

# Bicicleta con pedales de movimiento rectilíneo

I. Zabalza, J. Ros, J.J. Gil, J.M. Pintor, y J.M. Jiménez

*Departamento de Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales  
Universidad Pública de Navarra, Campus Arrosadía, 31006 Pamplona  
Tfno: 34948169294, Fax: 34948169099, Email: izavi@unavarra.es*

## Resumen

En este artículo se describen las características constructivas de una bicicleta con pedales de movimiento rectilíneo. Se compara su funcionamiento con el de las bicicletas con pedales de movimiento giratorio. Se extraen conclusiones sobre su funcionamiento.

**Palabras clave:** Bicicleta, pedales, movimiento rectilíneo.

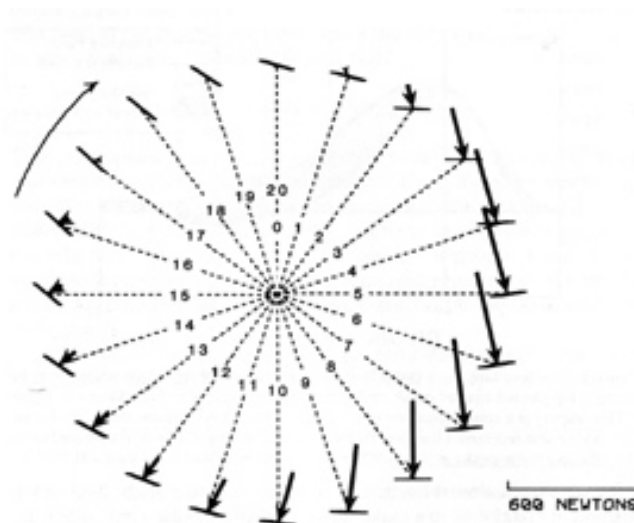
## Abstract

In this paper the constructive characteristics of a bicycle with pedals of rectilinear movement are described. Its operation with another bicycle with pedals of revolving movement is compared. Finally, conclusions on its operation are made.

**Keywords:** Bicycle, pedals, rectilinear movement.

## 1. Introducción

En un ensayo estático o durante la marcha por un circuito en bicicletas convencionales, con pedales de movimiento giratorio, la fuerza que el ciclista realiza con el pie sobre el pedal durante una vuelta completa del mismo varía en módulo y dirección tal como se aprecia en la Figura 1.



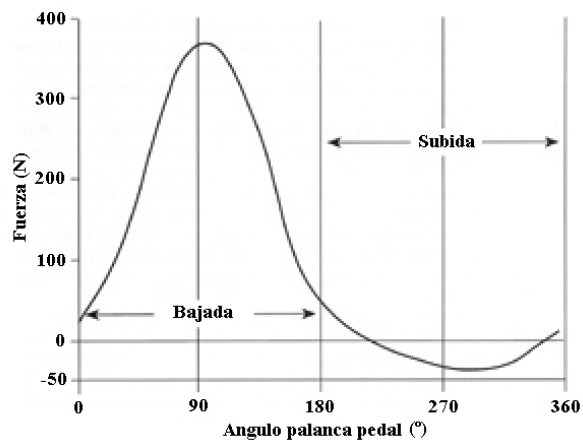
**Figura 1.** Diagrama típico de fuerzas durante una revolución del pedal

En los estudios y mediciones realizados por Davis y Hull [1], Hull y Jorge [2], Redfield y Hull [3], Schans [4] y Henke [5], se pone de manifiesto la variación de las fuerzas realizadas sobre los pedales durante un giro de 360° por varios ciclistas.

Tomando la media de varios ciclistas, resulta un diagrama de fuerzas aplicadas sobre el pedal, en función del ángulo de la palanca del pedal, tal como el representado en la Figura 1. En esta figura, se observa que la dirección de la fuerza aplicada sobre el pedal, en la mayoría de las posiciones, no es perpendicular a la palanca del mismo; por ello, la fuerza aplicada no es totalmente efectiva a lo largo del ciclo.

Representando la fuerza efectiva, componente perpendicular a la palanca, en función del ángulo de la palanca del pedal se obtiene la función representada en la Figura 2. De forma análoga, el par aplicado por un pedal sobre el eje pedalier será una función similar ya que su valor es la fuerza efectiva por la longitud constante de la palanca.

Por lo tanto, la energía desarrollada por el ciclista durante una revolución del pedal será el área comprendida bajo la curva de la Figura 2 multiplicada por la longitud de la palanca. Se observa así que el aporte de energía del ciclista se realiza prácticamente durante la carrera de descenso del pedal y además de forma poco constante.



*Figura 2. Fuerza efectiva sobre el pedal*

Con el objetivo de conseguir que el par aplicado sobre el eje pedalier fuese constante y de ese modo el área bajo curva, y por tanto la energía desarrollada por el ciclista, fuese mayor, se desarrolló un prototipo de bicicleta con un nuevo sistema de pedales que se analiza en este trabajo.

## 2. Bicicleta con nuevo sistema de pedales

En la nueva bicicleta (Figura 3), cada pedal está fijado en la parte inferior de una barra de aproximadamente 340 milímetros de longitud, el doble de la longitud de la palanca del pedal de las bicicletas convencionales. Cada una de estas barras está montada sobre dos patines que deslizan sobre una guía rectilínea que determina el movimiento del pedal. Cada barra de pedal dispone, a su vez, de dos cremalleras: una engrana con su correspondiente piñón del eje pedalier y la otra con un piñón intermedio entre las dos barras, haciendo que cuando un pedal desciende el otro ascienda y viceversa.



*Figura 3. Prototipo de la nueva bicicleta*

Sobre el eje pedalier van montados dos piñones y un plato. Los piñones engranan con las cremalleras de las barras de los pedales. Estos piñones disponen de un mecanismo de indexado de forma que transmiten par al eje pedalier cuando el pedal desciende y deslizan cuando el pedal asciende. El plato está montado fijo sobre el eje pedalier y, por medio de la cadena, se encarga de transmitir el movimiento a la rueda trasera.

## 3. Relación de transmisión

Por regla general, cada ciclista tiene una cadencia de pedaleo que le resulta más cómoda y efectiva. Del mismo modo, también la fuerza máxima que realiza sobre el pedal suele ser bastante constante a lo largo de un determinado circuito, siendo necesario cambiar la relación de transmisión cuando la fuerza a realizar varía.

Las bicicletas convencionales suelen llevar montados un plato grande en el eje pedalier de 51 dientes, un piñón pequeño sobre la rueda trasera de 11 dientes y unas palancas de pedales de 170 milímetros. Con estos datos, para cada recorrido del pedal desde el punto muerto superior al inferior, la rueda trasera gira 2.318 vueltas con la relación de transmisión máxima de 51/11.

Con el objeto de mantener la misma relación de transmisión máxima, la nueva bicicleta se ha diseñado de forma que el recorrido de los pedales sea de 340 milímetros; igual a la distancia entre los puntos muertos superior e inferior de los pedales de la bicicleta convencional. Las cremalleras que engranan con los piñones del eje pedalier están formadas por trozos de cadena de 0.5 pulgadas de paso, teniendo por tanto 27 dientes efectivos. A su vez, los piñones montados sobre el eje pedalier tienen 18 dientes. Con estos datos, para conseguir que la rueda trasera gire 2.318 vueltas durante la carrera de descenso de un pedal, el plato debe tener 17 dientes.

#### 4. Comparación de pares en la rueda trasera

En el nuevo prototipo de bicicleta, para una determinada fuerza realizada por el ciclista sobre el pedal, en una primera estimación subjetiva se puede llegar a suponer que al ser el par ejercido sobre el eje pedalier casi constante durante el recorrido de descenso se va obtener un resultado como el mostrado en la Figura 4 y, por lo tanto, la energía desarrollada por el ciclista será mayor.

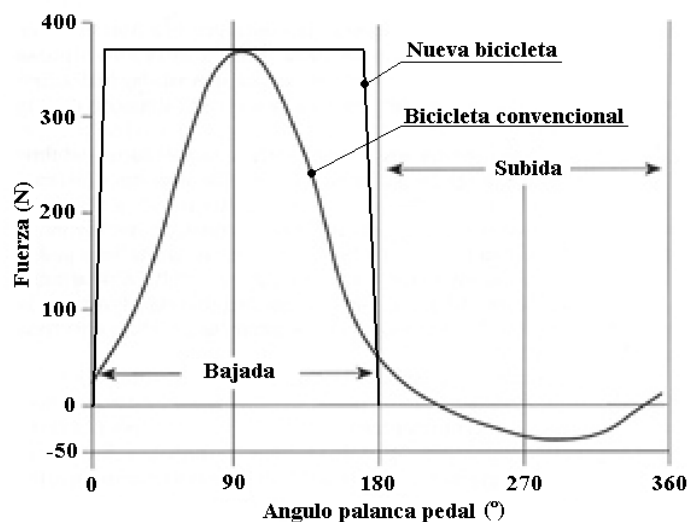


Figura 4. Fuerza efectiva sobre el pedal

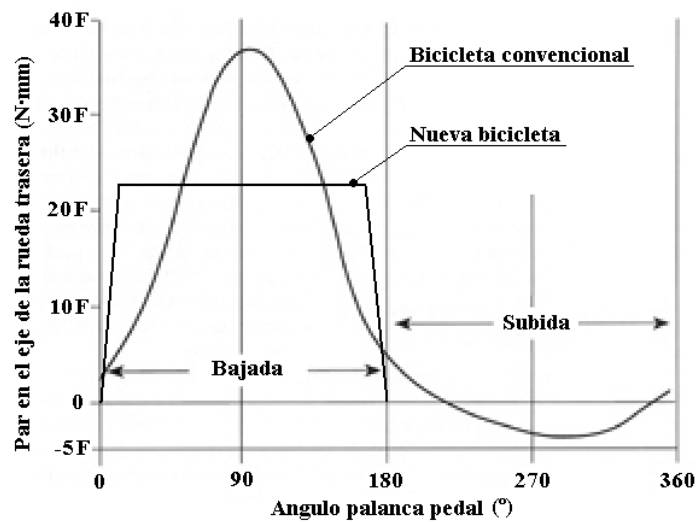
Sin embargo, debido a la relación de transmisión, para una fuerza máxima “F” realizada por el ciclista, resulta que el par obtenido en el eje de la rueda trasera (Nw·mm) para la bicicleta convencional será:

$$M_c = \frac{170 \cdot F \cdot 11}{51} = 36.67 \cdot F \quad (1)$$

Mientras que para la nueva bicicleta, teniendo en cuenta que el piñón de 18 dientes del eje pedalier sobre el que actúa la barra del pedal tiene un radio de 36.38 mm, el par será:

$$M_n = \frac{36.38 \cdot F \cdot 11}{17} = 23.54 \cdot F \quad (2)$$

De las ecuaciones (1) y (2), se desprende que las curvas de par sobre el eje de la rueda trasera serán como los representados en la Figura 5. En esta figura, se observa que el área bajo la curva, y por tanto la energía desarrollada por el ciclista, no aumenta necesariamente con la nueva bicicleta.



*Figura 5. Par en el eje de la rueda trasera*

Otra forma de llegar a la misma conclusión es aplicar el principio de los trabajos virtuales. En la bicicleta convencional se realiza una fuerza sobre el pedal que, aunque no sea totalmente efectiva, recorre una semicircunferencia desde el punto muerto superior hasta el inferior. En cambio, en la nueva bicicleta, aunque la fuerza aplicada sobre el pedal sea totalmente efectiva, recorre el diámetro de la circunferencia entre el punto muerto superior y el inferior, teniendo un factor de penalización de “ $\pi/2$ ”.

## 5. Conclusiones

En las bicicletas convencionales, la fuerza ejercida por el ciclista sobre el pedal no es totalmente efectiva ya que por regla general no es perpendicular a la palanca del pedal. Para evitar este inconveniente se ha diseñado un sistema de pedales con movimiento rectilíneo en los que la dirección de la fuerza ejercida por el ciclista sobre el pedal coincide con la dirección del movimiento del pedal.

Debido a la relación de transmisión requerida para, con la misma cadencia de pedaleo, obtener la misma velocidad sobre la pista, resulta que, aunque el par sobre el eje de la rueda trasera es casi constante, la energía desarrollada por el ciclista es aproximadamente la misma que en las bicicletas convencionales.

También se puede llegar a la misma conclusión si se tiene en cuenta que en las bicicletas convencionales la fuerza efectiva ejercida sobre el pedal se desplaza a lo largo de una semicircunferencia; en cambio, en la nueva bicicleta, el desplazamiento de la fuerza se realiza solamente a lo largo del diámetro de la citada semicircunferencia.

Otro inconveniente del nuevo sistema de pedaleo es la detención y cambio de sentido del movimiento de los pies en los puntos muertos superior e inferior. Además, cuando el ciclista se incorpora del sillín se debe variar la inclinación de las guías para que la fuerza sobre los pedales siga siendo totalmente efectiva. En cambio en la bicicleta convencional los puntos muertos superior e inferior se varían automáticamente.

No obstante, el nuevo sistema de pedales tiene como ventaja que su carrera es variable; ya que en cualquier posición del pedal se puede invertir su movimiento. También se puede pedalear con un pedal en la parte inferior de su carrera y con el otro en la parte superior lo que podría resultar útil para un ciclista con diferente longitud de piernas.

## 6. Referencias

1. R.R. Davis, M.L. Hull, *J. Biomechanics*, Vol. 14, N° 12, 1981, 857.
2. M.L. Hull, M. Jorge, *J. Biomechanics*, Vol. 18, N° 9, 1985, 631.
3. R. Redfield, M.L. Hull, *J. Biomechanics*, Vol. 19, N° 7, 1986, 523.
4. B. Schans, [[www.science.uva.nl/research/amstel/bicycle/partic/Bart/Project/index.html](http://www.science.uva.nl/research/amstel/bicycle/partic/Bart/Project/index.html)].
5. T Henke, [[www.ruhr-uni-bochum.de/spomed/englisch/bike/feedback/feba1.html](http://www.ruhr-uni-bochum.de/spomed/englisch/bike/feedback/feba1.html)].