

DESIGN OF A BICYCLE PROPULSION MECHANISM ABLE TO STORE AND DISCHARGE ENERGY ONLY PRODUCED BY THE USER

Villanueva Roldán, P.¹; Corral Bobadilla, M.²; Lostado Lorza, R.²; Illera Cueva, M.²; Bona, J.²

¹ Universidad Pública de Navarra, ² Univesidad de La Rioja

The electric energy still comes mostly from fossil fuel combustions and non-ecological solutions. This article describes an alternative to the electric bicycle. It shows the design process of a suitable bicycle device, consisted of mechanical elements, following a retro or steampunk trend. Amusing the user, producing a stimulus directly related to speed and physical effort, is the main objective of this project. The energy storage and discharge is activated by the user will. On one hand, once the user reaches an appropriate speed of his like, or whenever he desires so, the rider reverses the pedal rotation, going backwards to store the energy. On the other hand, using a lever mechanism, the rider will discharge the energy previously stored. The device is based on the differential used in the drivetrain inside the automotive sector, as well as on the spring gears some toy cars carries within in order to store rotational energy. The new device modifies and combines these elements so that its effect suits the desirable objectives.

Keywords: *Bicycle propulsion mechanism; Mechanical energy storage; Differential; Ecological; Steampunk; Retro*

DISEÑO DE UN MECANISMO DE PROPULSIÓN PARA BICICLETA CAPAZ DE ALMACENAR Y DESCARGAR ENERGÍA MECÁNICA PRODUCIDA POR EL USUARIO.

La energía eléctrica todavía proviene en su mayor parte de combustiones fósiles y soluciones no ecológicas. En este artículo se describe una alternativa a la bicicleta eléctrica. Se muestra el proceso de diseño de un dispositivo aplicable a una bicicleta, formado únicamente por elementos mecánicos siguiendo una moda retro o steampunk. Tiene por objetivo divertir al usuario, produciendo un estímulo directamente relacionado con la velocidad y el esfuerzo físico. Tanto el almacenamiento de energía, como la descarga de la misma, se produce a voluntad del usuario. Por un lado, una vez alcanzada una velocidad adecuada al gusto del usuario o cuando él así lo desee, da marcha atrás con los pedales cargando así el dispositivo. Por otro lado, mediante una palanca descargará la energía que ha acumulado previamente. El diseño del componente está basado en el diferencial utilizado en la dirección dentro del sector de automoción, así como en los engranajes dotados con resortes utilizados en los coches de juguete, los cuales almacenan energía al hacerlos rotar. El nuevo dispositivo combina estos elementos aplicando modificaciones en los mismos para que su efecto se adapte a los objetivos deseados.

Palabras clave: *Propulsor para bicicleta; Almacenamiento mecánico de energía; Resorte; Ecológico; Steampunk; Retro*

Correspondencia: marina.corral@unirioja.es

1. Introducción

Los mecanismos de almacenamiento de energía mediante deformación elástica, han sido muy utilizados desde la antigüedad sobre todo como mecanismos de relojería. Uno de los primeros diseños mecánicos capaces de almacenar energía en forma de deformación elástica, y posteriormente liberarla de forma voluntaria para mover un vehículo, fue el coche diseñado por Leonardo da Vinci en 1495 (Rubio, 2003). Este vehículo de 3 ruedas autopropulsado almacenaba la energía de deformación en unos muelles de ballesta, para después liberarla de forma voluntaria a fin de mover el vehículo. Otros sistemas basados en la deformación elástica en muelles, han sido aplicados más recientemente en bicicletas. Así por ejemplo, en 1898 (Elcer, 1898) se patentó un sistema de resorte de almacenamiento de energía para ser montado en bicicletas y en velocípedos. Este nuevo sistema almacenaba la energía de manera controlada y era liberada de manera voluntaria por el conductor. Más recientemente, otro sistema de almacenamiento de energía basado en muelles de reloj fue montado en una bicicleta en 1921 (Davorsk, 1921). Más sofisticado, pero basado en el mismo sistema anterior, fue el sistema patentado y montado en una bicicleta en 1959 (Daarud, 1959). Actualmente, un sistema muy similar a los anteriores fue patentado en 2012 y aplicado en bicicletas (Fu-she Jan, 2012). El sistema mecánico de almacenamiento de energía propuesto en este artículo está basado en un muelle resorte plano de fleje de uso comercial. Además, los autores de este artículo han mejorado los sistemas propuestos anteriormente, y en base a los estudios previos de sistemas de frenado de retro pedal, proponen un sistema de recarga de energía para este freno usando los pedales en dirección opuesta al movimiento de desplazamiento.

El sistema de propulsión mostrado en este artículo, está basado en el almacenamiento de la energía de deformación en muelles plano de potencia en espiral, o resorte plano de fleje en espiral, para posteriormente, y de forma voluntaria, liberar esta energía y poder mover un vehículo.

El diseño de este nuevo sistema de propulsión, se ha efectuado mediante un proceso de diseño denominado diseño morfológico. La función principal que posee este nuevo mecanismo, es la de proporcionar un impulso en un periodo corto de tiempo generado a partir de energía mecánica almacenada. El almacenamiento de esta energía mecánica se efectúa mediante la acción humana del ciclista, y ésta puede ser realizada de dos formas diferentes: La primera consiste en pedalear marcha atrás, y la segunda mediante el accionamiento manual de una manivela. Las dos formas de accionamiento deben de cargar de energía elástica un mecanismo de cuerda (similar al mecanismo de cuerda de un reloj antiguo) a voluntad del ciclista, así como liberar esta energía cuando el ciclista lo vea necesario

2. Metodologías de diseño

Habitualmente, en el proceso de diseño de un nuevo producto son utilizadas metodologías previamente ya establecidas. En este caso, la metodología de diseño utilizada fue el conocido como diseño Total de Pugh (Pugh, 1991). Esta metodología de diseño se enmarca dentro de lo que se denominan teorías integradoras y suele ser aplicada en los 5 puntos siguientes:

1. **Detección de la Necesidad.** Ya sea latente o creada, se define la necesidad para la cual hay que determinar una solución para un futuro cliente.
2. **Estudio de Mercado.** Es preciso adquirir conocimientos sobre el sector que tiene la necesidad de nuestro producto realizando estudios cualitativos y cuantitativos. Se concreta la motivación del comprador, se estudian productos de la competencia, se

realiza una segmentación del mercado, se plantea su distribución, etc. Debemos tener en cuenta todo tipo de factores que nos puedan condicionar fases posteriores del proyecto. A este conjunto de información referente al mercado se denomina Pliego Condiciones Marketing.

3. **Especificaciones Técnicas del Diseño, Pliego Funcional.** Se expresa la necesidad de forma funcional. Se establece, en cláusulas técnicas, todas las indicaciones necesarias para la etapa de desarrollo, de industrialización, de producción y de garantía de calidad. Los resultados se recogen en el Pliego de Condiciones Funcional.
4. **Diseño Conceptual.** Se buscan soluciones concretas, en base a las especificaciones de las fases anteriores, haciendo uso de la creatividad. Se plasman las ideas en forma de bocetos y se hace uso de métodos para la selección de alternativas. De este modo, se elige el diseño que mejor se adapta a las especificaciones descritas. La elección del mejor diseño conceptual propuesto (bocetos) se realiza con técnicas ya establecidas como pueden ser. Una de estas técnicas de selección puede ser el **AHP**. Además de esta técnica de selección, otra técnica de llamada **QFD** que suele ser utilizada para valorar la calidad del producto que va a ser diseñado
5. **Diseño de Detalle.** Una vez elegida la solución para la necesidad, es preciso determinar los componentes e interacciones. Se definen formas con mayor rigor teniendo en cuenta las geometrías, interacciones, etc. Estos factores condicionan las dimensiones del producto y se han de tener en cuenta a la hora de realizar planos de conjunto con dimensiones generales.

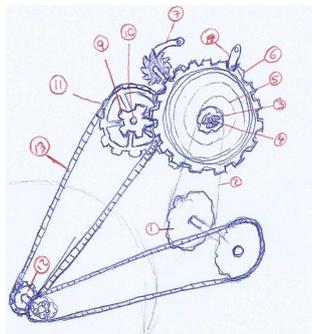
En este artículo, se han obviado los apartados correspondientes a la detección de la necesidad, estudio de mercado y especificaciones técnicas de diseño, y se ha centrado básicamente en el **Diseño Conceptual** y en el diseño de **Detalle del Producto**. Además, es preciso conocer todo tipo de sistemas mecánicos existentes para su posible estudio y comparativa. De este modo, se hace un barrido a todos los existentes, observando y comprendiendo diferentes tipos de mecanismos similares al que se quiere diseñar mediante documentación audiovisual y escrita, y abarcando todos los campos de estudio que sea posible. Una vez que los bocetos han sido generados a partir de los sistemas mecánicos estudiados, son valorados y los mejores son seleccionados utilizando técnicas **AHP**. Así mismo, para saber el alcance y la calidad del producto (boceto) seleccionado y que va a ser diseñado en detalle, son utilizadas técnicas de valoración de calidad. En este caso la técnica de valoración de la calidad ha sido el método **QFD**.

3. Diseño conceptual según Pugh

Normalmente se puede innovar siempre mediante ideas antiguas, combinándolas y modificándolas para que sus nuevas funciones sean diferentes, y por este motivo, esta etapa es de vital importancia. En este caso, los primeros bocetos hacen referencia a un primer diseño caracterizado por almacenar energía mediante un resorte plano de potencia alojado en el espacio interior del cuadro de la bicicleta.

3.1 Boceto 1

Figura 1: Primer boceto propuesto

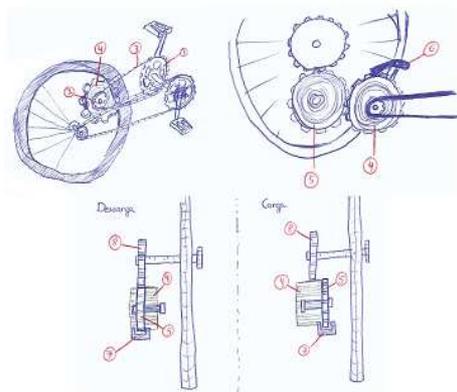


En este primer boceto propuesto, se modifica la patente de Daniel Zaborisky (Davorsk, 1921) introduciendo el piñón libre (3), un trinquete (7) y se suprime una rueda dentada dado que con esta nueva configuración no es necesaria dicha rueda (Figura 1). Mediante el piñón libre (3) el mecanismo se carga únicamente dando pedales marcha atrás. Por esto, mientras se lleva una marcha de avance con los pedales, el mecanismo no se mueve dado que dicho piñón no transmite movimiento. El diseño del piñón libre es inverso al de la rueda trasera, el cual traslada los esfuerzos en sentido de avance con los pedales, pero no lo hace en sentido contrario.

3.2 Boceto 2

El segundo diseño está basado en el mecanismo de la caja de cambios del automóvil. Posee un carrete que conecta y desconecta la descarga con la rueda trasera de la bicicleta. El desarrollo se muestra en la Figura 2.

Figura 2: Segundo boceto propuesto



Las ruedas dentadas (4) y (5) almacenan la energía producida al pedalear marcha atrás con los pedales. Para ello se introducen en ambas resortes de potencia planos. Como en el diseño anterior se introduce un piñón libre (2) que hace rotar el eje que lo atraviesa únicamente en sentido contrario al avance de la bicicleta. El trinquete (6) impide que las

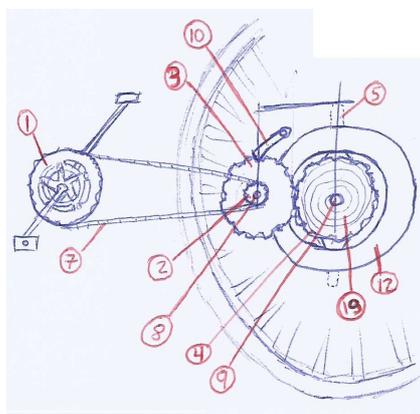
ruedas se descarguen si la carga no se realiza de forma continua y libera la descarga cuando el usuario decide levantarlo. La rueda (4) será más ancha que la (5) para que al mover la rueda (5) mediante el carrete (7), ambas no pierdan su engrane. La rueda dentada (8) transmite la descarga del muelle a la rueda trasera de la bicicleta, cuando el carrete, mediante una sirga, posiciona a la rueda (5) en la posición de descarga, engranando así con la rueda (8).

3.3 Boceto 3

En tercer lugar, en la figura 3 se muestran bocetos desarrollados para un diseño basado inicialmente sobre el mecanismo del diferencial utilizado en el sector de la automoción. No obstante como se aprecia en los dibujos y más adelante en este artículo, ha sido necesario modificar todas sus formas e incluir nuevas piezas para que sus funciones sean distintas. Se define como sentido positivo a aquel producido por los pedales sobre el plato del pedalier cuando se realiza un movimiento de avance de la bicicleta, y sentido negativo al movimiento contrario del plato. Así mismo el almacenamiento energético se realizará únicamente con la fuerza de las piernas al hacer girar el plato del pedalier en sentido contrario. Siendo la referencia la visión del usuario montado en el sillín, el lado derecho de la bicicleta referente a cambios de piñones y platos se deja intacto. Siendo el lado izquierdo de la rueda trasera el lugar donde se coloca el componente.

Como en los 2 casos anteriores, se dispone de un plato (1) conectado a un piñón (2) por medio de una cadena (7) como puede verse en la figura 3. Dicho piñón (2) es libre en sentido positivo y engrana con su eje (8) en sentido negativo, es decir, el de carga.

Figura 3: Tercer boceto propuesto



Solidaria al eje (8), se encuentra una rueda dentada (3). Ésta engrana con la rueda (4), la cual, posee el resorte plano de potencia en su interior (19). Dicha rueda (4) puede girar libremente sobre un eje (9), y para ello, se colocan rodamientos en ambos puntos de apoyo de la rueda. El eje permanece siempre fijo. En él, se fija un extremo del resorte y el otro extremo se fija en la parte interior de la rueda (4). Para cargar el sistema, la rueda (4) girará en sentido positivo. Como el eje (9) es fijo, se descargará en sentido opuesto al que se cargó, luego girará en sentido negativo. Al igual que en los diseños anteriores, es necesario un trinquete (10) que bloquee la rueda (3) para que el sistema no se descargue si la carga es discontinua. Este mismo trinquete es el que permite que se inicie la descarga si es levantado.

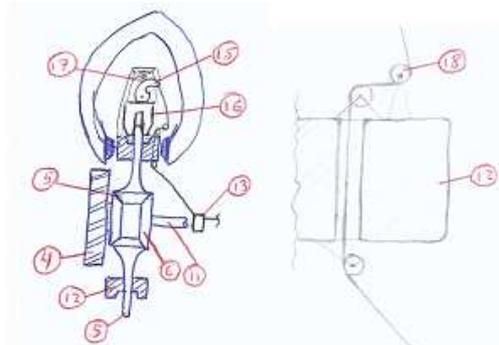
Se explica a continuación la modificación aplicada sobre el mecanismo del diferencial y como se ha incluido en este diseño. Puede apreciarse en la figura 4 que la rueda (4) posee una rueda de forma cónica extruida en uno de sus caras. Esta rueda será en este caso, la rueda dentada motriz, lo cual difiere de la motriz en los automóviles. La rueda (4) engrana con un par de ruedas (5) que a su vez engranan con la rueda (6). Las 4 ruedas poseen perfil cónico recto. La rueda (6) gira solidaria a al eje (11).

Las ruedas (5) pueden girar libremente alrededor del eje (11). De este modo, mientras se lleva una marcha normal con la bicicleta y la rueda (4) permanece bloqueada sin cargarse, las ruedas (5) al estar en contacto con la (6), son forzadas moverse circularmente en un plano perpendicular al eje (11). Si se carga el sistema, dando pedales marcha atrás durante la marcha, su resultado, además del almacenamiento energético en el resorte, es que las ruedas (5) se moverán más despacio. Por consiguiente, se ha conseguido separar el movimiento de carga energética del de avance normal de la bicicleta.

Para que la descarga sea efectiva y la energía acumulada se transmita a la rueda (6) se introduce otro elemento innovador. Se coloca un disco (12) al cual lo atraviesan los ejes de las ruedas (5). Estas ruedas pueden girar libremente sobre sí mismas en el interior del disco y para ello se colocan rodamientos entre los ejes y el disco. Por último, se incluye un freno de zapata para que bloquee el movimiento circular de las ruedas (5) en el plano perpendicular al eje (11). Es decir, mediante unas zapatas se frena el disco (12), el cual sigue el mismo movimiento circular descrito, de modo que las ruedas (5) solo puedan girar sobre sí mismas. Con esta configuración, el movimiento de descarga de la rueda motriz (4) se transmitirá directamente a la rueda trasera mediante las ruedas (5). Será necesario que el freno del disco y la liberación del trinquete se produzcan en el mismo instante para que no existan problemas y la descarga sea efectiva.

En la Figura 4 también puede verse otro sistema de freno que se incluye, mediante el cual es posible cargar el sistema frenando la bicicleta y sin acción de las piernas del usuario. Cuando el usuario aprieta otra palanca de freno para las ruedas dentadas (5), se desplaza un sistema de rodamiento doble (13) gracias a las sirgas que lo unen con la palanca. Este desplazamiento tira de una sirga conectada al rodamiento doble (13) y a la leva (15). El giro de la leva ejerce presión sobre la zapata (16) frenando así el giro sobre de las rueda (5) respecto al eje que las une. El sistema es simétrico respecto al eje (11), y por tanto consta de dos levas, dos zapatas, dos sirgas, etc.

Figura 4: Detalle del sistema de carga de energía mediante el frenado



Al impedir este giro, la rueda dentada (6) y la rueda dentada (4), la de la rueda de la bicicleta y la de carga energética respectivamente, son forzadas a girar solidariamente. Como el movimiento de avance es positivo, y el movimiento de carga también lo es, el resultado es que cuando se pulsa la palanca derecha, la bicicleta se frena y la rueda dentada (4) se carga. Además, se coloca un sistema de apoyo fijo al disco (12) con un muelle de tracción (17), el cual une dicho apoyo a la zapata (16). De este modo, al soltar la palanca que produce el giro de la leva (15), la leva es forzada a volver a su posición inicial. Esto implica que también volverá el rodamiento doble (13) a su posición inicial.

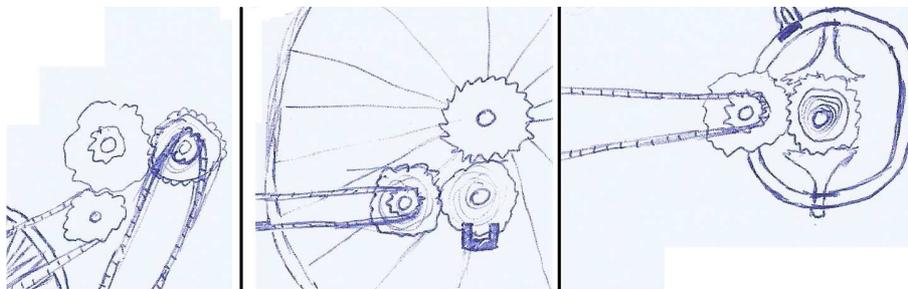
En la Figura 4 se observa como la sirga a través de un agujero pasante, conecta la leva (15) con el rodamiento doble (13). Es una sección del disco (12), en la que puede verse la acción de las poleas (18), sin las cuales el movimiento de la sirga que une la leva y el rodamiento no sería posible. Se ha diseñado de este modo porque la horquilla de freno del disco (12) imposibilita cualquier otra disposición. Esta es fija y el disco no lo es, así que el giro del disco, y por tanto la leva, produciría el choque de la sirga contra la horquilla, bloqueando así el movimiento.

4. RESULTADOS

4.1. Aplicación del AHP

Sobre las 3 alternativas de diseño anteriores (bocetos) se aplican diferentes métodos de selección, como el AHP (Decisión Multicriterio Discreta), mediante el cual se cuantifica el valor del diseño más fuerte respecto a los demás en función de los requerimientos fijados sobre todo por el cliente. Para simplificar la selección de estos 3 bocetos anteriores, se dibujan las 3 alternativas de forma general, tal y como se muestra en la Figura 5.

Figura 5: Tres alternativas de diseño sobre las que se va a aplicar AHP



De todas las funciones especificadas en el Pliego de Condiciones Funcional, se seleccionan las más importantes para el desarrollo del método AHP. En la tabla 1 se expone la matriz de requerimientos, en la que se valora uno a uno la importancia de cada requerimiento con respecto al resto. De estos valores se obtendrán los pesos ponderados de cada requerimiento o función. Los requerimientos o funciones estudiados en este caso han sido: R1 peso; R2 volumen; R3 durabilidad; R4 confort y agrado; R5 tener buena apariencia siguiendo una moda basada en steampunk; R6 sonido agradable; R7 Paro de emergencia sencillo; R8 precio no excesivo; R9 Resistir caídas; R10 innovación; R11 minimizar pérdidas mecánicas. Estos requerimientos deben de ser seleccionados por el diseñador y están basados principalmente en la experiencia.

Tabla 1: Ponderación de pesos para los diferentes requerimientos estudiados

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11
R1	1,00	3,00	3,00	0,33	0,20	0,20	0,11	5,00	0,14	3,00	3,00
R2	0,33	1,00	3,00	0,33	0,33	0,20	0,11	0,20	0,14	0,20	0,20
R3	0,33	0,33	1,00	0,20	0,20	0,33	0,14	3,00	0,33	0,33	0,20
R4	3,00	3,00	5,00	1,00	0,33	1,00	0,20	5,00	0,20	0,33	0,33
R5	5,00	3,00	5,00	3,00	1,00	0,33	0,20	7,00	0,20	1,00	3,00
R6	5,00	5,00	3,00	1,00	3,00	1,00	0,20	7,00	0,33	5,00	3,00
R7	9,00	9,00	7,00	5,00	5,00	5,00	1,00	5,00	3,00	7,00	7,00
R8	0,20	5,00	0,33	0,20	0,14	0,14	0,20	1,00	0,14	0,20	0,33
R9	7,00	7,00	3,00	5,00	5,00	3,00	0,33	7,00	1,00	5,00	5,00
R10	0,33	5,00	3,00	3,00	1,00	0,20	0,14	5,00	0,20	1,00	3,00
R11	0,33	5,00	5,00	3,00	0,33	0,33	0,14	3,00	0,20	0,33	1,00

El peso ponderado de cada requerimiento se obtiene haciendo el sumatorio de cada fila y dividiendo el resultado por el número de requerimientos. En este caso, 11. A continuación se realizan las matrices del siguiente nivel. Cada matriz corresponde a un requerimiento funcional de los once establecidos y con ella se obtiene la importancia de cada alternativa en función de dicho criterio. Se muestra en la Tabla 2, la matriz para el requerimiento de minimizar pérdidas mecánicas.

Tabla 2: Nivel 3, requerimiento “minimizar pérdidas mecánicas”.

	Boceto 1	Boceto 2	Boceto 3	Peso
Boceto 1	1,00	0,20	0,33	0,11
Boceto 2	5,00	1,00	3,00	0,63
Boceto 3	3,00	0,33	1,00	0,26

Para obtener los pesos ponderados de cada alternativa de diseño en función de cada criterio en este nivel, se divide cada elemento de la matriz entre el sumatorio de elementos de la columna a la que pertenece formando una nueva matriz. Se realiza el sumatorio de las filas de la nueva matriz y se divide cada sumatorio entre el número de alternativas.

Finalmente, se relacionan los pesos ponderados del nivel dos con los del nivel tres. Se multiplica el peso ponderado de cada criterio obtenido en el nivel 2, con el peso ponderado del mismo criterio obtenido en el nivel 3. Acto seguido se suman los 11 valores. Se procede por igual tres veces, una correspondiente a cada modelo, dando lugar a 3 valores diferentes que corresponden a la importancia global de cada uno.

El boceto 3 posee un valor de 0,56702 frente a los valores de 0,21245, correspondiente al modelo 2, y 0,22053, correspondiente al boceto 1. Por tanto, el boceto 3 es el diseño más fuerte. A partir de este momento el proyecto se desarrollará en función del boceto 3.

4.2. Aplicación del QFD

El QFD (Quality Function Deployment) es una herramienta de calidad utilizada para conocer la calidad que puede tener un producto que va a ser diseñado. Esta herramienta se utiliza normalmente al comienzo del diseño de detalle una vez que el diseño conceptual ha sido finalizado. El QFD permite asegurar la satisfacción de las necesidades establecidas por el cliente, de modo que sus requerimientos se conviertan en objetivos de diseño. En este caso, la valoración de la calidad (despliegue de calidad) se ha efectuado partiendo del desarrollo de la matriz de relaciones entre la necesidad del cliente y los parámetros de diseño a determinar. La necesidad del cliente se ha extraído del pliego de condiciones funcional y los pesos ponderados de cada función se han calculado mediante una matriz similar a la del nivel 2 del método AHP. Además, se han incluido funciones no relevantes para la selección de alternativas y así poder comparar entre los 3 diseños anteriores. Se definen de este modo los parámetros principales de diseño sobre los que más tarde se desarrollan todos los componentes del diseño mediante otra matriz de relaciones. De la aplicación de QFD, en este artículo solamente se muestra un extracto de la matriz de relaciones de la necesidad frente a los parámetros en la Tabla 3.

Necesidad del Cliente	Peso Ponderado	Parámetros de Diseño 9,2% Vida Útil	17,0% Gama Piezas	11,3% Trabajo de carga	20,9% Duración	20,9% Velocidad Punta	20,6% Potencia Descarga
Peso	4,0%	-	9	3	3	3	3
Volumen	1,6%	-	1	-	-	-	-
Durabilidad	2,1%	9	3	-	-	-	-
Confort y agrado	4,1%	-	9	-	3	3	3
Tener buena apariencia	6,5%	-	1	-	-	-	-
sonido	7,5%	-	9	-	-	-	-
paro de emergencia	17,4%	-	3	-	-	-	-
precio	1,8%	-	9	1	1	1	1
Resistir caídas	12,4%	9	-	-	-	-	-
Innovación	5,2%	-	-	-	1	1	-
Minimizar pérdidas mecánicas	5,5%	-	3	-	9	9	9
divertir, emocionar	23,7%	-	-	3	9	9	9
ejercitar	8,2%	-	-	9	-	-	-

5. Diseño de Detalle

Una vez aplicado el QFD, seleccionado el mejor boceto y estudiada la calidad que puede tener el mejor boceto o modelo, se desarrollan las piezas que componen el mecanismo elegido utilizando el software de modelado de piezas en 3D CATIA.

Figura 6: diseño de detalle del boceto o diseño conceptual seleccionado

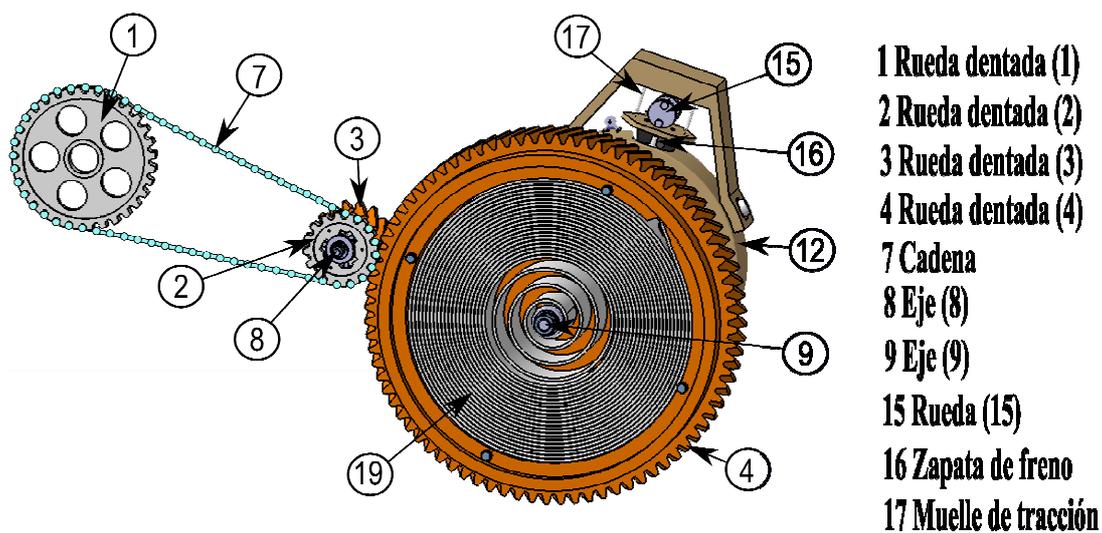
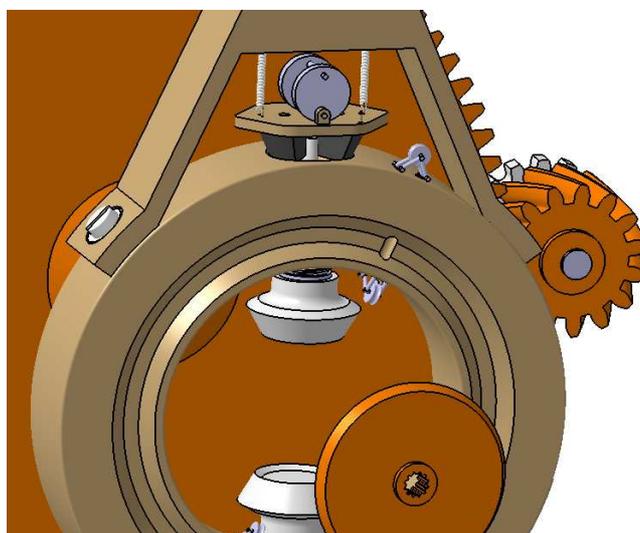


Figura 7: Detalle del sistema de activación de recuperación de energía en la frenada



6. CONCLUSIONES

En este artículo se muestra el diseño y desarrollo de un nuevo sistema mecánico de recuperación de energía para ser montado en bicicletas. El nuevo sistema está basado en la energía de deformación elástica de un muelle plano de potencia en espiral. El diseño de este nuevo mecanismo se ha basado en la metodología de diseño total de Pugh, así como en la aplicación de técnicas de selección de métodos de selección multicriterio (AHP) así como el método de valoración de calidad (QFD).

El diseño de este producto se ha centrado exclusivamente en el diseño conceptual y en el de detalle, obviando las etapas de Detección de necesidad, Estudio de mercado y Especificaciones Técnicas de Diseño junto con el pliego funcional. Finalmente, de los 3 modelos o bocetos propuestos, ha sido realizado a nivel de detalle y en 3D el que mejores condiciones en cuanto a diseño y calidad cumplía.

Como trabajos futuros se prevé diseñar un sistema de freno de zapatas necesarias para bloquear el giro del disco y poder frenar. Así mismo, están previstas posibles mejoras que incluyen reducir el peso utilizando materiales más ligeros, teniendo en cuenta las solicitaciones a las que van a ser expuestos.

7. Referencias

- Rubio, P. (2003). *Los otros inventos de Leonardo Da Vinci. Cimbra*. Revista del Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas, (354), 56-59. Madrid.
- Elcer C. Noe: *Bicycling Driving Mechanism*. Patente US623173 (1898).
- Davorski, D., *Spring motor for bicycles*. Patente US2908356A (1921).
- Daarud, E.D., *Spring drive for bicycles*. Patente US2908356A (1959).
- Fu-she Jan, C., *Bicycle driving assistant device*. Patente US8100424B2 (2012).
- Pugh, S. (1991). *Total design: integrated methods for successful product engineering*. Addison-Wesley Publishing Company.