de elastómero que tiene propiedades tanto viscosas como elásticas.

FIGURA 11. Componentes de un dispositivo amortiguador.

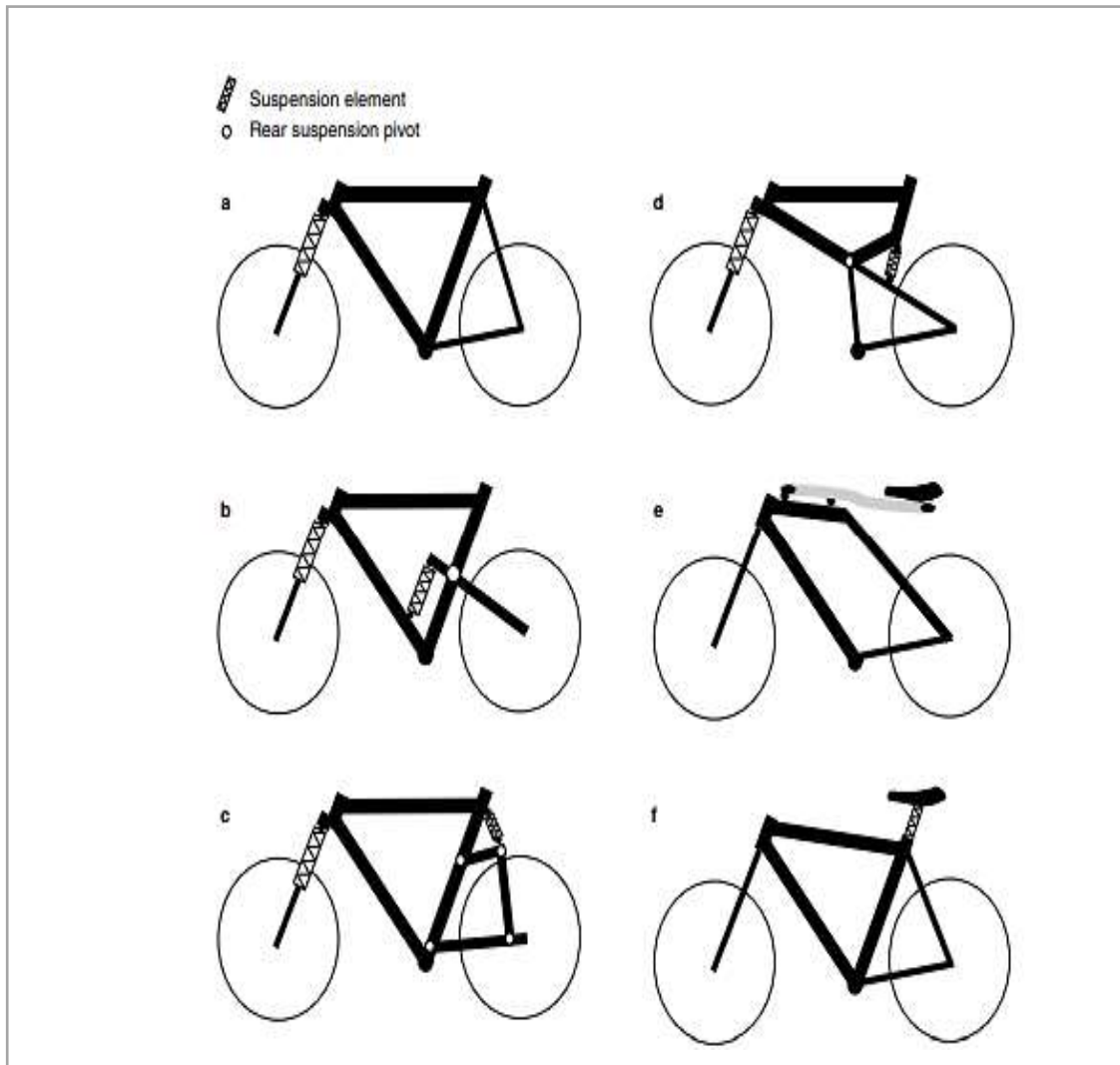


Fuente: Extraído de [21].

Si bien la mayoría de los sistemas generalmente están hechos de horquillas telescópicas con elementos viscoelásticos en cada brazo de la horquilla, los sistemas de suspensión trasera son numerosos. La siguiente imagen muestra varios sistemas que están

comúnmente disponibles en el mercado. Los sistemas de suspensión son variados, desde los más simples hasta los más sofisticados.

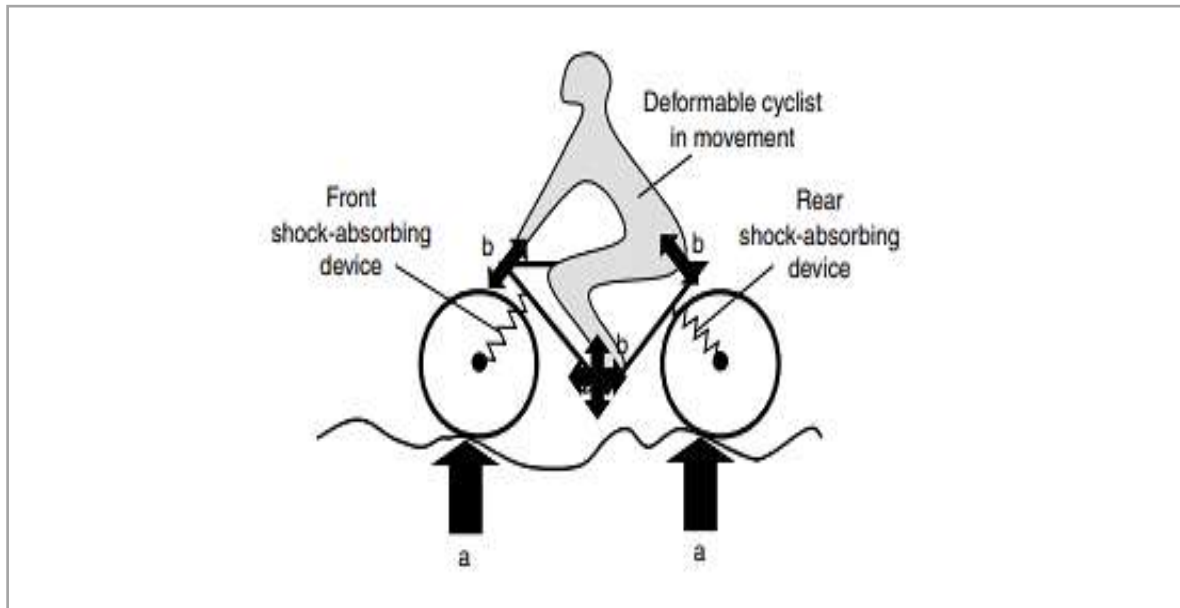
FIGURA 12. Diseños de suspensión de bicicleta más comunes.



Fuente: Extraído de [21].

Los corredores de descenso se enfrentan a importantes irregularidades en el terreno de la lluvia en recorridos muy empinados recorridos a altas velocidades. Por lo tanto, las suspensiones utilizadas en tales eventos deben diseñarse para absorber una gran cantidad de energía inducida por la lluvia [22]. Como resultado, las bicicletas de descenso modernas suelen estar equipadas con grandes suspensiones de viaje con gran capacidad de absorción de energía.

FIGURA 13. Fuerzas transmitidas a las suspensiones.



Nota. En el ciclismo todo terreno, las fuerzas transmitidas a las suspensiones pueden clasificarse en dos categorías: (a) fuerzas generadas por las irregularidades del terreno; y (b) fuerzas generadas por los movimientos del ciclista que se aplican en el manillar, sillín y pedales. Extraído de [21].

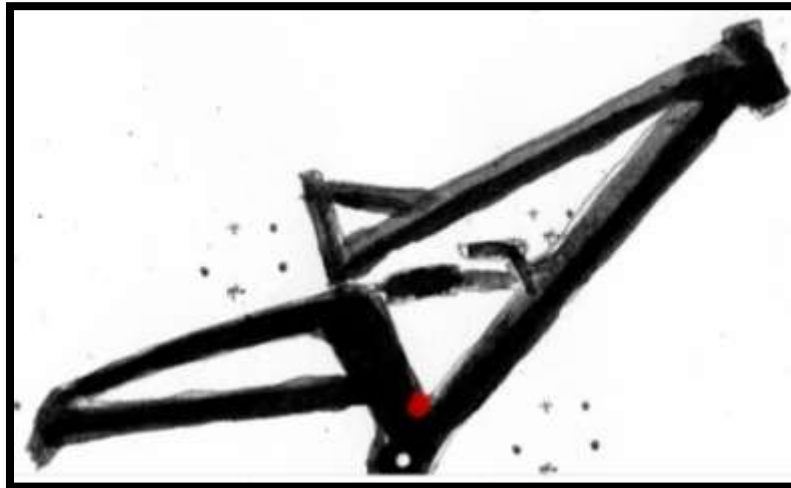
El contacto del ciclista con la bicicleta se da en tres lugares específicos, como el manillar, el sillín y los pedales, siendo así el sillín una de las partes donde se siente mayor incomodidad debido a las vibraciones generadas al momento que se conduce por superficies con desnivel. Teniendo en cuenta el análisis realizado se opta por tomar de gran consideración los cambios que se podrían realizar para que el ciclista tenga un buen confort [23].

Suspensión de un solo apoyo.

Se caracteriza únicamente por el eje trasero que se encuentra directamente conectado con el apoyo principal, el amortiguador se centra principalmente en el basculante donde esta gira alrededor de un solo centro instantáneo fijo, la cual brinda propiedades de suspensión previsible durante todo su recorrido, es por eso que los diseñadores tienen la

capacidad confinada para modificar las características de la suspensión durante los periodos de recorrido [24].

FIGURA 14. *Suspensión de un solo apoyo.*

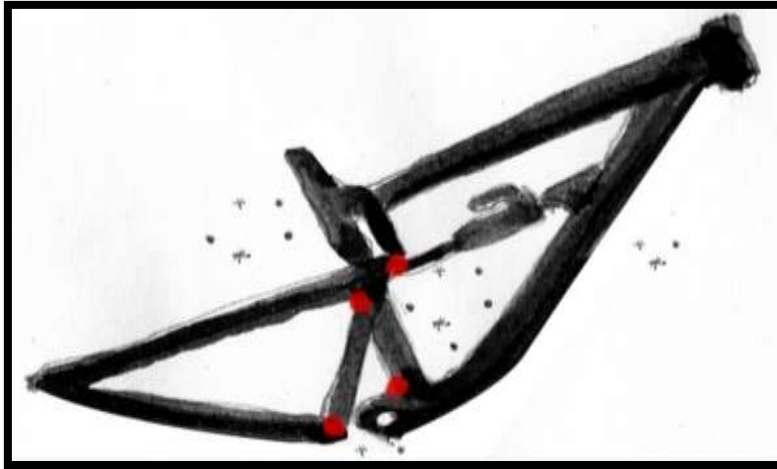


Fuente: Extraído de [24].

Suspensión de doble apoyo

En este caso el número de apoyos en comparación a la suspensión de un solo apoyo esta aumenta a cuatro, esto permite a los diseñadores más flexibilidad al momento que se requiera modificar la posición del centro instantáneo. Existen diseños de suspensión Twin-link en los mercados los más populares por ejemplo VPP y DW-link, todas cuentan con un centro instantáneo que se mueven de forma relevante durante su recorrido, esto permite optimizar los niveles de anti sentadillas y anti subida a lo largo de su recorrido [24].

FIGURA 15. *Suspensión doble apoyo.*



Fuente: Extraído de [24].

Tipos de amortiguador

Amortiguador tipo aire.

El fluido que fue comprimido en su interior del amortiguador es aire, así mismo se introduce por medio de una válvula, cuando se extiende este fenómeno es realizado por el aire, ya sea con aceite o cualquier otro tipo de gas (nitrógeno) para frenar la extensión se utiliza otra cámara para así dar progresividad [25].

FIGURA 16. *Amortiguador tipo aire*



Fuente: Extraído de [25].

Amortiguador tipo muelle.

Una vez mezclado en su interior con el aceite, el muelle adopta un mayor grado de compresión y rigidez en el caso de un amortiguador lo que se busca son los recorridos muy largos. De la misma forma se mezcla con aire para regular el flujo de aceite que se traslada de una cámara a otra [25].

FIGURA 17. *Amortiguador tipo muelle.*



Fuente: Extraído de [25].

Amortiguador tipo botella o depósito separado.

En este tipo de amortiguador permiten una gran compresión por tener la capacidad de obtener fluido dentro de él sin tener amplias distancias del amortiguador. Dentro de él está contenido de aire (otras veces algún tipo de gas) que se comprime al momento de pasar el aceite, de esa manera permitiendo, mediante su compresión, generar progresividad al sistema [25].

FIGURA 18. *Amortiguador tipo botella.*



Fuente: Extraído de [25].

Amortiguador tipo electrónico.

Su funcionamiento no es totalmente electrónico, pero sí se puede controlar su ajuste. El Fox DPS iRD es aquel que trabaja en unión con la horquilla de la misma tecnología, además tiene esa particularidad de regularse por sí solo ser. Este sistema puede trabajar con el mismo cargador del grupo electrónico Shimano XTR Di2 [25].

FIGURA 19. *Amortiguador tipo electrónico.*



Fuente: Extraído de [25].

II. MATERIALES Y MÉTODO.

2.1. Tipo y diseño de investigación.

Tipo: Aplicada. “Se centra en llevar a cabo las teorías generales a la práctica, y distribuyen fuerzas para resolver las necesidades dentro de una sociedad” [26, p. 11].

Diseño: Tecnológica. “Se considera tecnológica ya que se enfoca en los problemas técnicos, de tal forma que respaldándonos en la tecnología se pueda llegar a contribuir con la solución a determinados problemas” [26].

2.2. Variables y Operacionalización.

Variables independientes.

- Viscosidad del aceite.
- Propiedades del material.
- Geometría del soporte.
- Geometría de la suspensión.
- Masa suspendida.

Variables dependientes.

- Atenuación a 10 Hz.
- Constante elástica
- Fallas por fatiga en el muelle.

Operacionalización de las variables.

Tabla 1. Operacionalización de variables.

TIPO	VARIABLES	DEFINICIÓN	INDICADOR	ESCALA	TÉCNICA/INSTRUMENTO
VARIABLES INDEPENDIENTES	Viscosidad del aceite.	Elemento esencial en el amortiguamiento, puede ser mineral o sintético.	$v = \eta/\rho$	m^2/s	Revisión bibliográfica/ficha de análisis de documentos.
	Propiedades del material.	Características del material adecuado, para la fabricación.	Tensión	N/mm^2	Revisión bibliográfica/ficha de análisis de documentos.
			Deformación	m/m	
Geometría del soporte.	Tamaño requerido de los parámetros del soporte.	Longitud	m	Revisión bibliográfica/ficha de análisis de documentos.	

	Geometría de la suspensión.	Tamaño del sistema de amortiguamiento.	Longitud	m	Observación / nota de información.
	Masa suspendida.	Peso que gravita sobre el muelle de la suspensión.	Peso	kg	Revisión bibliográfica/ficha de análisis de documentos.
VARIABLES DEPENDIENTES	Atenuación a 10 Hz.	Reducción de la frecuencia de propagación de las ondas generadas por la vibración.	Hercio	1/S	Entrevista, encuesta / ficha recopiladora de información.
	Constante elástica	Mide el grado de elasticidad permitida en función de la fuerza	Constante	N/m	Revisión bibliográfica/ficha de análisis de documentos.
	Fallas por fatiga en el muelle.	Número de ciclos, hasta que el elemento falle.	Numero de ciclos	Ciclos	Revisión bibliográfica/ficha de análisis de documentos.

Fuente: Elaboración propia.

2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección

Población de estudio,

Sistemas de amortiguamiento de la bicicleta montañera Cross Country.

Muestra,

Sistemas de amortiguamiento de la bicicleta montañera Cross Country.

Muestreo,

El muestreo fue no probabilístico a criterio del investigador.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.

Técnica de recolección de datos.

Tabla 2. *Técnicas e instrumentos de recolección de datos*

Técnica de recolección de datos	Instrumentos de recolección de datos
<p><i>Indagación bibliográfica.</i></p> <p>Se analizaron distintos documentos relacionados a la investigación que se está realizando, con el fin de enriquecer eficientemente nuestros resultados requeridos y poder ser comparados.</p>	<p><i>Ficha de análisis de documentos</i></p> <p>Nota en la que se recopilará la información relevante extraída de los distintos documentos de investigación.</p>
<p><i>Entrevista.</i></p> <p>El objetivo principal es recolectar información, opiniones concretas directamente de las</p>	<p><i>Ficha recopiladora de información</i></p> <p>Instrumento en el cual se recopilará la información clara y</p>

personas que nos faciliten de alguna manera en la investigación.	concisa de las entrevistas realizadas posterior a la investigación.
<i>Encuesta.</i> Se basa principalmente en recopilar datos en una forma metódica y práctica, en donde se aplican preguntas que fueron sistematizadas con anterioridad.	<i>Cuestionario</i> Se formuló preguntas en relación con los problemas de confort que detectan los ciclistas debido a una amortiguación no eficiente.
<i>Observación.</i> Mediante la observación podemos analizar minuciosamente el problema y llegar a una conclusión, asimismo, no es necesario estar directamente en el lugar de los hechos para que la investigación sea fiable.	<i>Nota de información</i> Documento de información donde se registrará de forma toda la información valiosa que se haya obtenido durante el análisis minucioso realizado.

Fuente: Elaboración propia.

2.5. Procedimientos de análisis de datos.

Distinguir una necesidad:

En situaciones actuales se busca distinguir una necesidad que se asemeje a la realidad y dar una solución.

Precisar la problemática:

Es importante definir adecuadamente el problema y de esa forma dar solución precisa y adecuada para tener una mejor orientación sobre sus fases de optimización.

Recolectar información:

Es importante adjuntar diferentes referentes de información para que nos ayuden a solucionar problemas con mejor facilidad y certeza.

Evaluar:

Para poder optimizar se necesita evaluar, analizar y simular el diseño, en donde se lleva a cabo cálculos numéricos, softwares, que ayuden a tener un mejor panorama de la investigación que se viene realizando.

Informar:

El informe se realiza al finalizar el proyecto, donde se muestran los resultados que se obtuvo, dichos resultados deben ser juiciosos y relativos con lo propuesto.

2.6. Criterios éticos.

**CÓDIGO DE ÉTICA DEL CIP (COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ),
APROBADO EN LA III SESIÓN ORDINARIA DEL CONGRESO NACIONAL DE CONSEJOS
DEPARTAMENTALES DEL PERIODO 1998 – 1999 EN LA CIUDAD DE TACNA 22, 23 Y
24 DE ABRIL DE 1999.**

Art. 4. En este artículo nos dice que los ingenieros tienen que reconocer lo que es la seguridad de nuestras vidas, nuestra salud, bienes y el bienestar de todo el público, así como también innovar al desarrollo de las tecnologías de un país están sujetas a los juicios, decisiones integradas por ellos o por su consejo, en edificaciones, estructuras, máquinas, productos y procesos. Es por ello que por ningún fundamento expondrán su sabiduría a disposición de aquello que afecta la paz y la salud.

En el Art. 5.- Nos manifiesta sobre el cuidado de los recursos naturales, humanos, económicos y materiales para que sean utilizados con fundamento, y así rehusar su abuso, de esa manera garantizar la preservación del medio ambiente.

CÓDIGO DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN (USS), RATIFICADO POR ACUERDO DE CONSEJO UNIVERSITARIO CON RESOLUCIÓN RECTORAL N° 08512017/USS.

ART. 2º. Tiene como finalidad proteger los derechos, la salud, la vida, la intimidad, la dignidad y el bienestar de la(s) persona(s) que son partícipes en actividades de investigación Científica, Tecnológica e innovación, basándose a los principios éticos acogidos por la normativa nacional e internacional, y los acuerdos suscritos por nuestro país en la materia.

ART. 3º. Es de cumplimiento obligatorio para todas las autoridades académicas, administrativas, docentes, estudiantes, egresados y administrativo de la USS.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1. Resultados.

Determinar las cargas críticas en los amortiguadores de la bicicleta Cross Country.

Se requieren un número considerable de fuerzas y constantes elásticas para simular el sistema real, sin embargo, en este estudio se consideraron como relevantes las fuerzas que se ejercen sobre la bicicleta, las fuerzas sobre el ciclista y las fuerzas del piso.

Modelo bicicleta – conductor

Para realizar el análisis de vibraciones es necesario determinar las fuerzas que actúan sobre los amortiguadores. Por ello aplicamos un análisis estático del sistema bicicleta – ciclista, tomando en cuenta las siguientes aproximaciones:

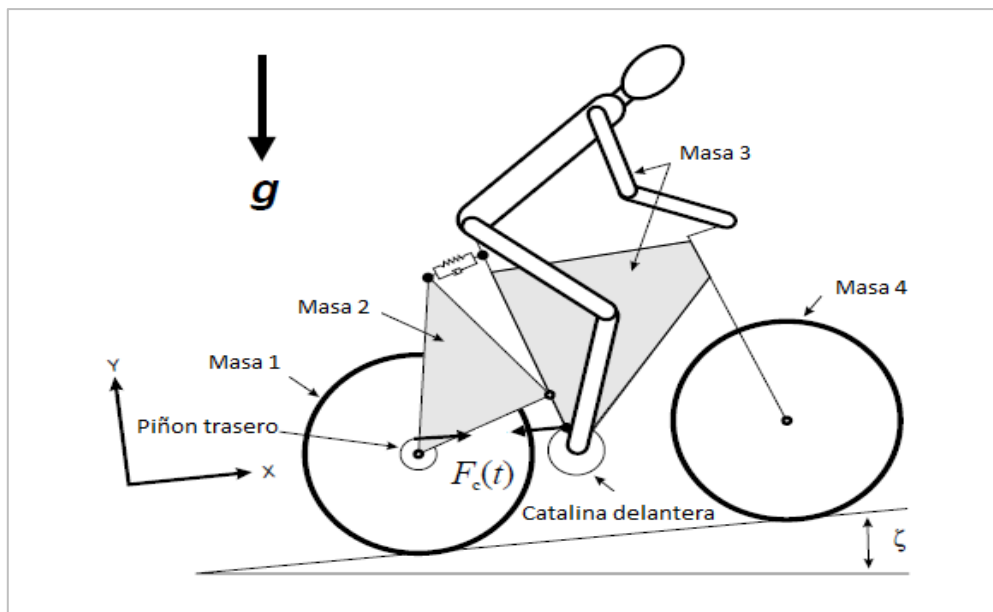
- El modelo bicicleta – conductor es bidimensional.
- El conductor aplica una fuerza puntual en el manubrio.
- El conductor aplica una fuerza puntual en los pedales.
- Se considera un terreno con pendiente > 0 .
- Se toma en cuenta la masa del conductor.

Establecemos un modelo bidimensional bicicleta – ciclista, que consta de 5 cuerpos rígidos:

- Masa 1, rueda trasera de bicicleta.
- Masa 2, triángulo trasero de bicicleta.
- Masa 3, cuadro principal y horquilla de bicicleta más ciclista.
- Masa 4, rueda delantera de bicicleta.

Cada una de las ruedas gira sin resbalar sobre una superficie lisa inclinada en un ángulo “ ζ ” con respecto a la horizontal. El vector de fuerza gravitacional actúa en dirección descendente perpendicular a la horizontal. La rueda trasera está conectada al triángulo trasero con una articulación de pasador al igual que la rueda delantera conectada al bastidor principal. Luego, el triángulo trasero se conecta al bastidor principal mediante una articulación de pasador y un amortiguador de resorte lineal. Se considera que el ciclista es una parte integral del cuadro principal, es decir, el movimiento del ciclista con respecto al cuadro es insignificante.

FIGURA 20. Modelo bidimensional bicicleta - conductor.



Fuente: Elaboración propia.

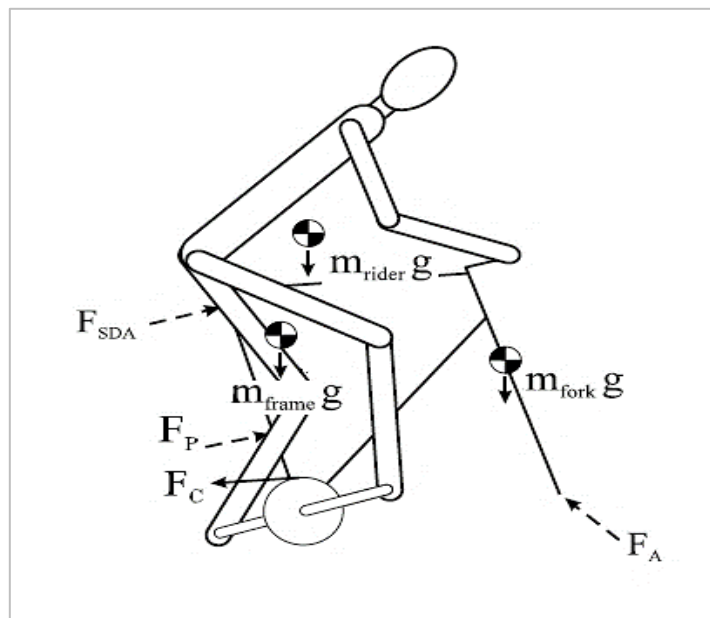
La excitación del sistema la aplica el ciclista al pedalear. Esta acción provoca una tensión de cadena $F_c(t)$ que crea un par de torsión alrededor de la rueda trasera que impulsa la bicicleta hacia adelante. La tensión de la cadena será periódica debido a la naturaleza de las cargas aplicadas por el ciclista. Después de revisar la literatura sobre las cargas aplicadas a una bicicleta durante la conducción, se desarrolló un modelo

relativamente simple de estas cargas descuidando el movimiento del ciclista en relación con el cuadro.

Diagrama de cuerpo libre del conductor.

Las fuerzas que genera el conductor sobre la bicicleta se muestran en el diagrama de cuerpo libre de la Figura 21. La masa del conductor se considera como una sola fuerza que se aplica en el centro de gravedad.

FIGURA 21. Diagrama de cuerpo libre del sistema.



Fuente: Elaboración propia.

Las fuerzas involucradas en el cuerpo libre del conductor son:

Tabla 3. Fuerzas involucradas en el diagrama de cuerpo libre del conductor.

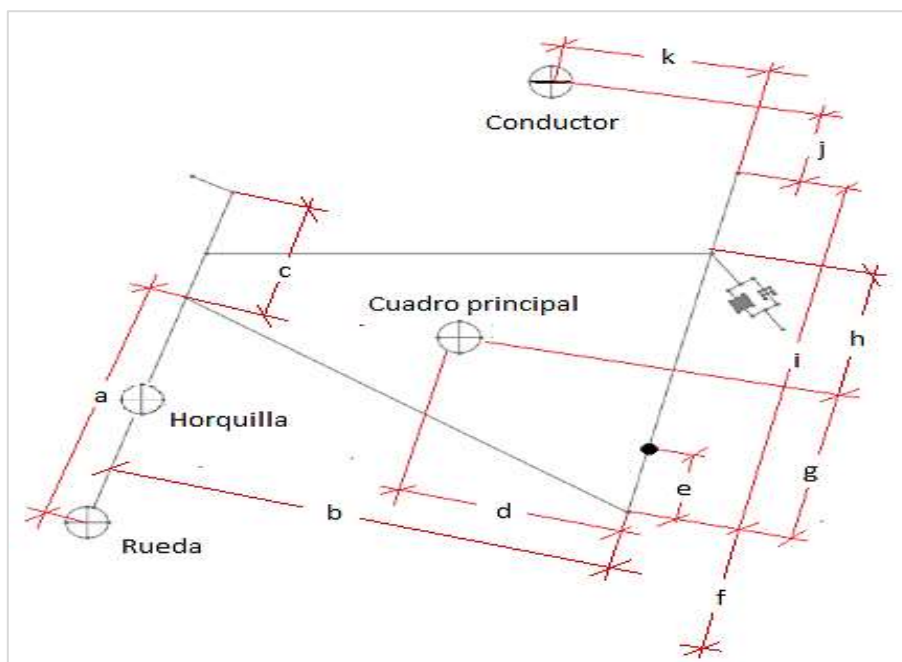
$m_{\text{rider}} g$	Gravedad actuando sobre el conductor.
$m_{\text{frame}} g$	Gravedad actuando sobre el bastidor.

$m_{\text{fork } g}$	Gravedad actuando sobre la horquilla
F_c	Fuerza de tensión en cadena.
F_A	Fuerza de reacción del eje delantero.
F_{SDA}	Fuerza de reacción resorte-amortiguador.
F_P	Fuerza de reacción de pivote.

Fuente: Elaboración propia.

Se determinaron las dimensiones de la bicicleta utilizada en el diseño y se calculó su centro de masa de manera manual para el cuerpo principal. Las dimensiones del cuerpo principal son los siguientes:

FIGURA 22. *Cuerpo principal de la bicicleta.*



Fuente: Elaboración propia.

Las dimensiones establecidas para la bicicleta son las siguientes:

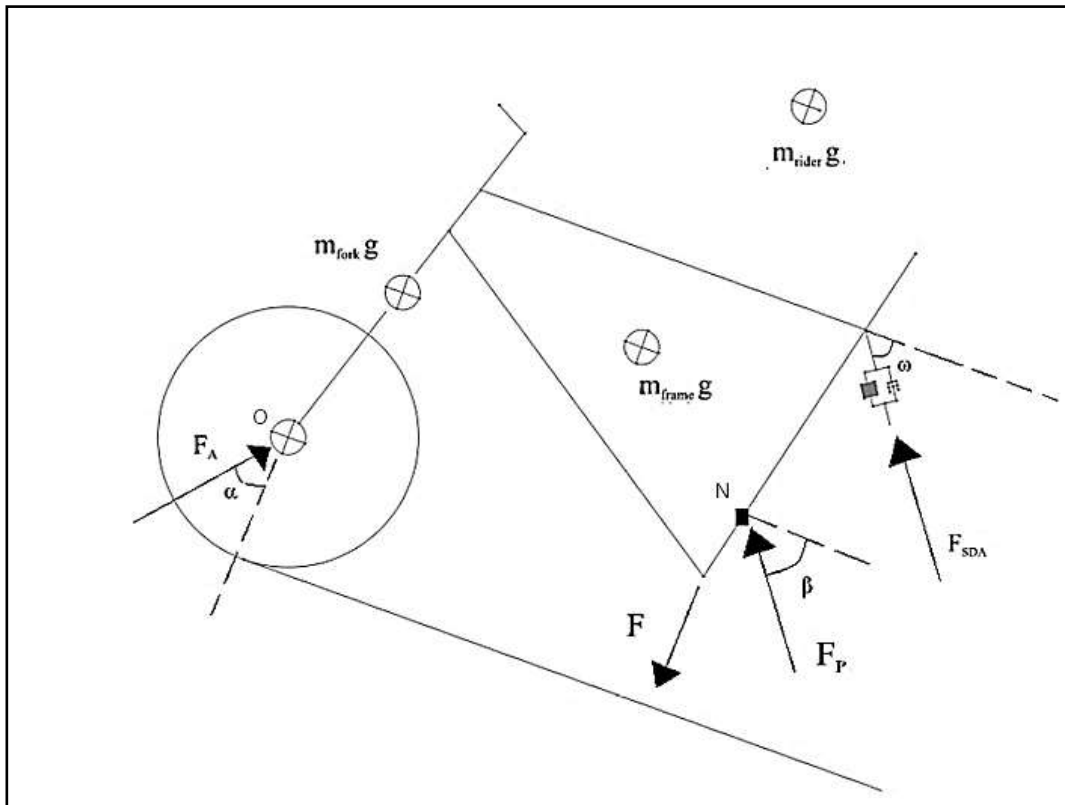
Tabla 4. Dimensiones de la bicicleta elegida.

NOTACIÓN	MAGNITUD (m)
a	0.420
b	0.504
c	0.200
d	0.168
e	0.202
f	0.150
g	0.268
h	0.480
i	1.000
j	0.100
k	0.120

Fuente: Elaboración propia.

El diagrama de cuerpo libre para una pendiente del terreno de 30° es:

FIGURA 23. Diagrama de cuerpo libre del sistema.



Fuente: Elaboración propia.

Los ángulos que forman las fuerzas F_P , F_{SDA} y F_A el plano de la carretera son los siguientes:

Notación	Magnitud
ω	40°
α	60°
β	50°

Análisis estático del sistema mecánico bicicleta – conductor.

Aplicamos el principio de superposición para cada una de las fuerzas externas aplicadas ($F, m_{rider}, m_{frame}, m_{fork}$) sobre el sistema.

Tabla 5. Fuerzas que participan en el cálculo.

$F_P^1, F_P^2, F_P^3, F_P^4$	Fuerza de reacción en el punto N.
$F_A^1, F_A^2, F_A^3, F_A^4$	Fuerza de reacción en el punto O.
$F_{SDA}^1, F_{SDA}^2, F_{SDA}^3, F_{SDA}^4$	Fuerza sobre el amortiguamiento.

Fuente: Elaboración propia.

a) Realizando un análisis estático, considerando solamente la fuerza “F” aplicada a los pedales de la bicicleta:

– Aplicando $\sum F = 0$;

$$0.5 (F_A^1) + 0.766 (F_P^1) + 0.642 (F_{SDA}^1) = F \dots\dots\dots (1)$$

– Aplicando $\sum M_{F_A} = 0$;

$$1.113 (F_{SDA}^1) + 0.673 (F_P^1) = 0.548 (F) \dots\dots\dots (2)$$

– Aplicando $\sum M_{SDA} = 0$;

$$0.417 (F_P^1) + 1.363 (F_A^1) = 0.129 (F) \dots\dots\dots (3)$$

Solución:

- $F_P^1 = 2.82 F$
- $F_A^1 = -0.7661 F$
- $F_{SDA}^1 = -1.21 F$

b) Realizando un análisis estático, pero considerando solamente la masa m_{rider} :

- Aplicando $\sum F = 0$;

$$0.75 (m_{rider} \cdot g) + 0.766 (F_P^2) + 0.642 (F_{SDA}^2) = F \dots\dots\dots (4)$$

- Aplicando $\sum M_{F_A} = 0$;

$$1.113 (F_{SDA}^2) + 0.673 (F_P^2) = 0.85 (m_{rider} \cdot g) \dots\dots\dots (5)$$

- Aplicando $\sum M_{SDA} = 0$;

$$0.417 (F_P^2) + 1.363 (F_A^2) = 0.28 (m_{rider} \cdot g) \dots\dots\dots (6)$$

Solución:

- $F_P^2 = 1.26(m_{rider} \cdot g)$
- $F_A^2 = -0.23 (m_{rider} \cdot g)$
- $F_{SDA}^2 = -0.58 (m_{rider} \cdot g)$

c) Realizando un análisis estático, pero considerando solamente la masa m_{frame} :

- Aplicando $\sum F = 0$;

$$0.869 (m_{frame} \cdot g) + 0.766 (F_P^3) + 0.642 (F_{SDA}^3) = F \dots\dots\dots (7)$$

- Aplicando $\sum M_{F_A} = 0$;

$$1.113 (F_{SDA}^3) + 0.673 (F_P^3) = 0.496 (m_{frame} \cdot g) \dots\dots\dots (8)$$

- Aplicando $\sum M_{SDA} = 0$;

$$0.417 (F_P^3) + 1.363 (F_A^3) = 0.159 (m_{frame} \cdot g) \dots\dots\dots (9)$$

Solución:

➤ $F_P^3 = 0.985 (m_{frame} \cdot g)$

➤ $F_A^3 = -0.351 (m_{frame} \cdot g)$

➤ $F_{SDA}^3 = -0.223 (m_{frame} \cdot g)$

d) Realizando un análisis estático, pero considerando solamente la masa m_{fork} :

- Aplicando $\sum F = 0$;

$$0.458 (m_{fork} \cdot g) + 0.766 (F_P^4) + 0.642 (F_{SDA}^4) = F \dots\dots\dots (10)$$

- Aplicando $\sum M_{F_A} = 0$;

$$1.113 (F_{SDA}^4) + 0.673 (F_P^4) = 0.326 (m_{fork} \cdot g) \dots\dots\dots (11)$$

- Aplicando $\sum M_{SDA} = 0$;

$$0.417 (F_P^4) + 1.363 (F_A^4) = 0.215 (m_{fork} \cdot g) \dots\dots\dots (12)$$

Solución:

➤ $F_P^4 = 0.897 (m_{fork} \cdot g)$

➤ $F_A^4 = -0.125 (m_{fork} \cdot g)$

➤ $F_{SDA}^4 = -0.363 (m_{fork} \cdot g)$

e) Aplicando el principio de superposición, la fuerza total aplicada sobre el amortiguador es la sumatoria de las fuerzas (F_{SDA}) que generan cada una de las fuerzas externas (F , m_{rider} , m_{frame} , m_{fork}):

$$F_{\text{amortiguador}} = F_{SDA}^1 + F_{SDA}^2 + F_{SDA}^3 + F_{SDA}^4$$

$$F_{\text{amortiguador}} = -1.21 F - 0.58 (m_{rider} \cdot g) - 0.223 (m_{frame} \cdot g) - 0.363 (m_{fork} \cdot g)$$

Evaluando la fuerza del amortiguador con los siguientes datos:

Tabla 6. Fuerzas sobre la bicicleta.

Símbolo	Descripción	Valor nominal (kg)
F	Fuerza sobre los pedales	30
m_{rider}	Masa del conductor	80
m_{frame}	Masa del chasis	15
m_{fork}	Masa de la rosquilla	5

Fuente: Elaboración propia.

La fuerza aplicada sobre el amortiguador resulta:

$$F_{\text{amortiguador}} = -551.9 \text{ N}$$

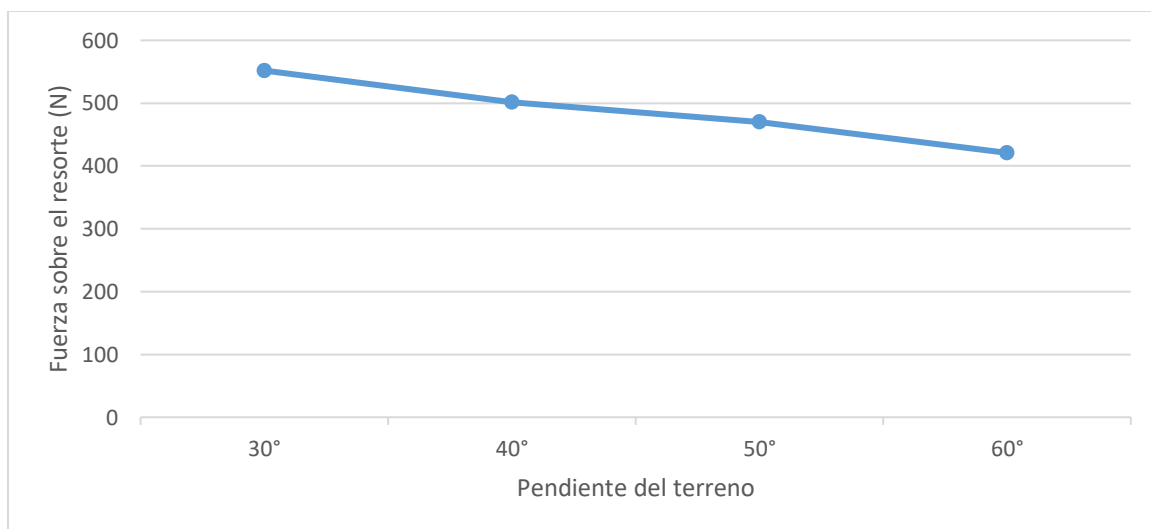
Realizando el análisis para diferentes pendientes de terreno, y aplicando el mismo procedimiento, resulta en los siguientes resultados:

Tabla 7. Fuerza aplicada al amortiguador considerando la pendiente de la bicicleta.

PENDIENTE	FUERZA SOBRE EL AMORTIGUADOR
30°	-551.9 N
40°	-501.45 N
50°	-470.35 N
60°	-420.89 N

Fuente: Elaboración propia

FIGURA 24. Variación de la fuerza sobre el resorte con respecto a la pendiente.



Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de la fuerza límite del eje del amortiguador.

El material con el que ha sido fabricado el amortiguador es el acero inoxidable A313, que cuenta con un límite elástico de 207 MPa (σ_e). De acuerdo con la geometría del amortiguador podemos determinar que el eje cuenta con una sección circular de 530.929 mm². La fuerza máxima para no generar deformación en el eje se determina mediante la siguiente formula:

$$F = \sigma_e (A_o)$$

$$F = (207)(10^6) (530.929)$$

$$F = 109.902 \text{ KN}$$

Evaluación del amortiguador respecto a las cargas cíclicas a las que se somete en el criterio dinámico

La evaluación se ha realizado especialmente en el resorte, donde estará sometida a cargas cíclicas frecuentes al momento de la conducción de la bicicleta montañera modelo Cross Country. Por lo tanto, para el estudio se ha utilizado el criterio de falla de Gerber.

$$n_f = \frac{1}{2} \left(\frac{S_{su}}{\tau_m} \right)^2 \frac{\tau_a}{S_{se}} \left[-1 + \sqrt{1 + \left(2 \frac{\tau_m S_{se}}{S_{su} \tau_a} \right)^2} \right]$$

Calculando el módulo de ruptura por torsión S_{su} .

$$S_{su} = 0.67S_{ut} = 0.67(133.96) = 893.75 \text{ MN/m}^2$$

Calculando la amplitud del esfuerzo cortante τ_a .

$$\tau_a = \frac{8KFD}{\pi d^3} = \frac{8(1.37)(551.9)(0.041)}{\pi(0.01^3)} = 78.94 MN$$

Calculando esfuerzo cortante medio τ_m .

$$\tau_m = \frac{F_m}{F_a}(\tau_a) = \frac{486.40}{65.51}(78.94) = 586.12 MN$$

La ordenada de la intersección de Gerber del cortante es

$$S_{se} = \frac{S_{sa}}{1 - \left(\frac{S_{sm}}{S_{su}}\right)^2} = \frac{398}{1 - \left(\frac{534}{893.75}\right)^2} = 618.96 MN/m^2$$

Remplazando datos:

$$n_f = \frac{1}{2} \left(\frac{893.75}{586.12}\right)^2 \frac{78.94}{618.96} \left[-1 + \sqrt{1 + \left(2 \frac{586.12}{893.75} \frac{618.96}{78.94}\right)^2} \right]$$

$$n_f = 1.38$$

Simulación dinámica y frecuencial el comportamiento de la suspensión.

La simulación se ha llevado a cabo en una bicicleta montañera que cuenta con un sistema de suspensión basado en un resorte y un amortiguador de aire. Este procedimiento abarca desde la obtención del modelo dinámico de la bicicleta como las fuerzas ejercidas sobre ella, además también estudiarán los parámetros de la suspensión coeficiente de elasticidad (k) y un coeficiente de amortiguamiento (c). La suspensión inclinada con respecto al eje vertical, como se muestra en la Figura 25. Las dimensiones de la bicicleta se muestran en el Anexo 06.

FIGURA 25. *Bicicleta montañera usada en la simulación.*



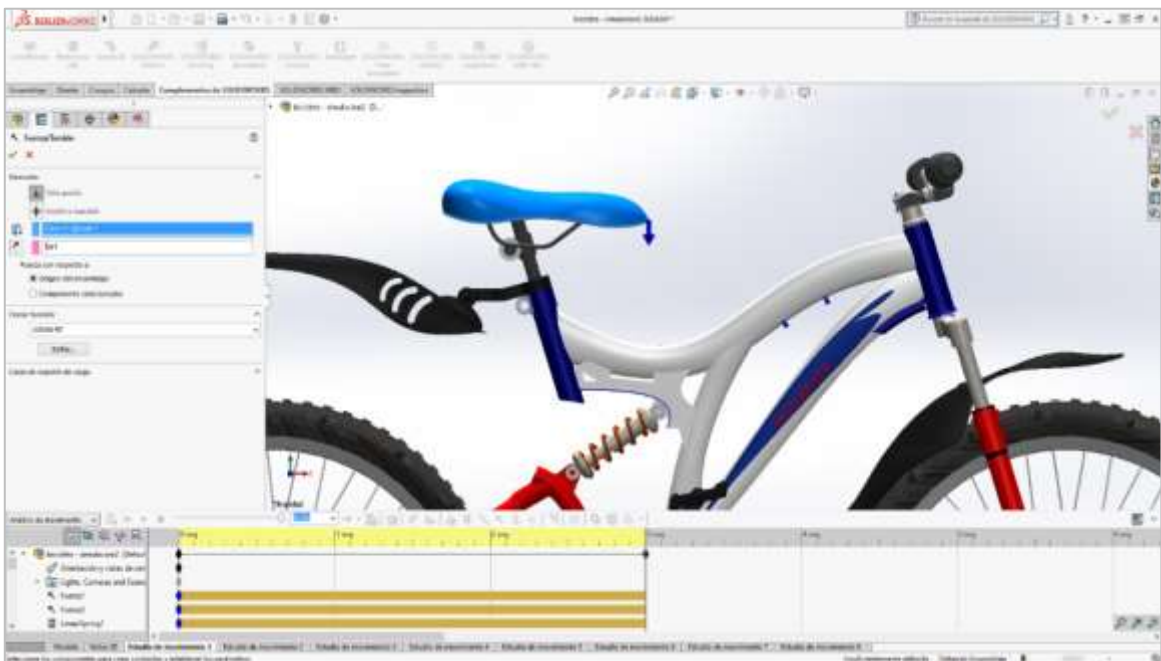
Fuente: Elaboración propia.

Para poder simular este modelo en el software SOLIDWORKS se tuvo que modelar cada pieza por separado, luego a través de relaciones de posición se obtuvo el ensamblaje completo. Por último, para realizar el estudio de movimiento se tuvo que parametrizar el ensamblaje con relaciones de posición para obtener una simulación y animación más real.

Fuerzas sobre la bicicleta.

Las fuerzas que simulan a las cargas aplicadas por el conductor se aplican al asiento y a los pedales. Para simular un movimiento lo más cercano al real, se usaron relaciones de pociões donde el movimiento solo se da en la rueda trasera (ubicación de la suspensión). Para poder obtener las fuerzas aplicadas se tuvo que sacar un promedio de las diferentes fuerzas aplicadas tanto en el asiento por el peso de los ciclistas como en los pedales. Para poder hacer un análisis más práctico del desplazamiento de la suspensión, se optó por trabajar con cargas puntuales (fuerza vertical hacia abajo). Estas fuerzas se dividen en, peso del ciclista y fuerza ejercida en los pedales. La fuerza sobre el asiento se aplicó de la siguiente manera.

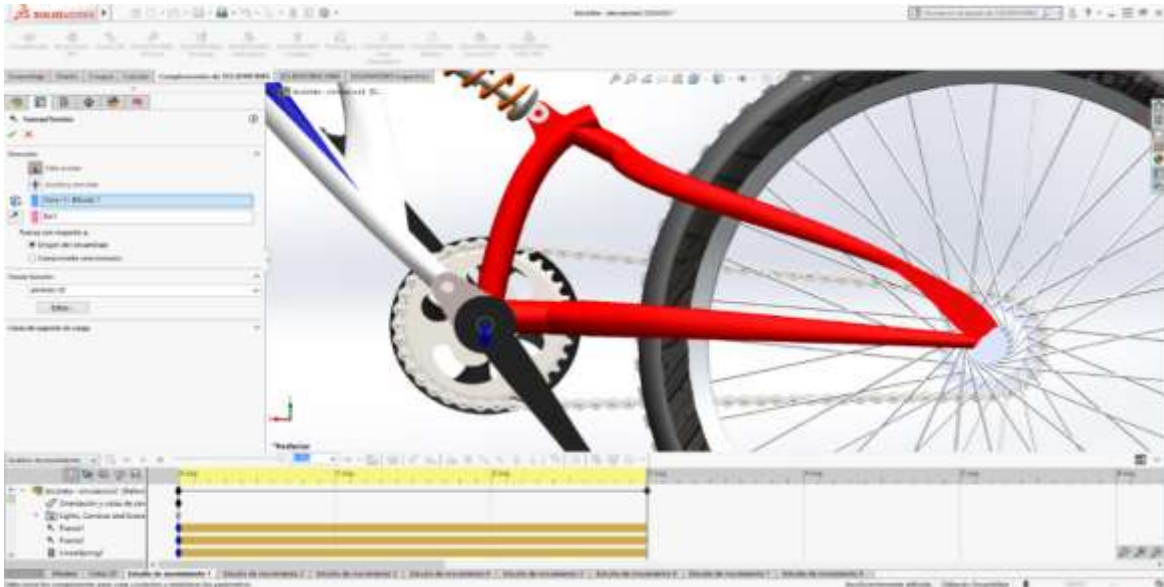
FIGURA 26. Fuerza aplicada sobre el asiento.



Fuente: Elaboración propia.

La fuerza de acción sobre los pedales se aplica de manera vertical hacia abajo, esta fuerza es única en el centro de los pedales.

FIGURA 27. Fuerza que genera el conductor sobre los pedales.



Fuente: Elaboración propia.

Parámetros del sistema de suspensión.

Para obtener los parámetros de la amortiguación trasera, se tuvo que revisar informes de estudios realizados de modelados dinámicos similares. Por medios de pruebas de simulación, se obtuvo un coeficiente de elasticidad (k) y un coeficiente de amortiguamiento (c) óptimos para esta simulación. La constante k se obtuvo a través de datos de resortes comerciales, y se optó por tomar el valor de 450 Lb/pulg., ya que en las simulaciones realizadas se comportaba de una manera más estable. La constante c no se pudo encontrar en los datos comerciales por lo que se optó por extraerlo de información de proyectos y estudios de modelos dinámicos ya realizados. Los parámetros de amortiguación del sistema de suspensión son los siguientes:

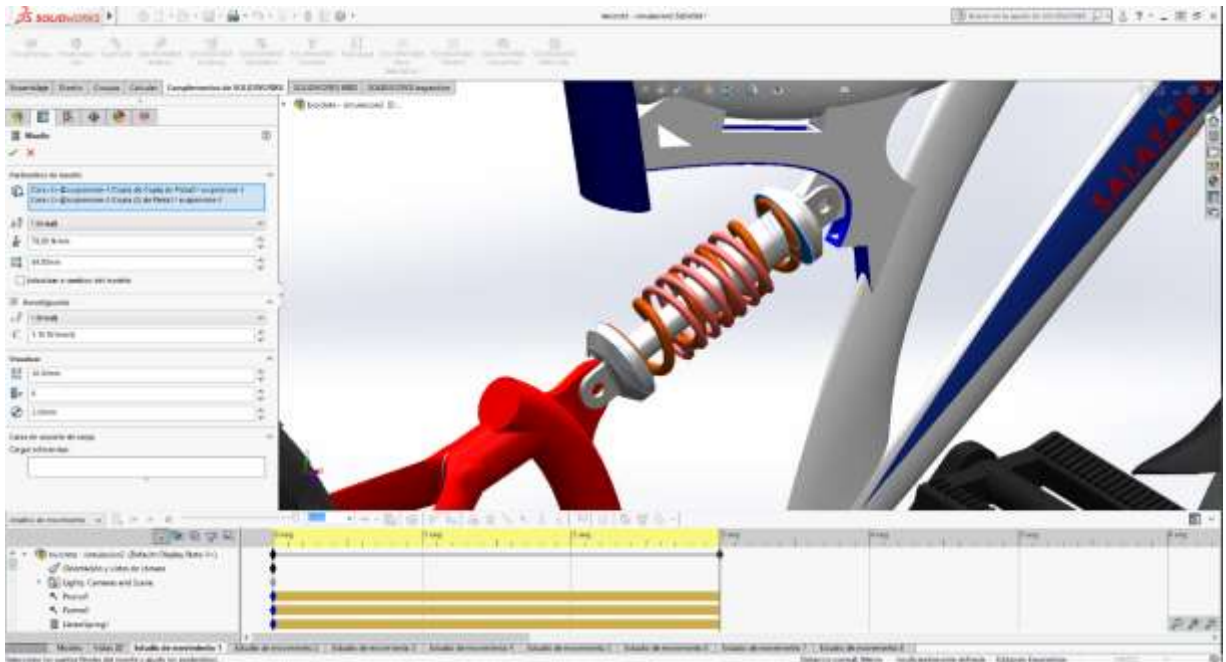
Tabla 8. *Propiedades del amortiguador.*

Constante "k"		Constante "c"
Lb/pulgada	N/mm	Ns/mm
450	78.8	1.103

Fuente: Elaboración propia.

Una vez colocadas las fuerzas en la simulación del modelo, se procede a aplicar los parámetros para la suspensión, tanto el coeficiente de elasticidad (k) como el coeficiente de amortiguamiento (c). Para esto se seleccionan las dos caras donde el resorte y el amortiguador actuarán, como se muestra en la imagen, luego se procede a poner los valores del coeficiente de elasticidad (k) y el coeficiente de amortiguamiento (c).

FIGURA 28. *Aplicación de los parámetros del sistema de suspensión.*



Fuente: Elaboración propia.

Generación de resultados.

Para obtener los resultados se tuvo que agregar trazados a la simulación para obtener los resultados en gráficas y estos a la vez se puedan exportar a una base de datos en Excel. Estos trazados se pueden realizar de cualquier valor que deseamos medir, para este análisis optamos por generar 4 tipos de trazados:

Desplazamiento. El desplazamiento es de las caras donde hace contacto el resorte.

Velocidad. La velocidad corresponde a la diferencial del desplazamiento anterior.

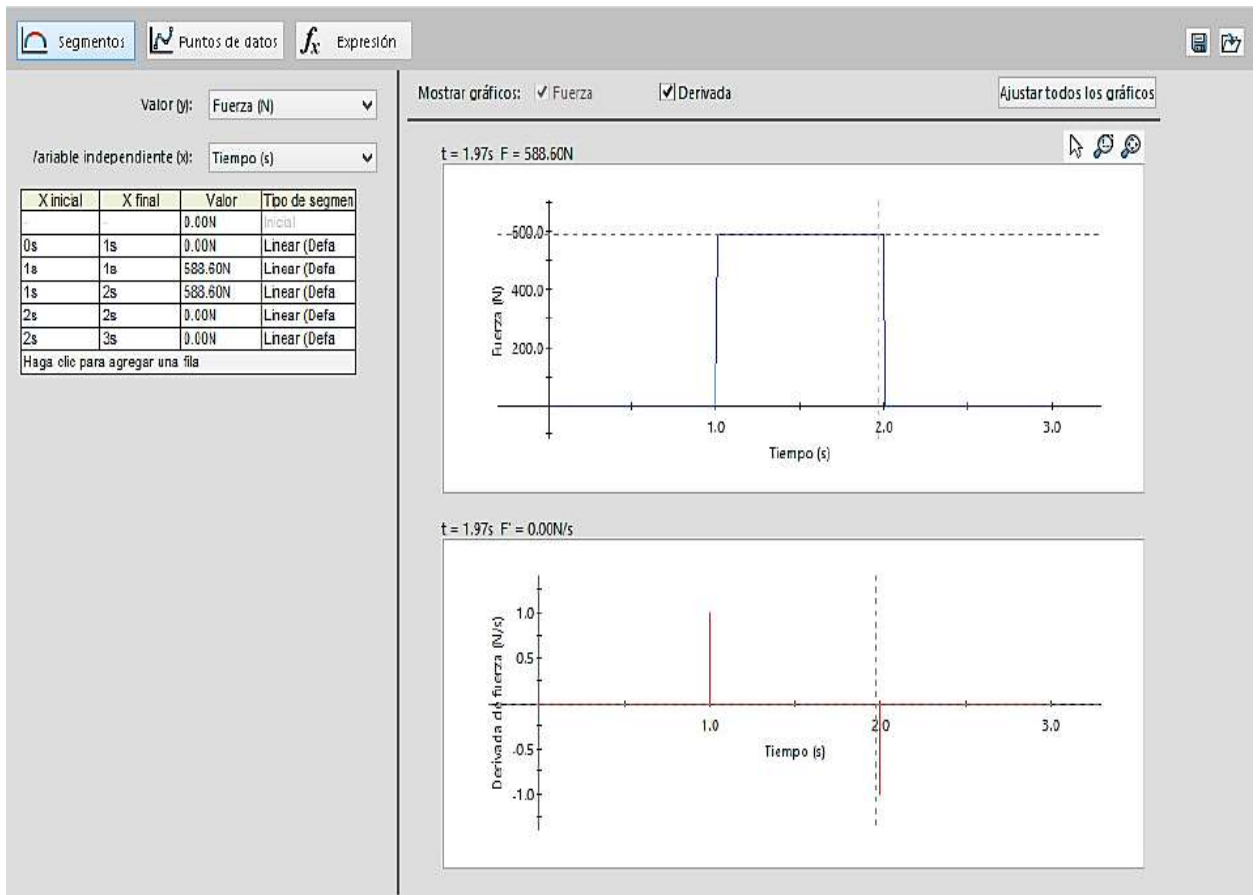
Reacciones. Las reacciones corresponden a las reacciones de los extremos de la suspensión (ojos del amortiguador), donde se sujetan a través de pernos hacia el cuerpo delantero y trasero de la bicicleta. Para esto se hizo referencia a las relaciones de posición concéntricas.

Resultados de las simulaciones.

Estudio 01.

Las fuerzas que genera el ciclista son debidas a su propio peso y a la fuerza que ejerce sobre los pedales. Para esta primera simulación se consideraron las siguientes fuerzas, 60 kg (peso del ciclista) y 20 kg (fuerza sobre los pedales). En SolidWorks se procede a aplicar el peso del ciclista (588.6 N) sobre el asiento por segmentos:

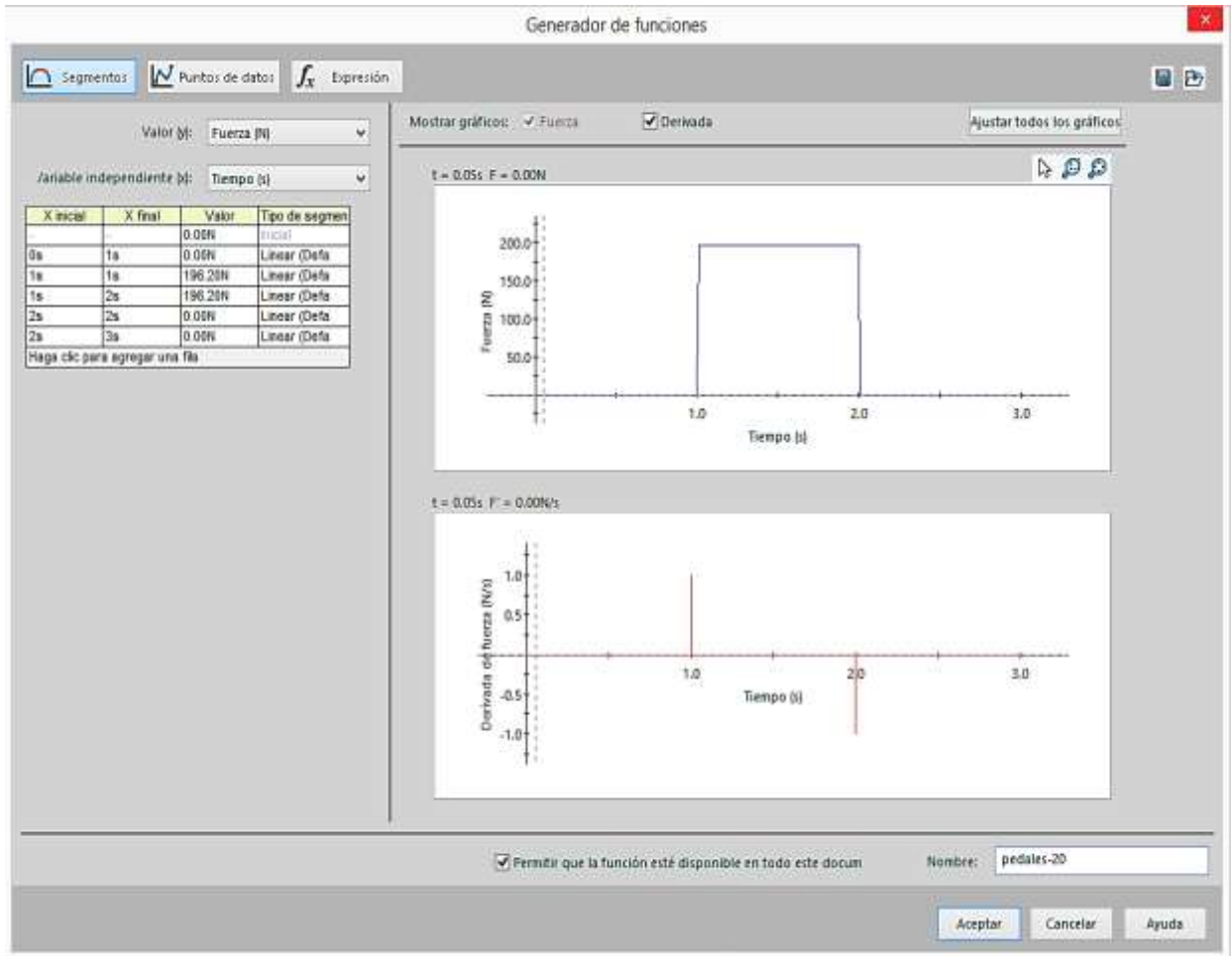
FIGURA 29. Aplicación de una fuerza segmentada de 60 Kg sobre el asiento.



Fuente: Elaboración propia.

De igual manera la fuerza sobre los pedales (196.2 N) se aplica de la siguiente manera:

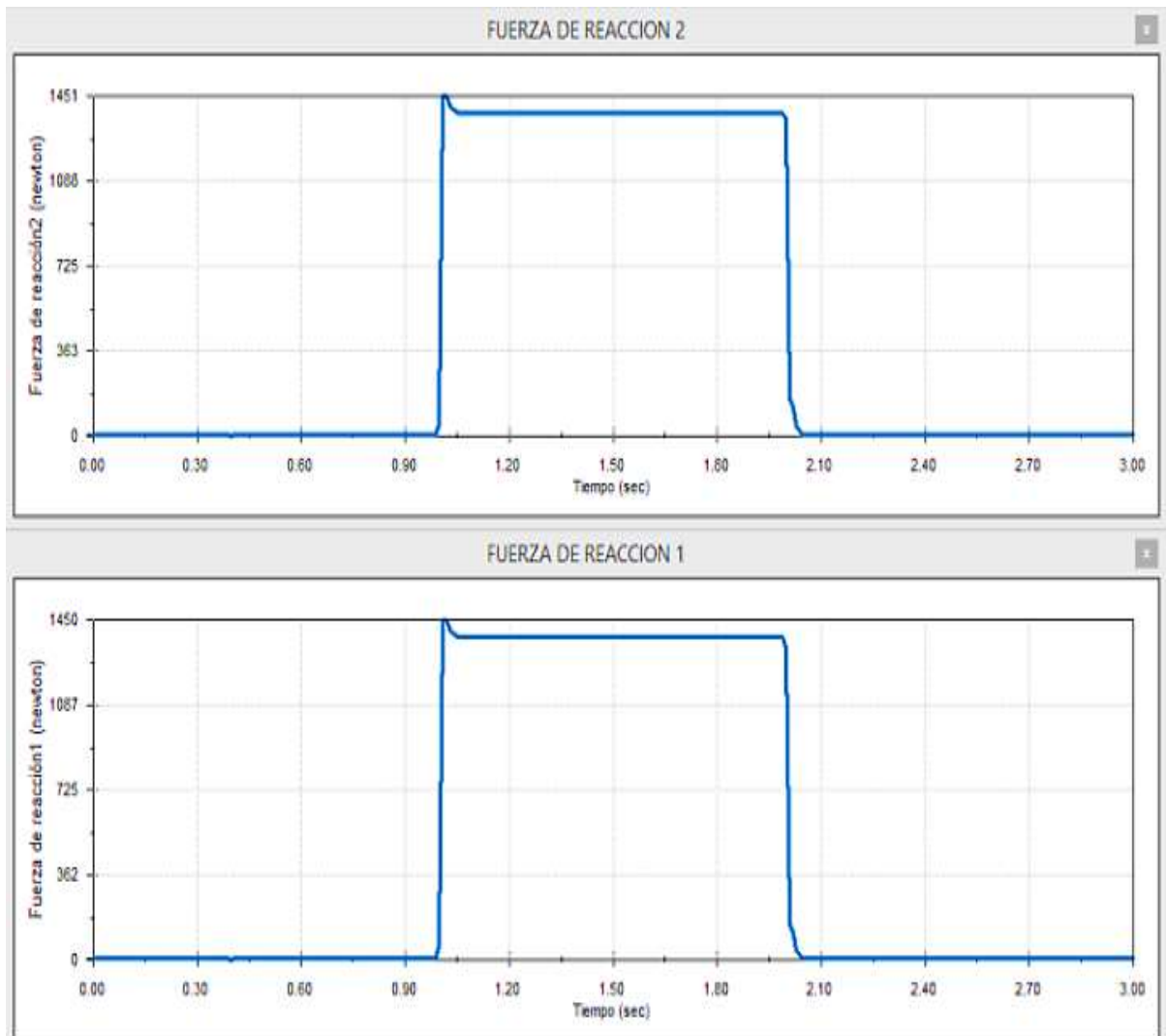
FIGURA 30. Fuerza que aplica el ciclista sobre los pedales.



Fuente: Elaboración propia.

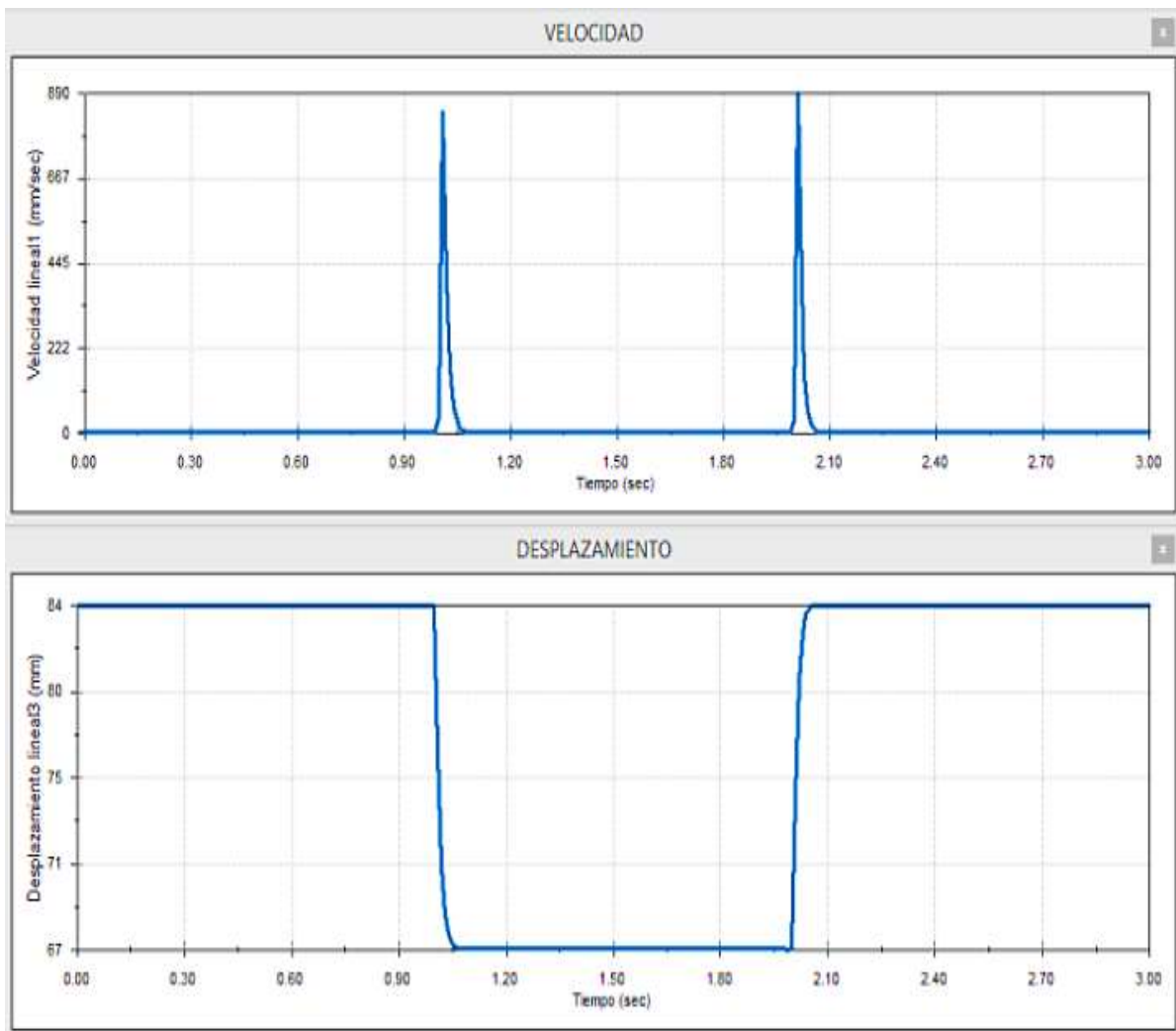
Los resultados de la simulación para las variables REACCIÓN 1, REACCIÓN 2, VELOCIDAD, y DESPLAZAMIENTO fueron los siguientes:

FIGURA 31. Fuerzas de reacción del estudio 01.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 32. Velocidad y desplazamiento del estudio 01.

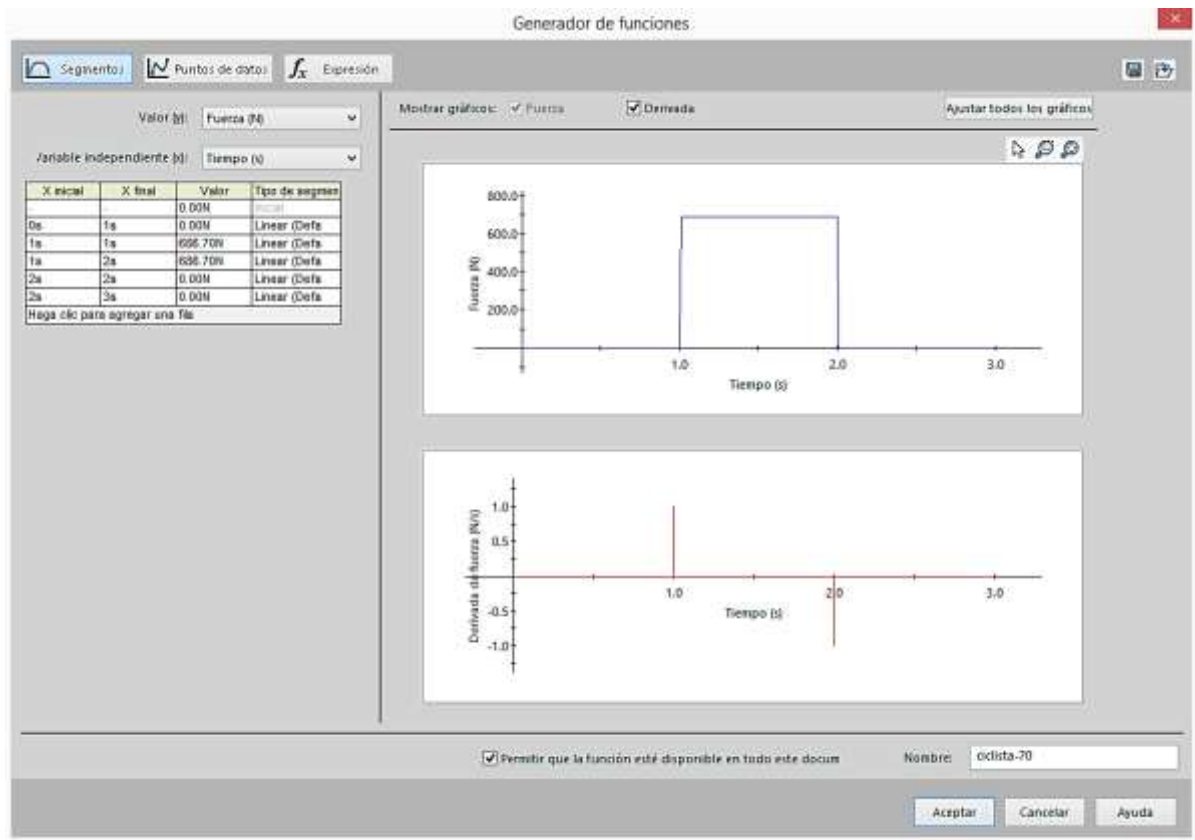


Fuente: Elaboración propia.

Estudio 02.

Las fuerzas que genera el ciclista son debidas a su propio peso y a la fuerza que ejerce sobre los pedales. Para esta simulación se consideraron las siguientes fuerzas, 70 kg (peso del ciclista) y 30 kg (fuerza sobre los pedales). En SolidWorks se procede a aplicar el peso del ciclista (686.7 N) sobre el asiento por segmentos:

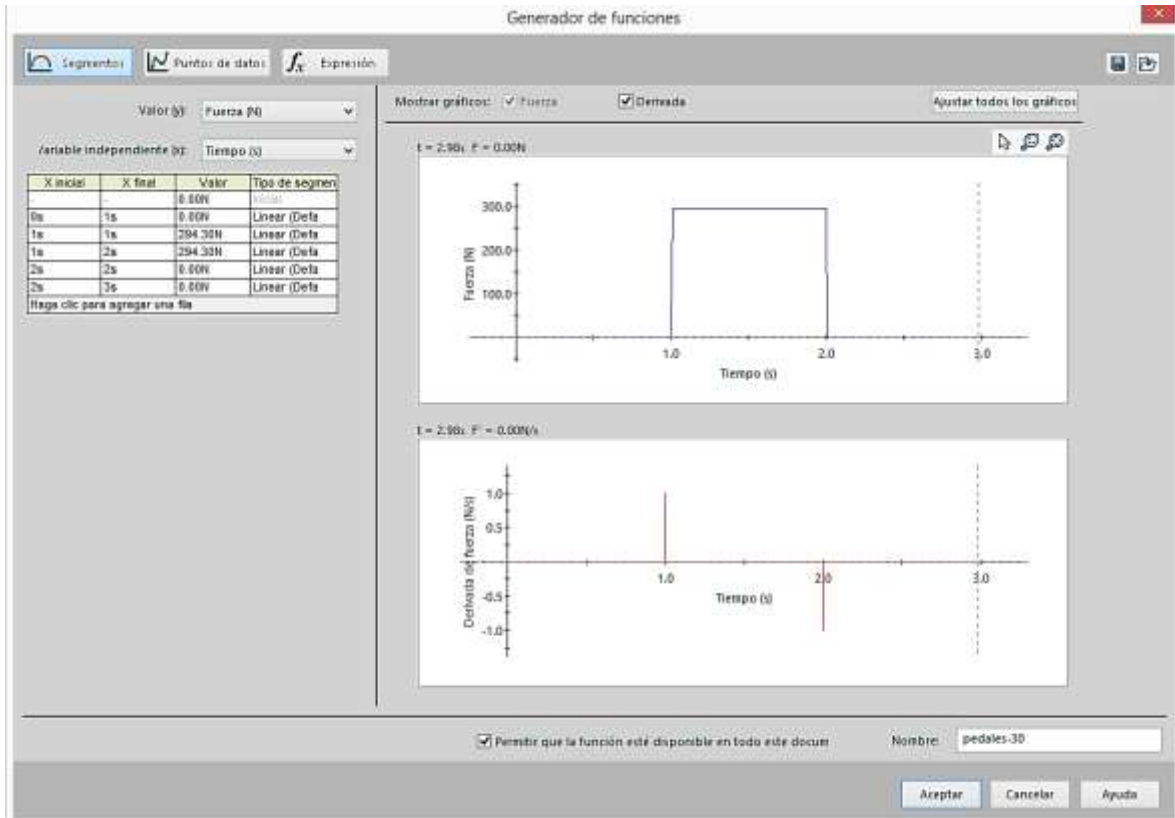
FIGURA 33. Aplicación de una fuerza segmentada de 70 Kg sobre el asiento.



Fuente: Elaboración propia.

De igual manera la fuerza sobre los pedales (294.3 N) se aplica de la siguiente manera:

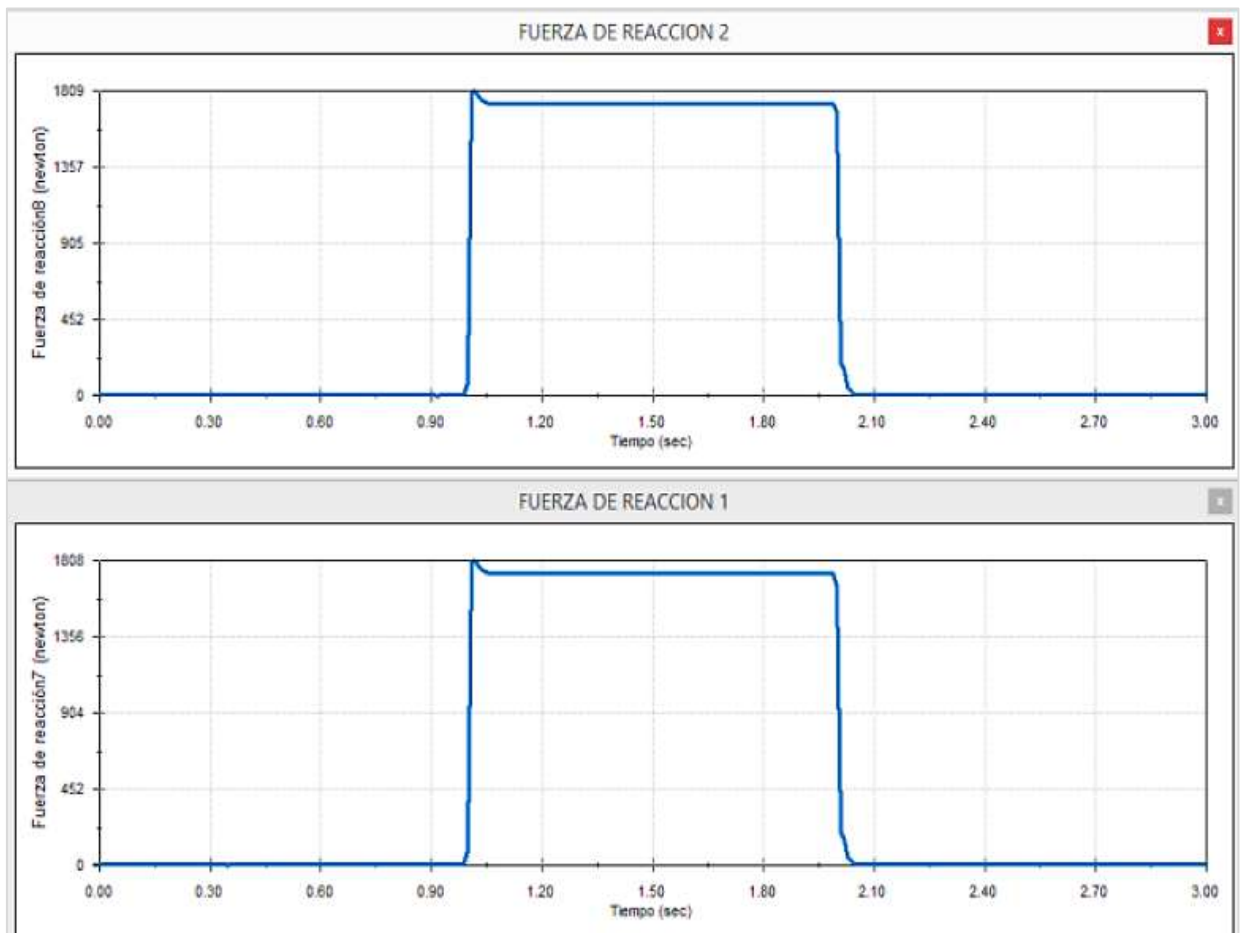
FIGURA 34. Fuerza que aplica el ciclista sobre los pedales.



Fuente: Elaboración propia.

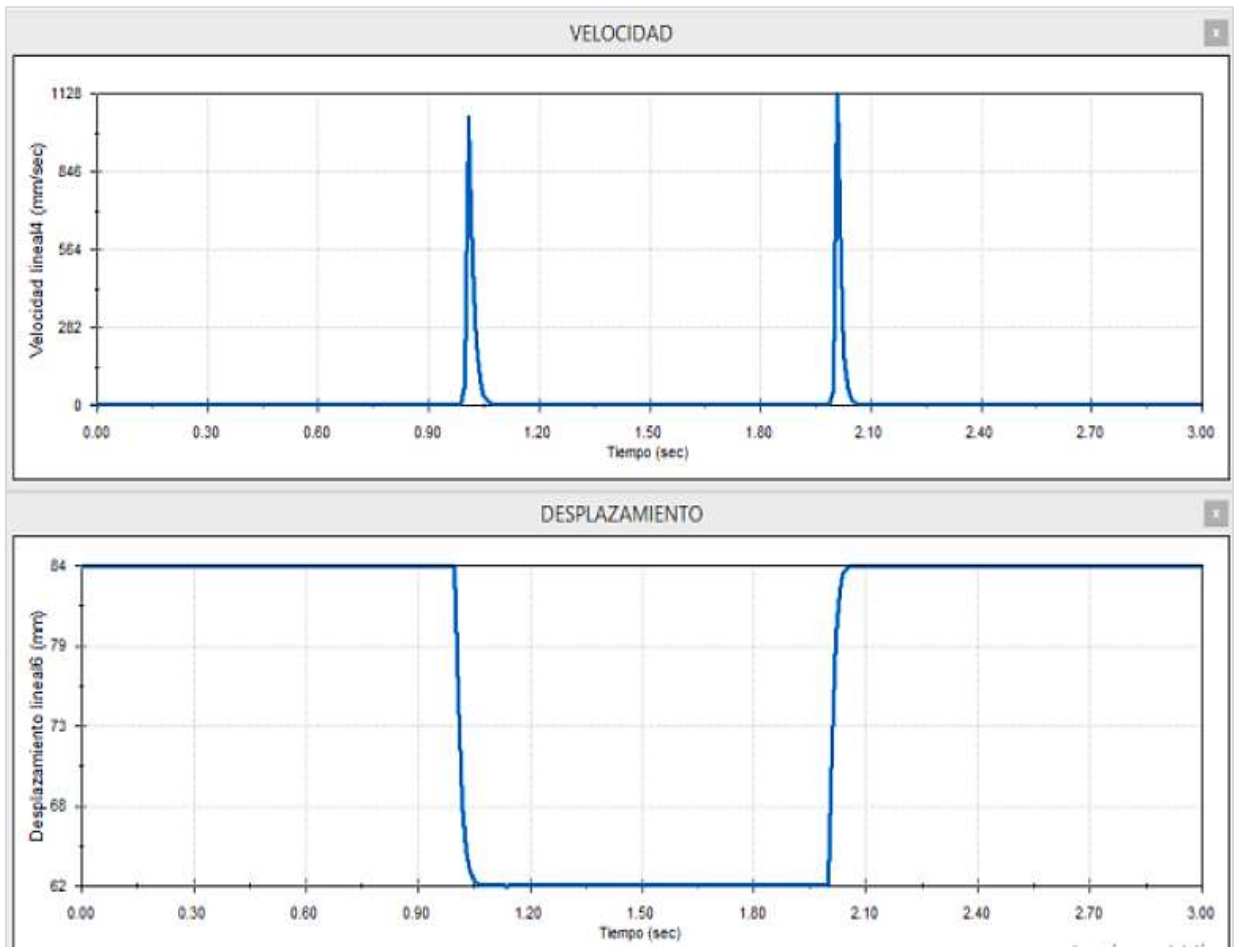
Los resultados de la simulación para las variables REACCIÓN 1, REACCIÓN 2, VELOCIDAD, y DESPLAZAMIENTO fueron los siguientes:

FIGURA 35. Fuerzas de reacción del estudio 02.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 36. Velocidad y desplazamiento del estudio 02.

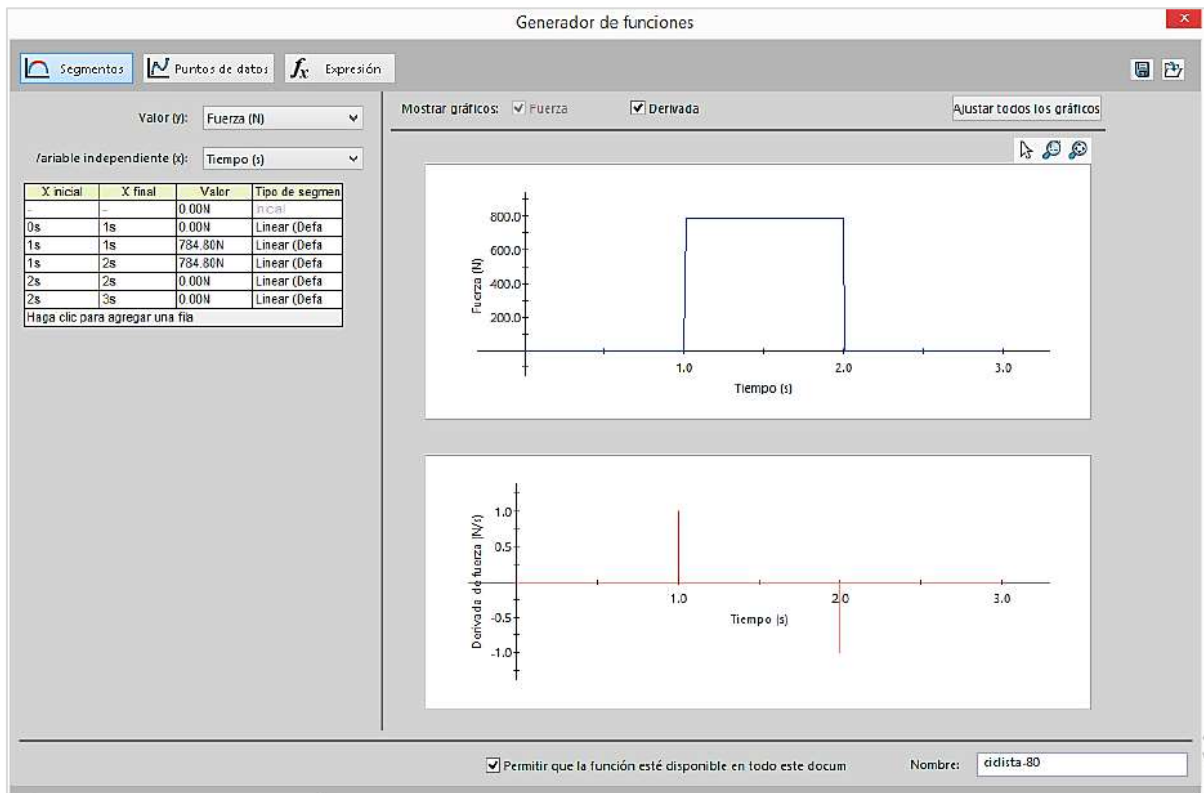


Fuente: Elaboración propia.

Estudio 03.

Las fuerzas que genera el ciclista son debidas a su propio peso y a la fuerza que ejerce sobre los pedales. Para esta simulación se consideraron las siguientes fuerzas, 80 kg (peso del ciclista) y 40 kg (fuerza sobre los pedales). En SolidWorks se procede a aplicar el peso del ciclista (784.8 N) sobre el asiento por segmentos:

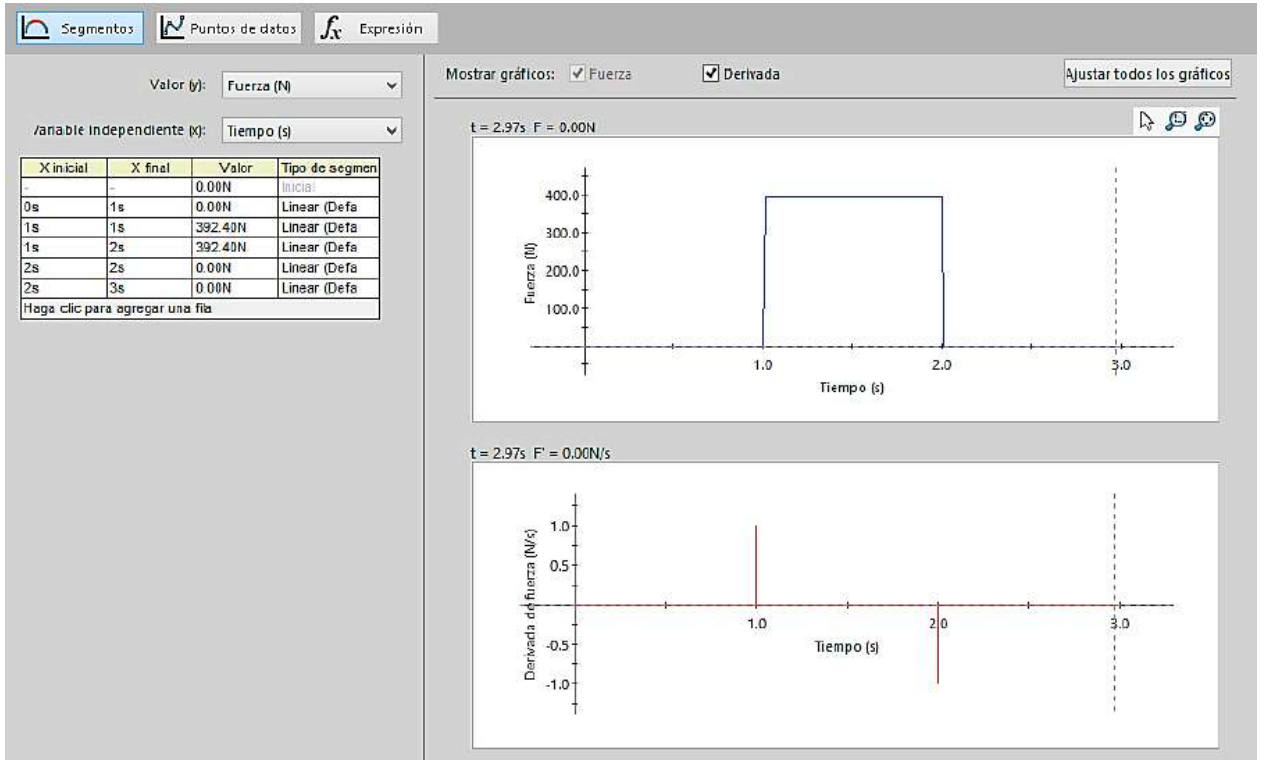
FIGURA 37. Aplicación de una fuerza segmentada de 80 Kg sobre el asiento.



Fuente: Elaboración propia.

De igual manera la fuerza sobre los pedales (392.4 N) se aplica de la siguiente manera:

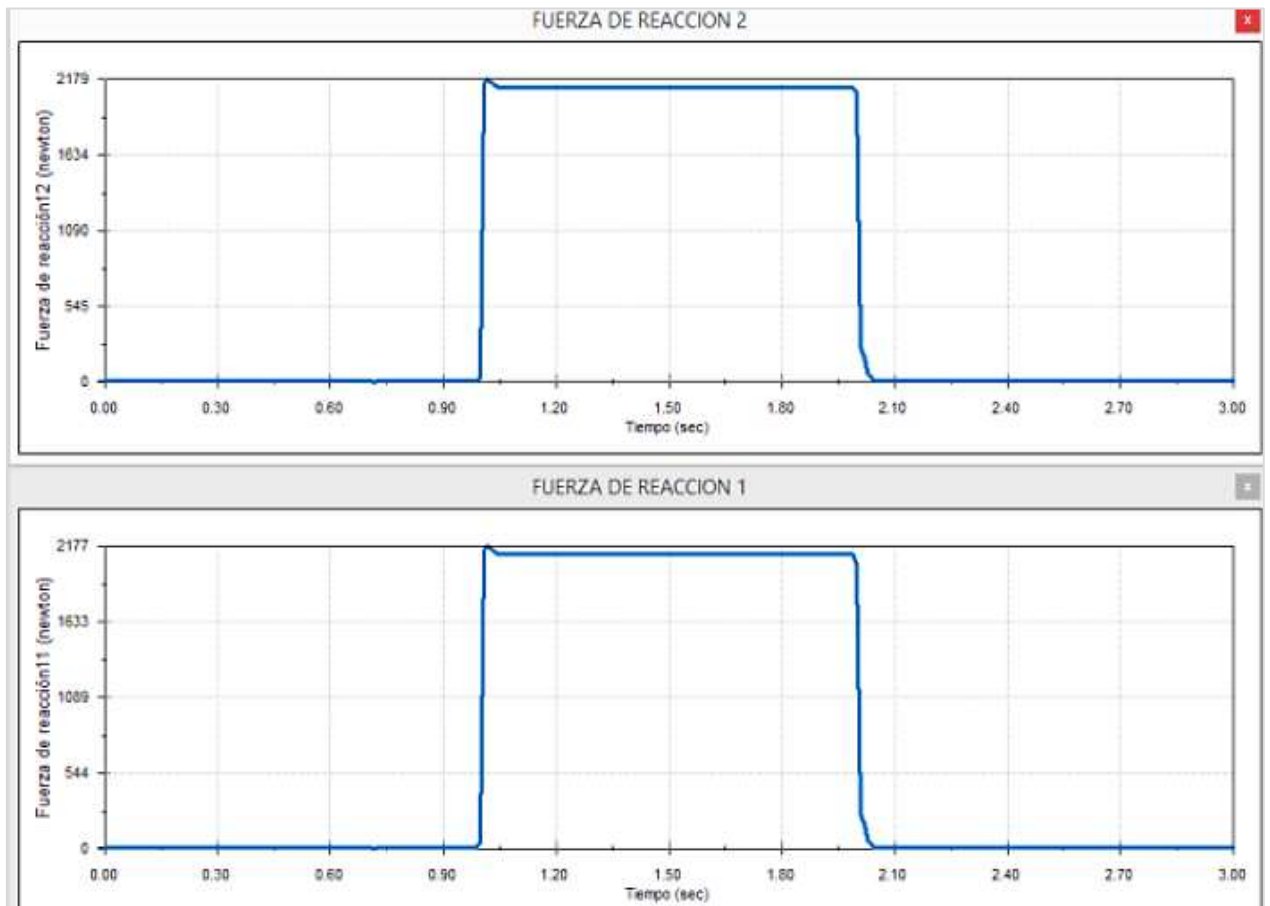
FIGURA 38. Fuerza que aplica el ciclista sobre los pedales.



Fuente: Elaboración propia.

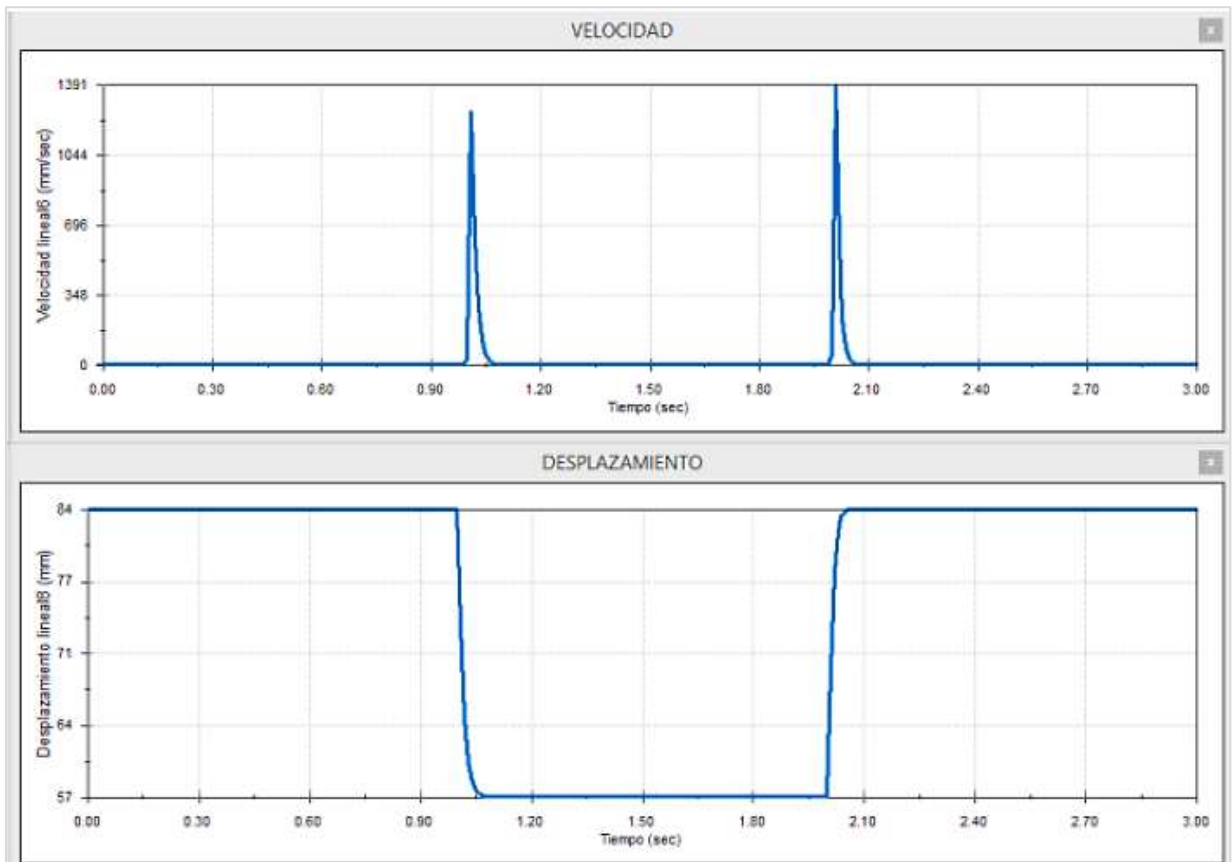
Los resultados de la simulación para las variables REACCIÓN 1, REACCIÓN 2, VELOCIDAD, y DESPLAZAMIENTO fueron los siguientes:

FIGURA 39. Fuerzas de reacción del estudio 03.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 40. Velocidad y desplazamiento del estudio 03.

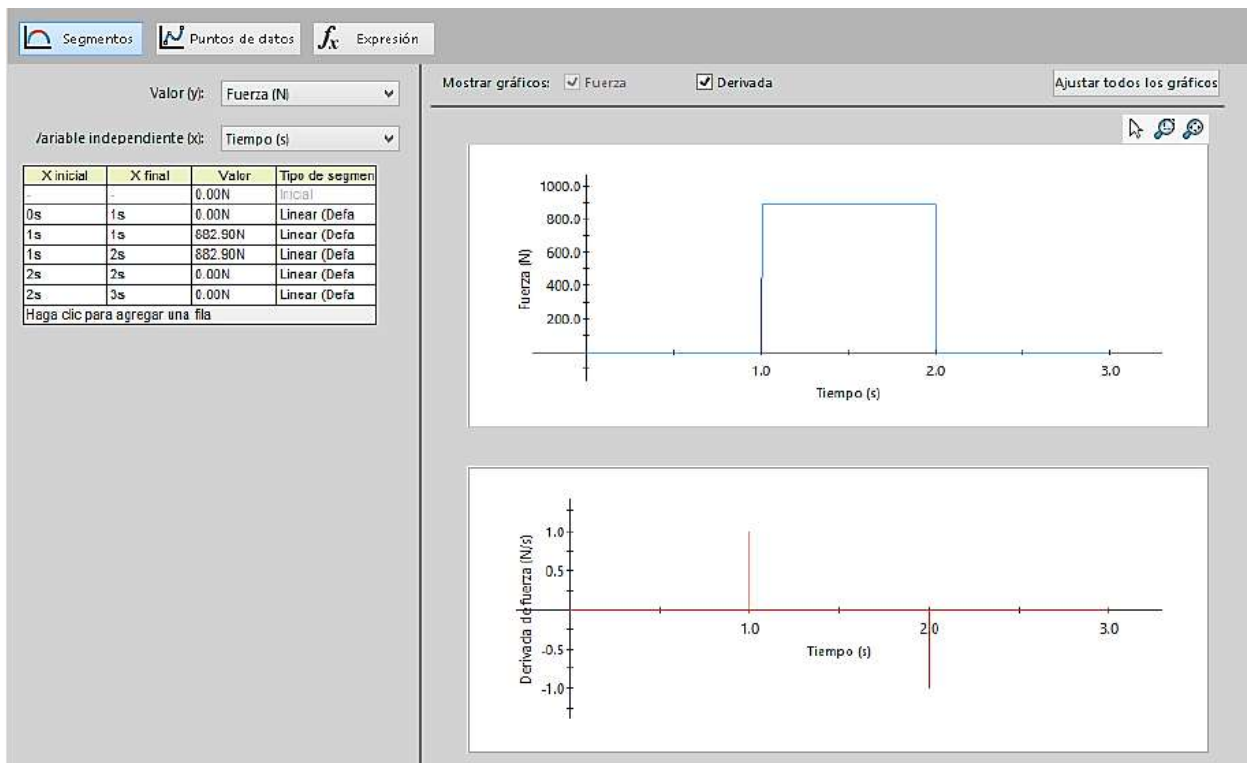


Fuente: Elaboración propia.

Estudio 04.

Las fuerzas que genera el ciclista son debidas a su propio peso y a la fuerza que ejerce sobre los pedales. Para esta simulación se consideraron las siguientes fuerzas, 90 kg (peso del ciclista) y 40 kg (fuerza sobre los pedales). En SolidWorks se procede a aplicar el peso del ciclista (882.9 N) sobre el asiento por segmentos:

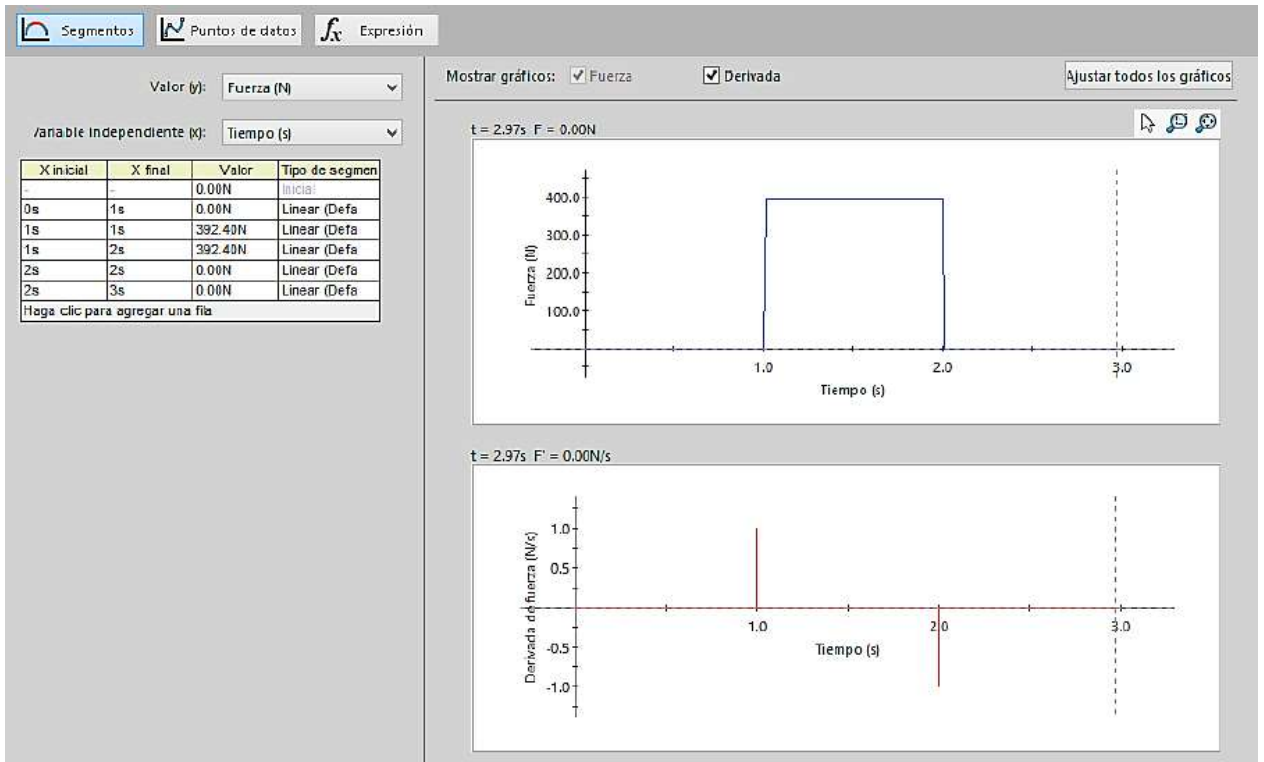
FIGURA 41. Aplicación de una fuerza segmentada de 90 Kg sobre el asiento.



Fuente: Elaboración propia.

De igual manera la fuerza sobre los pedales (392.4 N) se aplica de la siguiente manera:

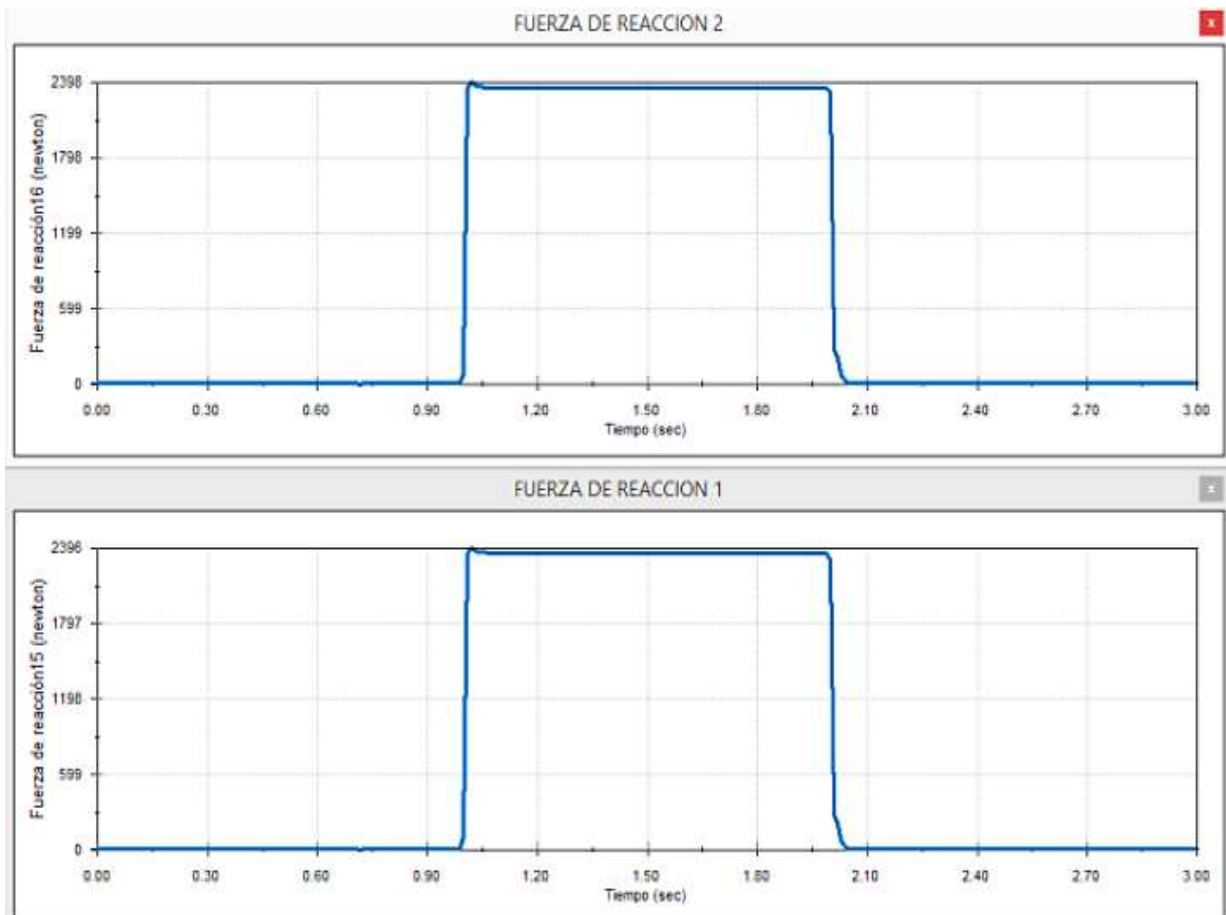
FIGURA 42. Fuerza que aplica el ciclista sobre los pedales.



Fuente: Elaboración propia.

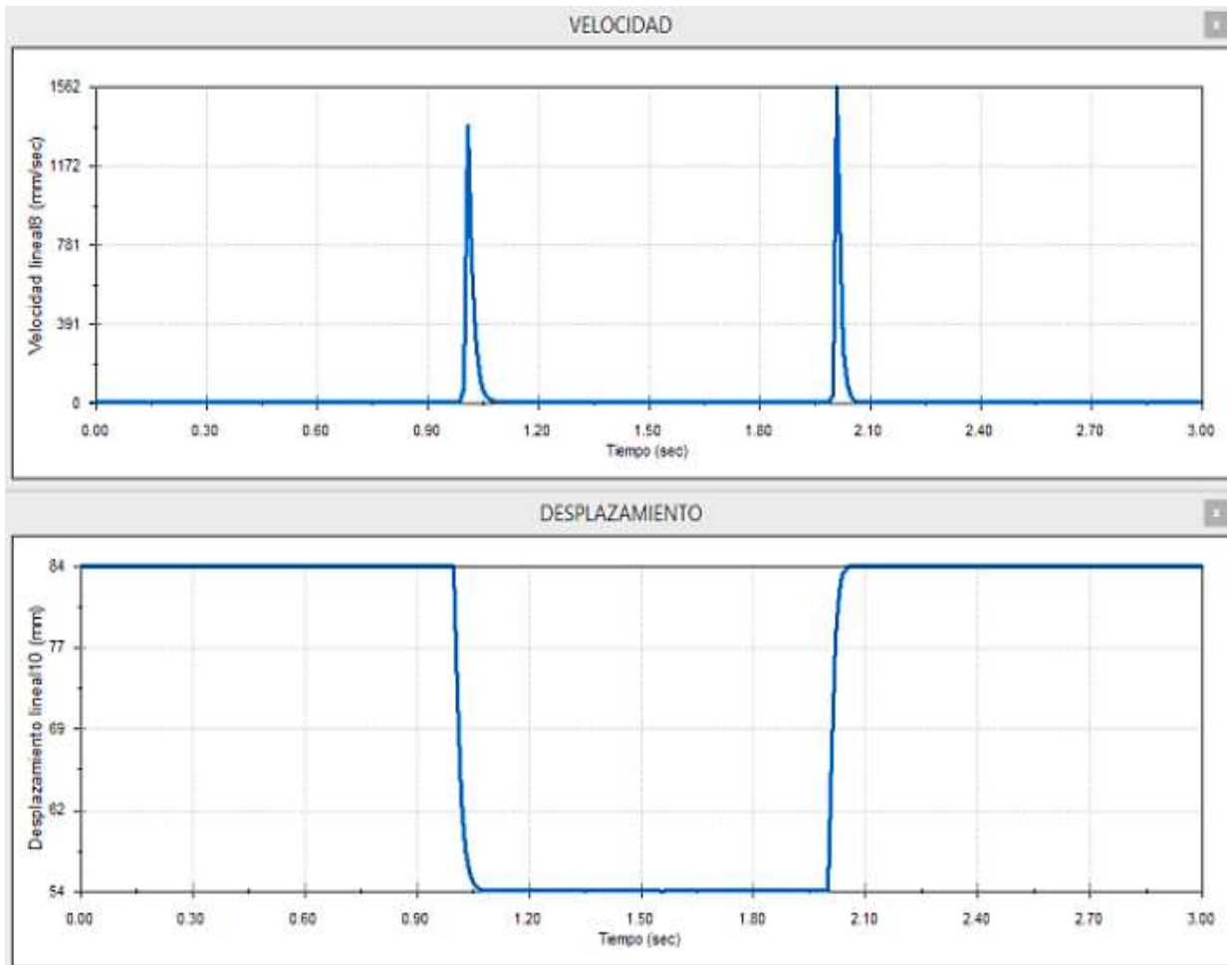
Los resultados de la simulación para las variables REACCIÓN 1, REACCIÓN 2, VELOCIDAD, y DESPLAZAMIENTO fueron los siguientes:

FIGURA 43. Fuerzas de reacción del estudio 04.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 44. Velocidad y desplazamiento del estudio 04.



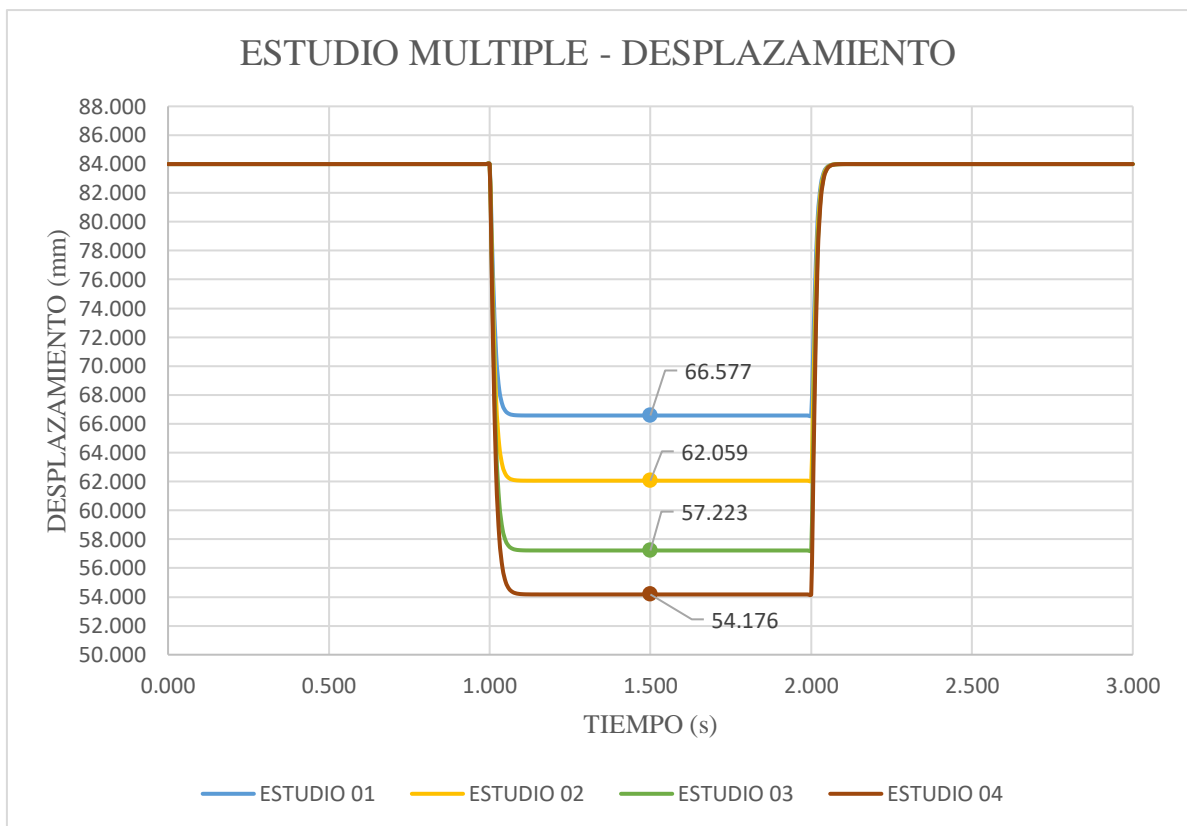
Fuente: Elaboración propia.

Analizar los resultados obtenidos.

Análisis de las variables del amortiguador.

El recorrido de una bicicleta varía dependiendo de la aplicación, en nuestro caso el sistema de suspensión usado es de un modelo de bicicleta de montaña modelo “Cross Country”. El recorrido de la suspensión de este tipo de modelos oscila entre 50 – 80 mm, de manera que buscaremos que nuestro modelo siga este ideal. Las gráficas de desplazamiento nos indica que en menos de 1 segundos se estabiliza el resorte, regresando a su posición original después de la aplicación de las fuerzas. La realización de las 4 simulaciones para diferentes fuerzas aplicadas a los pedales y al asiento de la bicicleta indican los siguientes resultados:

FIGURA 45. Desplazamientos generados en los estudios 1, 2, 3 y 4.



Fuente: Elaboración propia.

Después de aplicar las fuerzas en las posiciones específicas (asiento y pedales), el sistema de suspensión se comprime hasta las siguientes posiciones finales:

Tabla 9. Posición final del sistema de suspensión en cada simulación.

ESTUDIO	FUERZAS (kg)	POSICIÓN FINAL (mm)
01	60	66.577
	20	
02	70	62.059
	30	
03	80	57.223
	40	
04	90	54.176
	40	

Fuente: Elaboración propia.

Estableciendo los desplazamientos del sistema de suspensión para cada una de las simulaciones (considerando una longitud inicial de la suspensión: 84mm). Como podemos observar los desplazamientos generados son muy pequeños (Tabla 05) en comparación a los valores estándar en bicicletas de montaña modelo “Cross Country”.

Tomando un promedio de los rangos de desplazamientos recomendados, obtenemos un desplazamiento de 50 mm aproximadamente. En conclusión, se requiere aplicar una modificación en las propiedades del sistema de suspensión, para lograr un desplazamiento más cercano al recomendado. La velocidad también es un punto para considerar, debido a sus valores muy elevados. La velocidad de la suspensión es proporcional al coeficiente de amortiguamiento, por ello su modificación determinara la velocidad deseada.

Tabla 10. Resultados del sistema de suspensión en cada estudio.

Estudio	Desplazamiento máximo (mm)	Velocidad máxima (mm/seg.)	Fuerza de reacción máxima (N)
01	17.423	890	1451
02	21.941	1128	1809
03	26.777	1391	2179
04	29.824	1562	2398

Fuente: Elaboración propia.

Rediseñar el sistema de amortiguamiento de la bicicleta.

Se propone el diseño de dos tipos de sistema de suspensión, con la finalidad de obtener el mayor rendimiento en el desplazamiento. El primer sistema de suspensión será utilizado para bicicletas que soporten masas de 80 – 100 kg, y el segundo para bicicletas que soporten masas de 120 – 130 kg. El valor de la constante de amortiguamiento (“c”) se incrementa con la finalidad de reducir la velocidad de reacción del resorte, y de establecer

una mayor comodidad para el conductor. La constante del resorte (“k”) se reduce con la finalidad de incrementar al máximo el desplazamiento generador por la suspensión. Las simulaciones o estudios se llevaron aplicando las nuevas constantes y se determinaron los trazados de las funciones de desplazamiento, velocidad y fuerzas de reacción. Las dimensiones iniciales de la bicicleta nos dificultan la modificación de la longitud de la suspensión, por ello los únicos factores modificables a considerar son las constantes del resorte y la constante de amortiguamiento. Las características (k y c) del sistema de suspensión para cada uno de los casos son los siguientes:

Tabla 11. Nuevos valores de “k” y “c” para el sistema de suspensión.

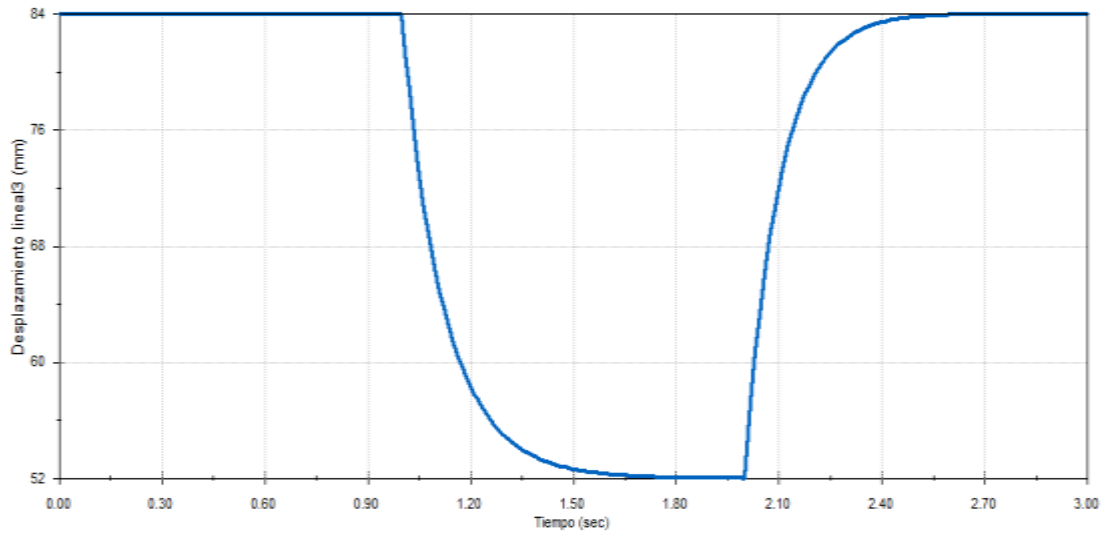
Sistema de suspensión	Peso del ciclista (kg)	Peso sobre los pedales (kg)	Características del sistema	
			“k” (N/mm)	“c” (N. s/mm)
Diseño 01	60	20	47.0	4.8
	70	30		
Diseño 02	80	40	62	4.8
	90	40		

Fuente: Elaboración propia.

Estudio 01.

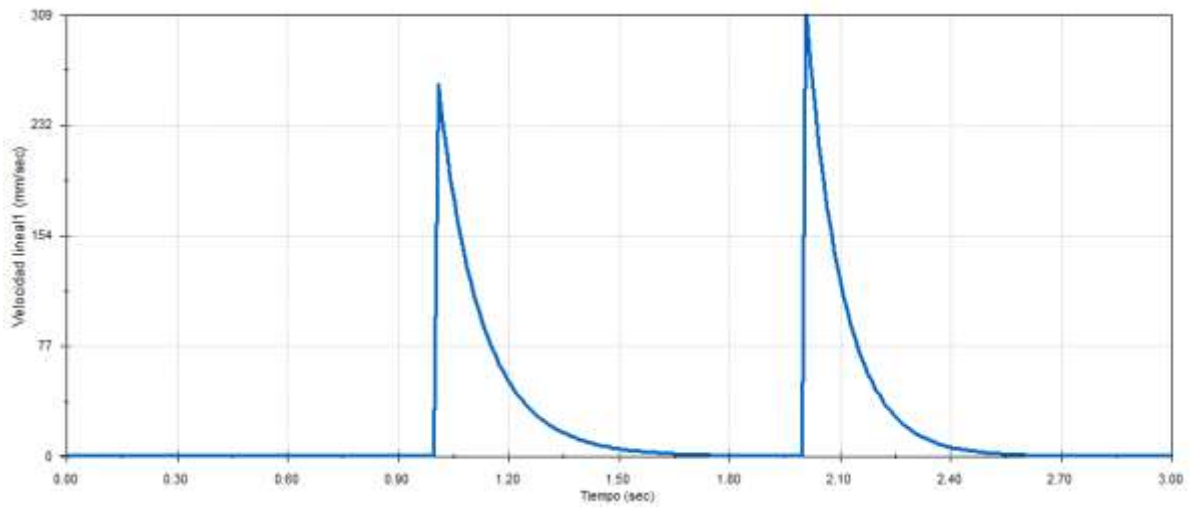
El peso del conductor y el peso sobre los pedales se conservó y solo se modificaron las constantes del sistema de suspensión. Los resultados mostraron un desplazamiento máximo de 32 mm y una velocidad máxima de 309 mm/seg. Los resultados se muestran a continuación:

FIGURA 46. *Nuevo desplazamiento de la suspensión en el Estudio 01.*



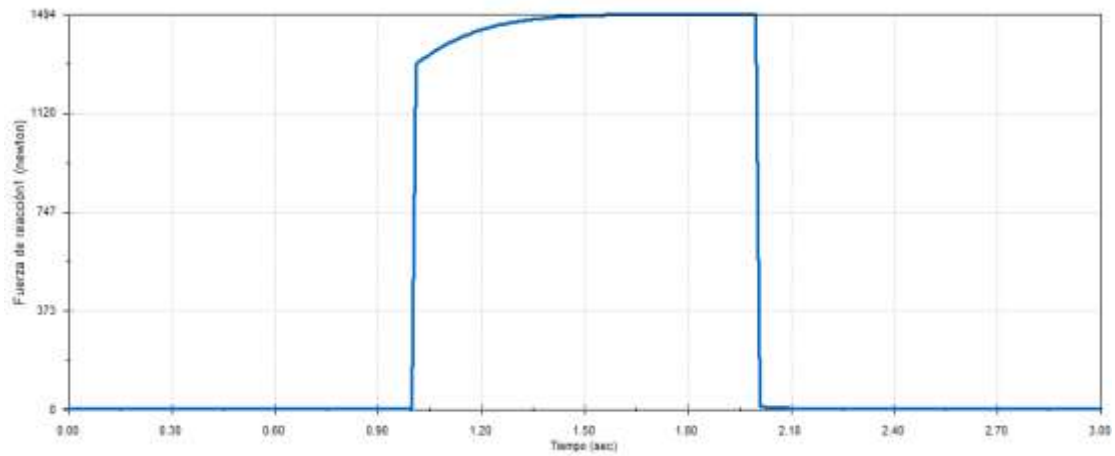
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 47. *Nueva curva de velocidad de la suspensión en el Estudio 01.*



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 48. Nueva fuerza de reacción del sistema de suspensión en el Estudio 01.

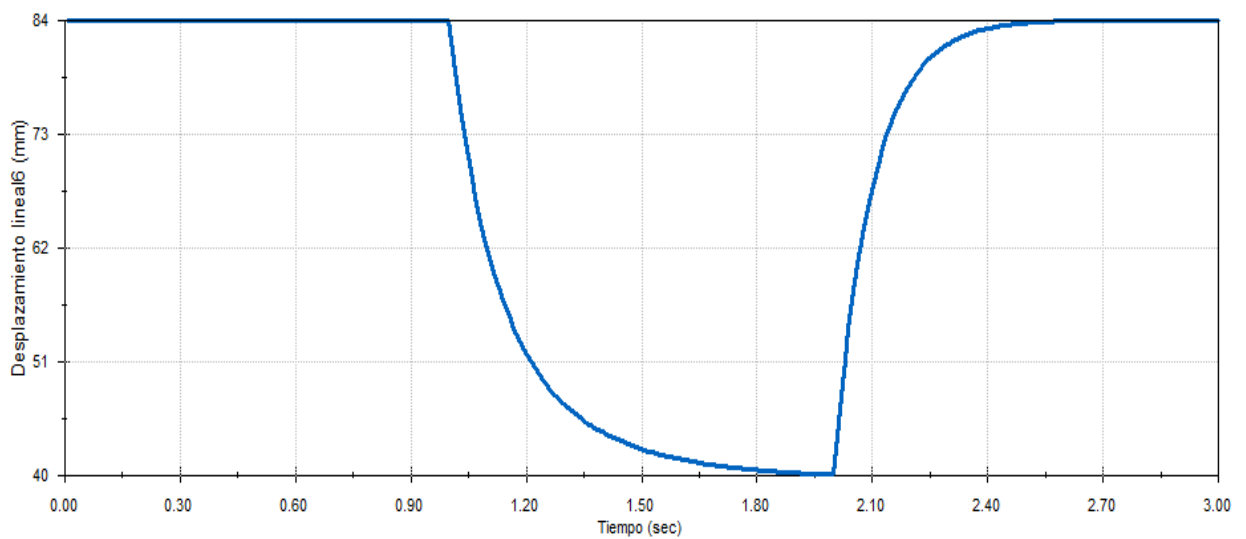


Fuente: Elaboración propia.

Estudio 02.

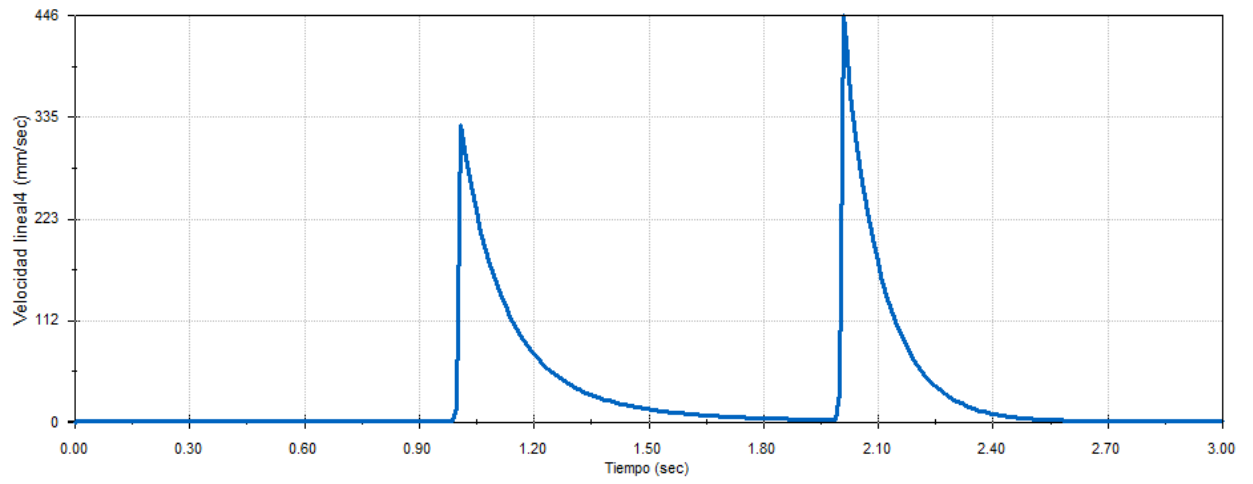
El peso del conductor y el peso sobre los pedales se conservó y solo se modificaron las constantes del sistema de suspensión. Los resultados mostraron un desplazamiento máximo de 44 mm y una velocidad máxima de 446 mm/seg. Los resultados se muestran a continuación:

FIGURA 49. Nuevo desplazamiento generado en el Estudio 02.



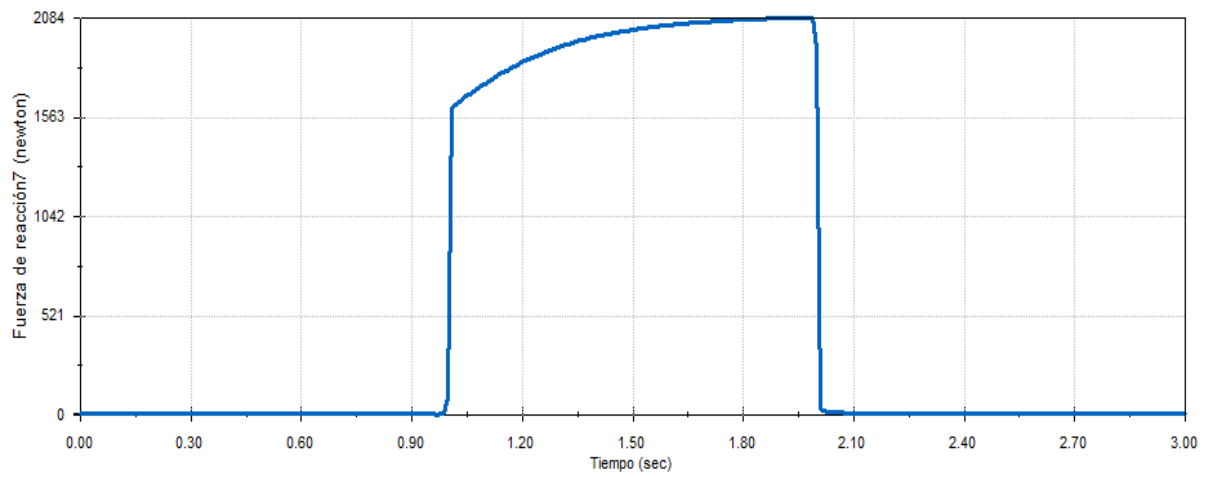
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 50. Nueva curva de velocidad de la suspensión en el Estudio 02.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 51. Nuevas fuerzas de reacción generadas en el Estudio 02.

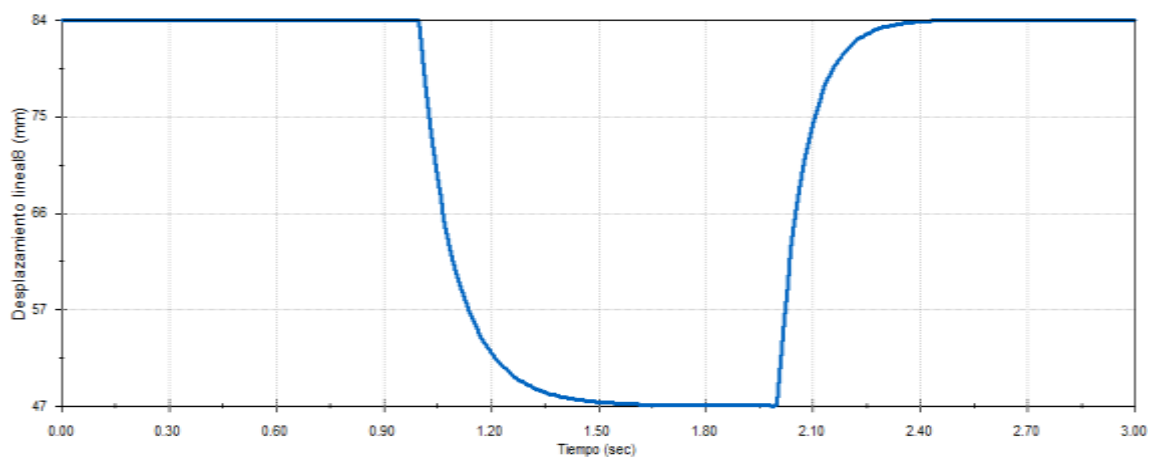


Fuente: Elaboración propia.

Estudio 03.

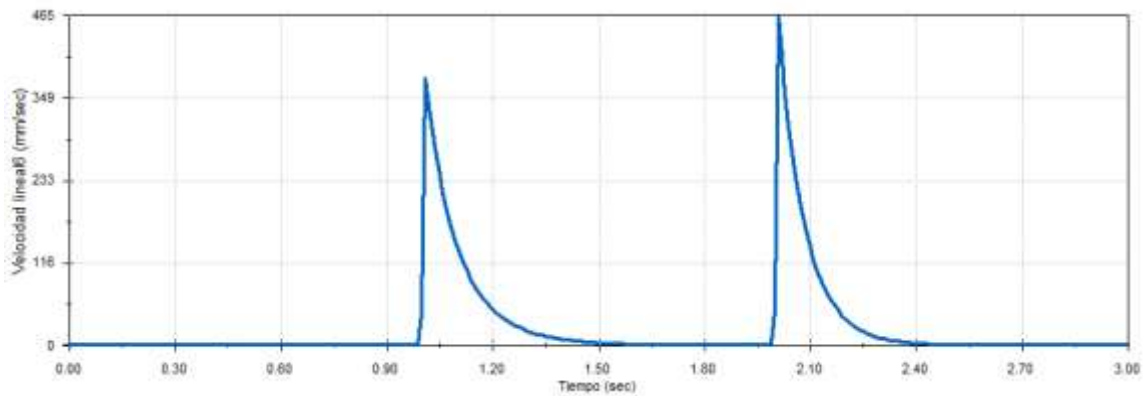
El peso del conductor y el peso sobre los pedales se conservó y solo se modificaron las constantes del sistema de suspensión. Los resultados mostraron un desplazamiento máximo de 37 mm y una velocidad máxima de 465 mm/seg. Los resultados se muestran a continuación:

FIGURA 52. *Nuevo desplazamiento de la suspensión en el Estudio 03.*



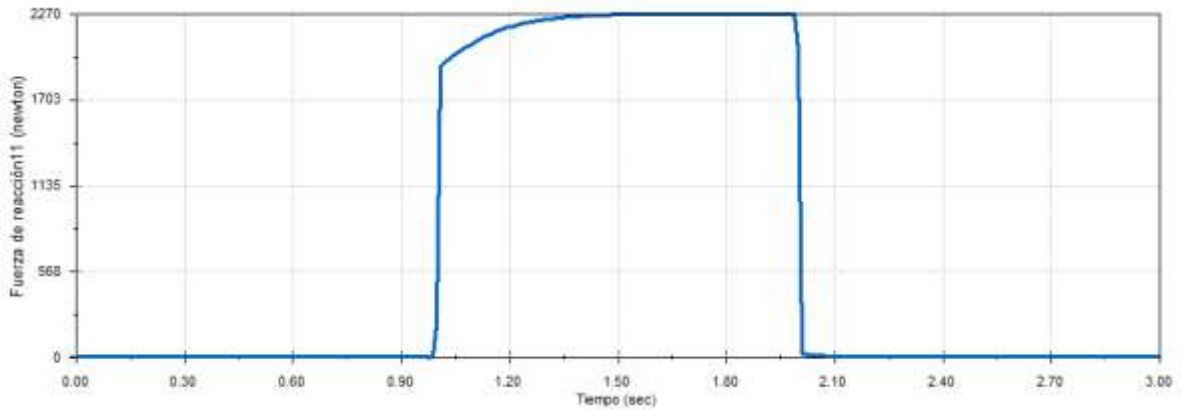
Fuente: Elaboración propia.

Figura 53. *Nueva curva de velocidad de la suspensión en el Estudio 03.*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 54. Nuevas fuerzas de reacción generadas en el Estudio 03.

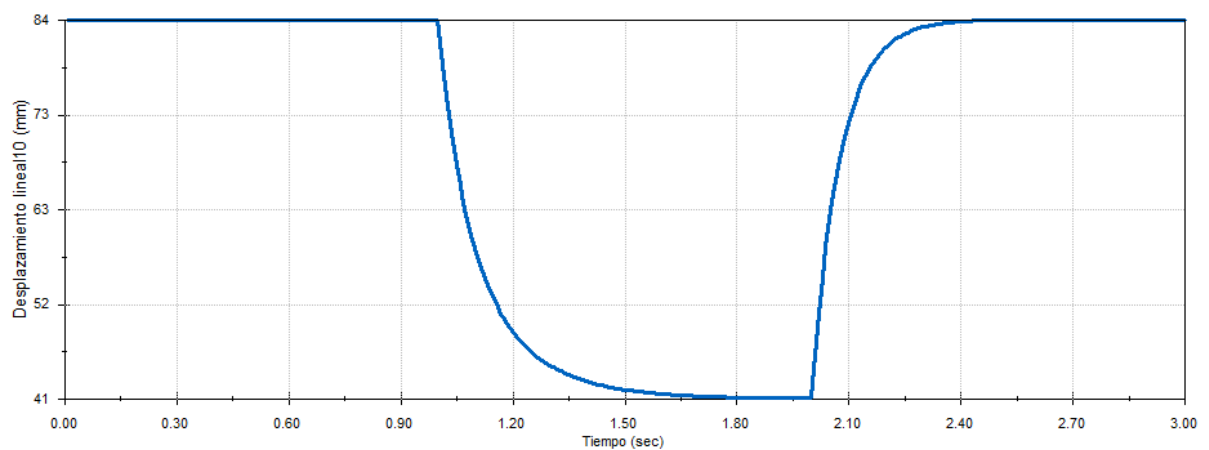


Fuente: Elaboración propia.

Estudio 04.

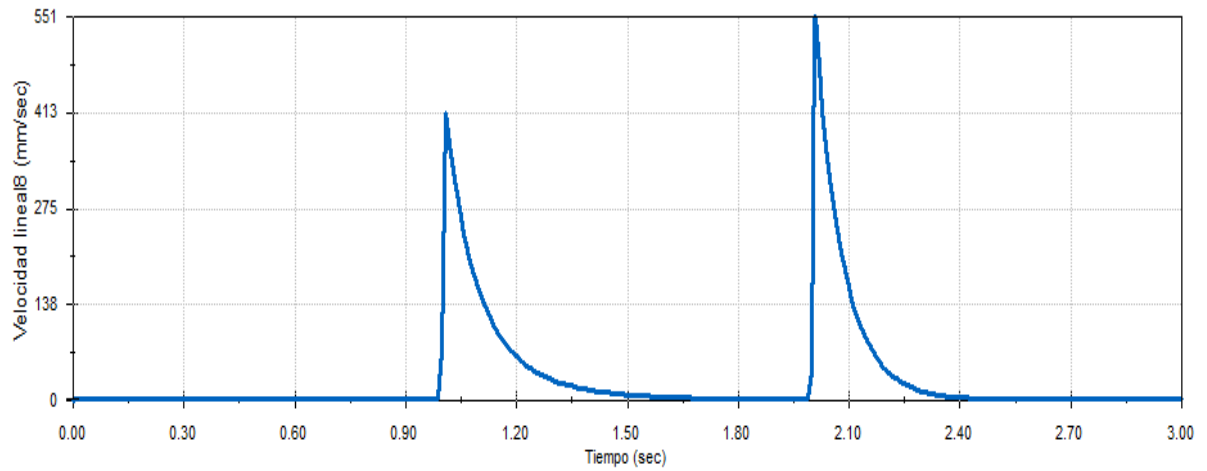
El peso del conductor y el peso sobre los pedales se conservó y solo se modificaron las constantes del sistema de suspensión. Los resultados mostraron un desplazamiento máximo de 43 mm y una velocidad máxima de 551 mm/seg. Los resultados se muestran a continuación:

Figura 55. Nuevo desplazamiento de la suspensión en el Estudio 04.



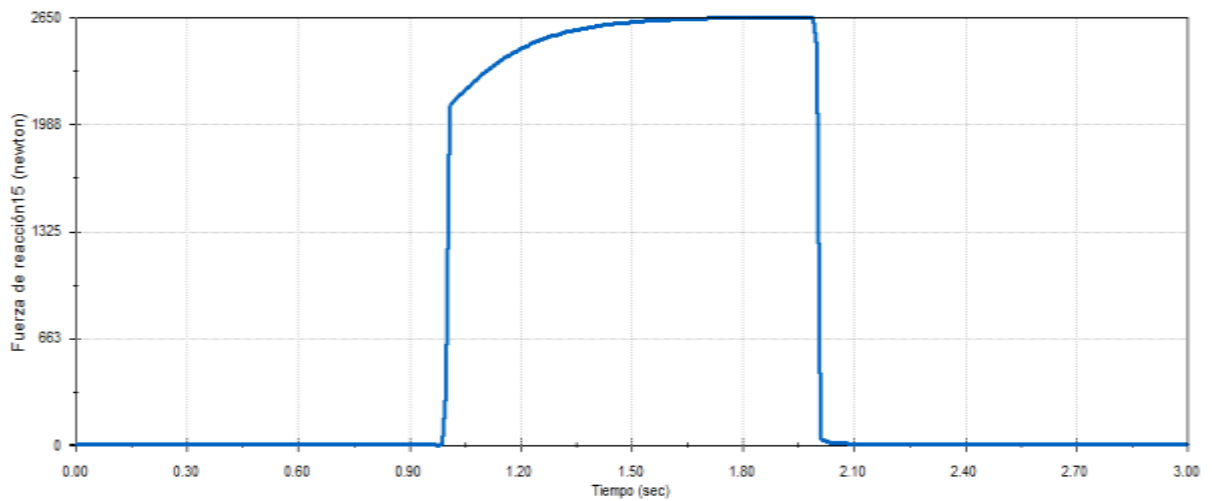
Fuente: Elaboración propia.

Figura 56. Nueva curva de velocidad de la suspensión en el Estudio 04.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 57. Nuevas fuerzas de reacción generadas en el Estudio 04.



Fuente: Elaboración propia.

Resultados.

Después de simular los diseños de suspensión propuestos, se determinaron las curvas de velocidad, desplazamiento, y fuerzas de reacción. Las variables estudiadas tuvieron los siguientes valores máximos:

Tabla 12. Resultados del rediseño del amortiguador.

Estudio	Desplazamiento máximo (mm)	Velocidad máxima (mm/seg.)	Fuerza de reacción máxima (N)
01	32	309	1494
02	44	446	2084
03	37	465	2270
04	43	551	2650

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Discusión.

La carga máxima que puede soportar el eje del amortiguador es de aproximadamente 109.902 KN, que en comparación con la carga real aplicada (551.9 N a 30° de inclinación en subida del terreno) resulta muy por encima. Por lo que el eje del amortiguador soportará fácilmente las cargas que le imprimirá el conductor (carga sobre el asiento y los pedales). Cabe señalar que el estudio estático solo ha considerado las cargas que el conductor imprime sobre la bicicleta, sin tomar en cuenta la dinámica del sistema ni la accidentabilidad del terreno.

Para el Estudio 01 que considero las cargas de 60 y 20 kg en el asiento y los pedales respectivamente, la posición del amortiguador paso de 84 a 67 mm, lo que representa un desplazamiento neto de 17 mm. La velocidad de oscilación del amortiguador fue 890 mm/seg. Para el Estudio 02 que considero las cargas de 70 y 30 kg en el asiento y los pedales respectivamente, la posición del amortiguador paso de 84 a 62 mm, lo que representa un desplazamiento neto de 22 mm. La velocidad de oscilación del amortiguador fue 1128 mm/seg. Para el Estudio 03 que considero las cargas de 80 y 40 kg en el asiento y los pedales respectivamente, la posición del amortiguador paso de 84 a 57 mm, lo que representa un desplazamiento neto de 27 mm. La velocidad de oscilación fue 1391 mm/seg.

Para el Estudio 04 que considero las cargas de 90 y 40 kg en el asiento y los pedales respectivamente, la posición del amortiguador paso de 84 a 54 mm, lo que representa un desplazamiento neto de 30 mm. La velocidad de oscilación fue 1562 mm/seg.

Los 4 estudios realizados al amortiguador en diferentes condiciones de carga nos indican un desplazamiento fuera de los rangos recomendados para bicicletas modelo "Cross Country", que está en aproximadamente 50 mm como mínimo. Aun aplicando cargas elevadas como en el Estudio 04 (90 y 40 kg) se obtuvieron desplazamientos relativamente pequeños, que en términos prácticos no eficiente para generar una buena comodidad durante la conducción. Las velocidades de oscilación obtenidas se consideran muy elevadas, aún con en el Estudio 01 que considero cargas de 60 y 20 kg, se obtuvo una velocidad de 890 mm/seg, esto afecta directamente la comodidad del usuario.

Un análisis más preciso de los datos nos muestra que el desplazamiento se encuentra entre los rangos de 17.423 – 29.824 mm, para condiciones mínimas y máximas respectivamente, lo que significa que el coeficiente del resorte se encuentra en rangos muy pequeños ("k"). Al igual que el desplazamiento, la velocidad está fuera de rangos coherentes, y oscila de 890 – 1562 mm/seg, lo que pone en manifiesto que el amortiguador cuenta con un coeficiente de amortiguamiento ("c") muy elevado. Las fuerzas de reacción que actúan el

amortiguador oscilaron entre 1451 – 2398 N, que en comparación con el análisis estático son valores mayores, esto es a raíz de que en este caso la precisión del análisis dinámico es mayor. Aun así, los valores obtenidos son soportados fácilmente por el eje del amortiguador que utiliza Ti – 35A como material de fabricación.

Después de realizadas las modificaciones de las propiedades del amortiguador (coeficientes), se obtuvieron resultados más positivos en los estudios llevados a cabo. Los desplazamientos del amortiguador se incrementaron hasta el rango de 32 – 43 mm. Este resultado aún está fuera de los rangos recomendados (50 mm), debido a que la geometría actual de la bicicleta no permite una modificación de la carrera de la suspensión, que al incrementar permitiría modificar el desplazamiento de manera más sencilla. La velocidad de oscilación se redujo hasta un rango de 309 – 551 mm/seg, que representa casi la tercera parte los valores obtenidos al inicio. Las fuerzas de reacción obtenidas se encuentran entre los rangos de 1494 – 2650 N, que son coherentes frente al material seleccionado (titanio).

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1. Conclusiones.

- Al realizar un análisis estático del sistema ciclista – conductor se determinaron las fuerzas de reacción sobre el amortiguador, obteniendo 551.9, 501.45, 470.35 y 420.89 N para las inclinaciones de 30°, 40°, 50°, y 60° respectivamente. Esto no indica que la máxima magnitud de la reacción sobre el amortiguador se da con la menor inclinación del terreno (inclinación de 0°). Los materiales típicos en la fabricación de amortiguadores soportan estas cargas de compresión.
- La simulación dinámica y frecuencial del sistema de amortiguación se llevó a cabo en el software SolidWorks, y se calcularon las funciones para el desplazamiento, la velocidad y las fuerzas de reacción en el tiempo. Los 4 estudios aplicados consideraron una masa sobre el asiento de 60, 70, 80 y 90 kg, y una fuerza sobre los pedales de 20, 30, 40, 40 kg respectivamente. Las constantes del amortiguador considerados fueron 78.8 N/mm y 1.103 N. s/mm para “k” y “c” respectivamente. Las curvas obtenidas nos indican que los desplazamientos (posición final al ser comprimido y extendido) oscilan de 54.176 – 66.577 mm. En cuestión a las curvas de velocidad se obtienen rangos entre 890 – 1562 mm / seg. Las fuerzas de reacción sobre el amortiguador determinadas oscilan entre 1128 – 2398 N, valores notablemente mayores a los resultados obtenidos en el análisis estático, debido a que en este caso en análisis dinámico considera más variables físicas de estudio, lo que mejora la precisión del cálculo.
- Los resultados de los 4 estudios de simulación nos indican un desplazamiento muy pequeño que oscila entre 17.423 – 29.824 mm. Además, las curvas de desplazamiento indican un bajo nivel de amortiguamiento (el desplazamiento se lleva a cabo de manera muy brusca). Las curvas de velocidad nos muestran velocidades muy elevadas (1562 mm / seg para una fuerza sobre el asiento de 90 kg y una fuerza

sobre los pedales de 40 kg), que se consideran fuera de los rangos de comodidad para el usuario de los modelos de bicicleta "Cross Country". Por ello se considera una modificación de las constantes del amortiguador ("k" y "c") con la finalidad de mejorar los efectos de comodidad sobre el usuario.

- Los dos diseños considerados fueron desarrollados a partir de las siguientes características; el primero considera masas de 80 – 100 kg y el segundo masas de 120 – 130 kg. El coeficiente "k" se modifica hasta 47.0 en el primer diseño, y hasta 62 en el segundo diseño, con la finalidad de incrementar el desplazamiento del sistema de suspensión. El coeficiente "c" se reduce hasta 4.8 en ambos diseños, con la finalidad de reducir la velocidad de reacción de la suspensión. Se aplicaron las simulaciones respectivas y se obtuvieron resultados óptimos con respecto al desplazamiento y la velocidad. Se llegó a un desplazamiento máximo de 44 mm para el primer diseño y un desplazamiento máximo de 43 mm para el segundo diseño.

4.2. Recomendaciones.

- Para mejorar los resultados de las fuerzas de reacción sobre el amortiguador, se debe considerar un análisis dinámico del sistema, con la finalidad de mejorar la precisión de los resultados teóricos en comparación con las simulaciones en software. El cálculo debe considerar la distribución del peso del conductor de manera más precisa y las acciones que ejerce sobre la bicicleta tienen que ser distribuidos de mejor manera.
- Se debe extender las fuerzas consideradas en la simulación, por ejemplo, la fuerza sobre el manubrio, la fuerza sobre el asiento y la fuerza de los pedales con la finalidad de obtener mejores resultados. Una manera de determinar las fuerzas que el conductor aplica sobre la bicicleta de manera más precisa es mediante el uso de sensores, instalados sobre la bicicleta.
- El rediseño de las suspensiones debe considerar una modificación de la geometría de la bicicleta con la finalidad de mejorar los desplazamiento y velocidades en los diferentes casos. En tal caso la geometría actual limita las modificaciones en longitud que se pueden realizar sobre la suspensión. También es posible una modificación de los materiales de fabricación ya que las cargas que soporta la suspensión pueden fácilmente ser soportadas por materiales de menor resistencia a la tracción.

REFERENCIAS

- [1] C. Abagnale, M. Cardone, P. Iodice, R. Marialto, S. Strano, M. Terzo y G. Vorraro, «Design and Development of an Innovative E-Bike,» *Energy Procedia* , pp. 774-781, 2016.
- [2] R. A. Ríos y A. Taddia, *Ciclo - Inclusión en America Latina y el caribe: Guía para impulsar el uso de la bicicleta.*, Banco Interamericano de desarrollo., 2015.
- [3] Á. M. U. Becerra, «Personalización: Producto e individualidad.,» *Nexus comunicación.* , 2016.
- [4] J. Friesen, «Mountain Bike Rear Suspension Design: Utilizing a Magnetorheological Damper For Active Vibration Isolation and Performance,» *School of Engineering + Technology*, pp. 8-9, 2020.
- [5] D. Estévez Fernandez, Artist, *Modelo y simulación dinámica de bicicletas de montaña.* [Art]. Universidad de Almería, 2012.
- [6] J. Muelaner, T. Knight y J. Darling, «Kinematic Analysis and Optimization of Bicycle,» *Sustainable Design and Manufacturing*, pp. 28-38, 2015.
- [7] R. G. A. Rodríguez, «Caracterización y análisis del uso de bicicletas en la PUCP y lineamientos para su fomento,» Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2018.
- [8] A. Avello, *Teoría de Máquinas, Segunda Edición ed.*, España: Universidad de Navarra, 2016, p. 2.
- [9] M. Suárez, J. Romero, J. Legarda y H. Enriquez, «Estabilización de una bicicleta sin conductor mediante el enfoque de control por rechazo activo de perturbaciones,» de *Latin American Conference on Automatic Control* , Colombia, 2016.
- [10] A. Roda, A. Mata y J. Albelda, *Máquinas y Mecanismos*, Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2016.
- [11] R. Redfield, «Large motion mountain biking dynamics.,» *Vehicle system dynamics.* , pp. 845-865, 2005.
- [12] R. Urunkar, «Study of Drive Mechanisms of Bicycle, Tricycle or Like Vehicles to Optimize Operating Performance,» *Journal of Engineering Research and Applications*, pp. 214-219, 2014.
- [13] Á. E. Díez, «Investigación, diseño, prototipo de una bicicleta eléctrica y tecnologías emergentes en baterías,» *Investigaciones Aplicadas*, pp. 60-70, 2018.
- [14] W. Thomson, *Theory of vibration with applications*, New york: Springer, 2015.

- [15] M. Hymanjali y E. Surendar, «Design and Analysis of Shock Absorber,» *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, pp. 420-430, 2018.
- [16] W. Singh y N. Srilatha, «Design and Analysis of Shock Absorber: A Review,» *Materials Today*, pp. 4832-4837, 2018.
- [17] J. H. Ezeta, A. Mandow y A. G. Cerezo, «Los Sistemas de Suspensión Activa y Semiactiva: Una revisión,» *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, pp. 121-132, 2013.
- [18] R. Sindhvani, A. Bhatnagar, A. Soni, A. Sisodia y P. L. Singh, «Design and optimization of suspension for formula Society of Automotive Engineers (FSAE) vehicle,» *Materials Today: Proceedings* , pp. 1 - 5, 2020.
- [19] S. Savaresi, C. Poussot-Vassal, C. Spelta, O. Sename y L. Dugard, *Semi-Active Suspension Control Design for Vehicles 1st Edition*, New York: Elsevier, 2013.
- [20] Y. Zhang, G. Zhao y H. Li, «Multibody dynamic modeling and controlling for unmanned bicycle system,» *ISA Transactions*, pp. 24-30, 2021.
- [21] A. S. Malik, A. Reddy y M. Rizwanuddin, «Design and Analysis of Shock Absorber for 150cc Bike,» *International Research Journal of Engineering and Technology*, pp. 324 - 328 , 2020.
- [22] N. Guo, R. Jiang, Q. Y. Hao, S. Q. Xue y M. B. Hu, «Bicycle flow dynamics on wide roads: Experiments and simulation,» *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2021.
- [23] J. Vanwalleghema, F. Mortiera, I. De Baere, M. Loccufier y W. Van Paepegem, «Design of an instrumented bicycle for the evaluation of bicycle dynamics and its relation with the cyclist's comfort,» *Procedia Engineering*, pp. 1-6, 2014.
- [24] T. Worsey, «How Your Bike's Suspension Design Affects Its Road Performance,» *Enduro*, 2020.
- [25] J. Escotto, «Conoce tu amortiguador funcionamiento y tipos,» *Bikes World*, 2016.
- [26] G. Baena Paz, *Metodología de la Investigación*, México: Patria, 2014, p. 11.

ANEXOS

Anexo 01: Elaboración de entrevista.



ENTREVISTA

La entrevista se ha realizado con el objetivo de recolectar información relacionada a los amortiguadores de bicicletas de montaña, que existen hoy en día y sugerencias de optimización.

La entrevista va dirigida a ingenieros de la escuela de IME de la USS, conocedores del tema de investigación.

Esta entrevista será para el trabajo de investigación denominado “optimización del sistema de amortiguamiento de una bicicleta montañera Cross Country para mejorar el confort del ciclista”

Fecha: ____/____/____

Entrevistado _____

1. ¿cuál es el mayor defecto que influye en el confort con respecto a la amortiguación en tramos que presentan baches?

2. ¿Qué problemas de salud presenta cuando utiliza una bicicleta de forma constante para su transporte, respecto a la amortiguación?

-
-
-
3. ¿Cree que es eficiente la amortiguación con las que cuentan las bicicletas? ¿Por qué?

4. ¿Qué cambios recomendarías, si la amortiguación con las que cuentan las bicicletas no es óptima?

5. ¿Qué probabilidades tiene de perder estabilidad la bicicleta al momento de la amortiguación y a que cree que se debe?

Elaborado por: Bautista Gomez Nilson Roiner & Delgado Cajalean Jose Domel.

Anexo 02: Elaboración de encuesta.



ENCUESTA

La finalidad por la cual se está realizando esta encuesta es recolectar información en relación con el tema que venimos realizando los autores sobre optimizar los amortiguadores de bicicletas de montaña Cross Country para un mejor confort del ciclista.

La encuesta está dirigida a todos los ingenieros de la escuela de IME de nuestra casa de estudios, que tienen la capacidad de sabiduría sobre nuestra investigación.

La encuesta está realizada para la investigación denominada “Optimización del sistema de amortiguamiento de una bicicleta montañera Cross Country para mejorar el confort del ciclista”

Fecha: ____/____/____

Encuestado _____

1. ¿Conoce usted los problemas de salud más comunes que trae consigo la mala amortiguación de las bicicletas de montaña?

SI

NO

DESCONOCE

2. ¿Alguna vez ha escuchado sobre los tipos de amortiguadores para bicicletas que existen en los mercados?

SI

NO

DESCONOCE

3. De acuerdo con su respuesta de la pregunta N° 2, si es SI. Responda ¿cuál es estos tipos de amortiguadores conoce usted? Marque una o más.

- a) Amortiguador tipo muelle.
- b) Amortiguador tipo botella o depósito separado.
- c) Amortiguador tipo electrónico.
- d) Amortiguador tipo aire.

4. ¿Por qué cree que en los últimos años los grandes fabricantes de bicis están más enfocados en mejorar los sistemas de amortiguamiento de ellas?

- a) Porque de esa forma los fabricantes pueden obtener más dinero.
- b) Porque si no lo hacen no les compran su producto.
- c) Porque es su obligación de los fabricantes.
- d) Porque de esa manera pueden disminuir los niveles de vibración en la bicicleta y el ciclista se sienta satisfecho al adquirir su producto.

5. Sabía usted que ¿la bicicleta al momento de la vibrar entra en contacto con alguna parte del cuerpo y le transmite energía la cual es provocada por diversos efectos que estas dependen de la vibración?

SI

NO

DESCONOCE

6. Al mejorar los niveles de vibración en las bicicletas. ¿Usted cree que aumentaría el transporte en bicicletas en nuestro país?

SI

NO

TAL VEZ

7. ¿Estaría usted dispuesto en adquirir una bicicleta con un sistema de amortiguamiento optimizado, y que cumpla con todas sus normativas de diseño como medio de transporte?

SI

NO

TAL VEZ

Elaborado por: Bautista Gomez Nilson Roiner & Delgado Cajalean Jose Domel.

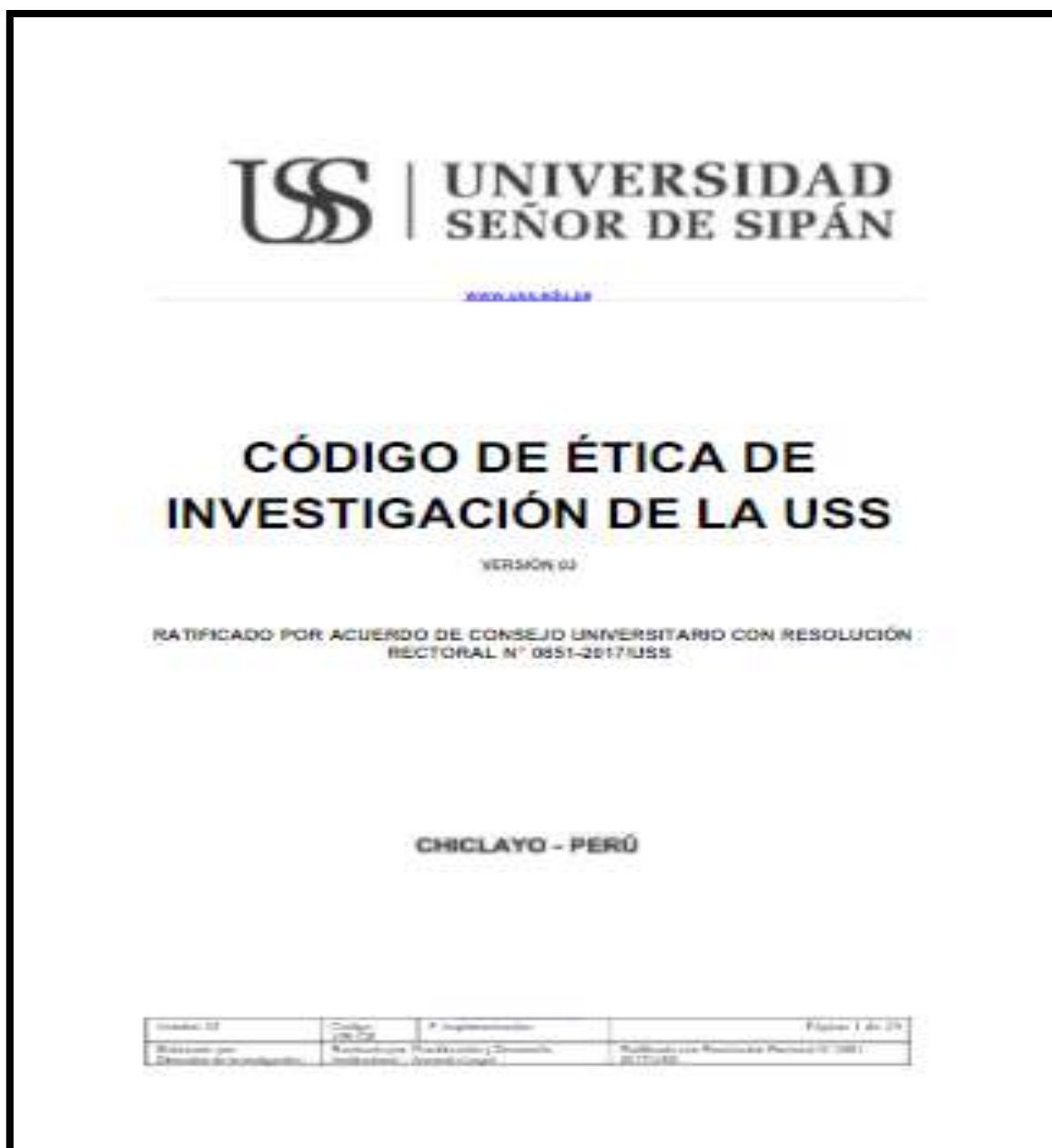
Anexo 03: Código de ética del CIP.



CÓDIGO DE ETICA DEL CIP

APROBADO EN LA III SESIÓN ORDINARIA DEL CONGRESO NACIONAL DE CONSEJOS
DEPARTAMENTALES DEL PERÍODO 1998 - 1999
EN LA CIUDAD DE TACNA 22, 23 Y 24 ABRIL 1999

Anexo 04: Código de ética de investigación de la USS



Anexo 05: Normas ISO 4210-2:2014

AENOR

- 19 -

ISO 4210-2:2014

4.7.6.4 Unión manillar – potencia – Ensayo de seguridad de torsión

Al ensayar según el método descrito en el apartado 4.5 de la Norma ISO 4210-5:2014, no debe haber ningún movimiento del manillar respecto a la potencia del manillar.

4.7.6.5 Unión potencia del manillar – tubo de la horquilla – Ensayo de seguridad de torsión

Al ensayar según el método descrito en el apartado 4.6 de la Norma ISO 4210-5:2014, no debe haber ningún movimiento de la potencia de manillar respecto al tubo de la horquilla.

4.7.6.6 Unión extensión de manillar – manillar – Ensayo de seguridad de torsión

Al ensayar según el método descrito en el apartado 4.7 de la Norma ISO 4210-5:2014, no debe haber ningún movimiento de la extensión de manillar en relación al manillar.

4.7.6.7 Extensiones aerodinámicas del manillar – Ensayo de seguridad de torsión

Cuando un manillar es adecuado para el uso de extensiones aerodinámicas, el conjunto extensión/manillar/potencia del manillar debe resistir el siguiente ensayo de seguridad.

Después del ensayo por el método descrito en el apartado 4.8 de la Norma ISO 4210-5:2014, no debe haber movimiento de la extensión respecto al manillar ni del manillar respecto a la potencia.

4.7.7 Conjunto manillar – potencia – Ensayo de fatiga

4.7.7.1 Generalidades

Las potencias pueden influenciar los fallos en los ensayos de los manillares, por lo que un manillar siempre debe ensayarse montado en una potencia, pero se permite ensayar la potencia con una buena muestra en lugar del manillar y las extensiones de manillar con las dimensiones correspondientes a los manillares/extensiones de manillar adecuadas para esta potencia.

Cuando el ensayo de fatiga sólo se refiere a la potencia, el fabricante de ésta debe precisar los tipos y tamaños de manillares para los que está prevista esta potencia y el ensayo debe estar basado sobre la combinación más desfavorable.

Se efectúa este ensayo en dos etapas sobre el mismo conjunto.

4.7.7.2 Requisito para la etapa 1 y la etapa 2

Al ensayar según el método descrito en los apartados 4.9.1 o 4.9.2 de la Norma ISO 4210-5:2014, no debe haber ninguna fisura ni rotura visible en ninguna parte del conjunto de manillar y potencia ni ningún fallo de tornillo.

Para manillares o potencias de material compuesto, los desplazamientos (valor de la amplitud) en los puntos donde los se aplican las fuerzas de ensayo no se deben incrementar en más de un 20% de los valores iniciales.

4.8 Cuadros

4.8.1 Cuadros con suspensión – Requisitos particulares

El diseño debe hacer que en caso de fallo del muelle o del amortiguador, el neumático no entre en contacto con ninguna parte del cuadro y que el conjunto que soporta a la rueda trasera no se separe del resto del cuadro.

NOTA Véase también el anexo C de la Norma ISO 4210-4:2014.

4.8.2 Cuadro – Ensayo de choque (caída de una masa)

Al ensayar según el método descrito en el apartado 4.1 de la Norma ISO 4210-6:2014, no debe haber fisuras ni roturas visibles en el cuadro.

La deformación permanente medida entre los centros de los ejes de las ruedas (la botalla, véase el apartado 4.1 de la Norma ISO 4210-6:2014 y la figura 1 de la Norma ISO 4210-6:2014) no debe exceder los siguientes valores:

- a) 30 mm cuando la horquilla está montada;
- b) cuando se ha montado una falsa horquilla en lugar de una horquilla se usan los valores dados en la tabla 5.

NOTA: Véase el anexo A de la Norma ISO 4210-6:2014.

Tabla 5 – Valores de la deformación permanente (caída de una masa)

Medidas en milímetros

Tipo de bicicleta	Bicicletas de paseo	Bicicletas para jóvenes adultos	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Deformación permanente	10	10	10	15

4.8.3 Conjunto cuadro y horquilla delantera – Ensayo de choque (caída del cuadro)

Al ensayar según el método descrito en el apartado 4.2 de la Norma ISO 4210-6:2014, no debe haber fisuras ni roturas visibles en el conjunto y tras el segundo impacto no debe haber ninguna separación de ninguna pieza de ningún sistema de suspensión. La deformación permanente medida entre los centros de los ejes de las ruedas no debe exceder los valores especificados en la tabla 6.

Tabla 6 – Valores de la deformación permanente (caída de cuadro)

Medidas en milímetros

Tipo de bicicleta	Bicicletas de paseo	Bicicletas para jóvenes adultos	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Deformación permanente	60	60	60	15

4.8.4 Cuadro – Ensayo de fatiga con fuerzas de pedales

Al ensayar según el método descrito en el apartado 4.3 de la Norma ISO 4210-6:2014, no debe haber fisuras ni roturas visibles de ninguna parte del cuadro, y no debe haber separación de ninguna pieza del sistema de suspensión.

Para cuadros de material compuesto, los desplazamientos (valor de la amplitud) en los puntos donde se aplican las fuerzas de ensayo no deben aumentar en más de un 20% de los valores iniciales (véase el apartado 4.6 de la Norma ISO 4210-3:2014).

4.8.5 Cuadro – Ensayo de fatiga con fuerzas horizontales

Al ensayar según el método descrito en el apartado 4.4 de la Norma ISO 4210-6:2014, no debe haber fisuras ni roturas visibles de ninguna parte del cuadro, y no debe haber separación de ninguna pieza del sistema de suspensión.

Para cuadros de material compuesto, los desplazamientos (valor de la amplitud) en los puntos donde se aplican las fuerzas de ensayo no deben aumentar más de un 20% de los valores iniciales (véase 4.6 de la Norma ISO 4210-3:2014).

4.8.6 Cuadro – Ensayo de fatiga con una fuerza vertical

Al ensayar según el método descrito en el apartado 4.5 de la Norma ISO 4210-6:2014, no debe haber fisuras ni roturas visibles de ninguna parte del cuadro, y no debe haber separación de ninguna pieza del sistema de suspensión.

Para cuadros de material compuesto, los desplazamientos (valor de la amplitud) en los puntos donde se aplican las fuerzas de ensayo no deben aumentar más de un 20% del valor inicial (véase 4.6 de la Norma ISO 4210-3:2014).

4.9 Horquilla delantera

4.9.1 Generalidades

Los apartados 4.9.2, 4.9.4, 4.9.5 y 4.9.6 se aplican a todos los tipos de horquillas.

Para los ensayos de resistencia de los apartados 4.9.4, 4.9.5, 4.9.6, y 4.9.7, las horquillas de suspensión deben controlarse en su estado de longitud libre, no comprimidas.

4.9.2 Medios de posicionamiento del eje y de retención de la rueda

Las rameras u otros dispositivos de posicionamiento del eje de rueda en la horquilla delantera deben ser tales que cuando el eje o los conos están firmemente mantenidos contra la cara superior de las muescas, la rueda delantera se encuentre centrada en relación a la horquilla.

La horquilla delantera y la rueda deben también satisfacer a los requisitos de los apartados 4.10.4 y 4.10.5.

4.9.3 Horquillas de suspensión – Requisitos particulares

4.9.3.1 Ensayo de paso del neumático

Al ensayar según el método descrito en el apartado 5.1 de la Norma ISO 4210-6:2014, el neumático no debe contactar con la cabeza de la horquilla ni separarse los componentes.

4.9.3.2 Ensayo de tracción

Al ensayar según el método descrito en el apartado 5.2 de la Norma ISO 4210-6:2014, no debe haber ninguna separación ni aflojamiento de ninguna parte del conjunto y los componentes telescópicos tubulares de cualquier brazo de horquilla no se deben separar por efecto de la fuerza de ensayo.

4.9.4 Horquilla delantera – Ensayo estático de flexión

Al ensayar según el método descrito en el apartado 5.3 de la Norma ISO 4210-6:2014, no debe haber fisuras ni roturas visibles en ninguna parte de la horquilla, y la deformación permanente, medida como el desplazamiento del centro del eje de la rueda, o eje simulado en relación con el eje de la horquilla de dirección, no debe exceder los 10 mm.

4.9.5 Horquilla delantera – Ensayo de choque hacia atrás

4.9.5.1 Horquillas hechas completamente de metal

Al ensayar según el método descrito en el apartado 5.4.1 de la Norma ISO 4210-6:2014, si hay alguna rotura o fisura visible en cualquier parte de la horquilla, y la deformación permanente, medida como el desplazamiento del centro del eje de la rueda u eje simulado en relación con el eje de la horquilla de dirección, excede de los 45 mm, se debe considerar que la horquilla ha fallado.

Anexo 06: Dimensiones de la bicicleta seleccionada (mm).

