

Capítulo II

ANTECEDENTES Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Historia

En 1817 el Barón Karl von Drais, quien estudio matemáticas y mecánica en Heidelberg, diseñó una máquina de dos ruedas, hecha totalmente de madera y la cual era impulsada con los pies del conductor. Su único propósito era poder moverse más rápido por el bosque, ya que había aceptado ser el “maestro del bosque” del Gran Duque de Baden, y pensó que esto lo ayudaría a él y a sus hombres, sin embargo no era un medio de transporte práctico, excepto en las pendientes hacia abajo, donde fue capaz de ir bastante rápido, superando a corredores.



Figura 2.1 Una *Draisdiana*

Después en 1865, se inventó el primer aparato con pedales, los cuales estaban directamente conectados a la llanta delantera del vehículo. Existieron varias versiones de este concepto incluyendo algunos en los que la llanta delantera era muy alta y el conductor iba literalmente sobre ella. Este concepto, inventado en 1870, fue el primero en ser llamado

bicicleta (dos llantas o ruedas) y además fue el primero en ser fabricado de puro metal, incluyendo las ruedas. Este diseño era peligroso debido a que en caso de que la llanta delantera quedara atorada con una piedra o en una frenada brusca el conductor salía despedido hacia delante cayendo sobre su cabeza.

Así evolucionó la bicicleta hasta que la ciencia de la metalurgia permitió la fabricación de partes pequeñas y resistentes para la fabricación de cadenas, volviendo las bicicletas más seguras. Entonces en 1898, Yale inventó la primera bicicleta con una transmisión por medio de flecha y engranes. Sin embargo el diseño no perduró aunque han existido varios intentos de desarrollar una bicicleta con esta característica, e incluso existen modelos a la venta al público en otros países, pero los cuales poseen pocas velocidades.

2.2 Ventajas de la transmisión por conos encontrados

La transmisión por medio de cadena y catarina ha sido adoptada por los diseñadores de bicicletas debido a su simplicidad y facilidad de instalación. De acuerdo con Whitt, la eficiencia de una transmisión por cadena y catarina puede llegar a ser del 98%, pero para lo cual necesita estar bien limpia y lubricada. Asimismo es un sistema que visto de cerca tiene una gran cantidad de piezas pequeñas móviles, las cuales están expuestas a la intemperie y son afectadas por la tierra y el lodo que se pueda encontrar en el camino, por lo tanto requieren de una gran cantidad de mantenimiento, el cual se da con poca frecuencia por los ciclistas. Además este sistema tiene el problema de que la cadena puede salirse fácilmente de su lugar en caso de saltos o vibraciones en caminos de terracería. [10].

En cambio un sistema cerrado que se espera que sea más simple y seguro no tendría la necesidad de tanto mantenimiento ya que sería cerrado, aislando así el sistema del polvo y

lodo. Tendría un menor número de piezas móviles, por lo cual la probabilidad de una falla será menor, y asimismo lo será el mantenimiento, el cual incluso puede quedar totalmente eliminado, más que en largos periodos de tiempo.

Algo muy importante, y ventajoso con respecto a la cadena, del sistema de conos encontrados es la facilidad que este provee para hacer los cambios, que al ser continuos existirá un número infinito de posibles relaciones de velocidades con lo que el ciclista podrá mantener un pedaleo a razón constante, esto ayudará a un incremento en el rendimiento del ciclista logrando en teoría pedalear más tiempo con la misma energía. También se eliminará la necesidad de estar batallando con el sistema para que haga el cambio, el cual es un problema bastante común en el sistema de cadena, sobre todo en pendientes donde la cadena esta sometida a una tensión grande, y se puede dañar ella o las catarinas.

2.3 Análisis de la bicicleta actual y obtención de los requerimientos

La bicicleta que se utilizará como base para el diseño del sistema es una Raleigh M60 para montaña, fabricada con cuadro de aluminio 7005, que cuenta con 24 velocidades por medio de cadena y catarina. Su peso actual es de 14 kg. (137.3 N).



Figura 2.2. Vista de la bicicleta original

El sistema de transmisión actual consta de dos juegos de catarinas. Uno que está conectado directamente a los pedales, y que consta de tres catarinas que tienen los siguientes números de dientes: 22, 31 y 42, del cuadro hacia afuera. El segundo juego de catarinas se conecta a la llanta por medio de un “sprocket”, que funciona como matraca o embrague de una sola dirección, y este a su vez es el que transmite la potencia a la llanta trasera. Este segundo juego consta de ocho catarinas, y estos son sus números de dientes: 30, 26, 23, 20, 17, 14, 13 y 11, también del cuadro hacia afuera. Estos dos juegos de catarinas son conectados por una cadena, la cual es cambiada de catarina, tanto en el juego delantero como en el trasero, resultando de la combinación de esto 24 velocidades en total. Sin embargo no es muy recomendable utilizar combinaciones entre las catarinas de extremos contrarios, adelante y atrás, ya que esto provoca que la cadena quede muy cruzada, con lo que se puede dañar o desgastar tanto la cadena como las catarinas, además de que se corre el riesgo de que salga de su lugar.

A continuación se muestran las relaciones posibles en las diferentes velocidades que son las que se van a tratar de reproducir con la nueva transmisión, o por lo menos en el rango

aproximado que se presenta en la Tabla 2.1. Estas se obtuvieron dividiendo el número de dientes de adelante sobre el número de dientes de atrás.

De acuerdo con Frank Rowland Whitt, la eficiencia de la transmisión por cadena es de aproximadamente el 98.5%, en el caso de una cadena limpia y lubricada. La energía que se pierde en este caso es por la fricción en rodamientos y en otros componentes. Sin embargo es despreciable en comparación con otras pérdidas como la resistencia del viento, o la resistencia al rodamiento en las llantas. Es por eso que la eficiencia del nuevo sistema debe ser bastante alta.

Tabla 2.1 Relaciones de velocidad de la bicicleta base

| Velocidad | Combinación | No.de dientes adelante | No.de dientes atrás | Relación |
|------------------|--------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-----------------|
| 1 | 1-1 | 22 | 30 | 0.73 |
| 2 | 1-2 | 22 | 26 | 0.85 |
| 3 | 1-3 | 22 | 23 | 0.96 |
| 4 | 2-1 | 31 | 30 | 1.03 |
| 5 | 1-4 | 22 | 20 | 1.10 |
| 6 | 2-2 | 31 | 26 | 1.19 |
| 7 | 1-5 | 22 | 17 | 1.29 |
| 8 | 2-3 | 31 | 23 | 1.35 |
| 9 | 3-1 | 42 | 30 | 1.40 |
| 10 | 2-4 | 31 | 20 | 1.55 |
| 11 | 1-6 | 22 | 14 | 1.57 |
| 12 | 3-2 | 42 | 26 | 1.62 |
| 13 | 1-7 | 22 | 13 | 1.69 |
| 14 | 2-5 | 31 | 17 | 1.82 |
| 15 | 3-3 | 42 | 23 | 1.83 |
| 16 | 1-8 | 22 | 11 | 2.00 |
| 17 | 3-4 | 42 | 20 | 2.10 |
| 18 | 2-6 | 31 | 14 | 2.21 |
| 19 | 2-7 | 31 | 13 | 2.38 |
| 20 | 3-5 | 42 | 17 | 2.47 |
| 21 | 2-8 | 31 | 11 | 2.82 |
| 22 | 3-6 | 42 | 14 | 3.00 |
| 23 | 3-7 | 42 | 13 | 3.23 |
| 24 | 3-8 | 42 | 11 | 3.82 |
| | | Rango= | 3.82 | 0.73 |

Para el cálculo de fuerzas que se va a requerir en el sistema se toma en consideración, estimaciones hechas en base a mediciones hechas por Whitt [10], y de las cuales ha podido obtener estimaciones de la potencia generada por los ciclistas. En base a estas estimaciones se ha obtenido ahora el estimado de las fuerzas tangenciales.

De esta forma se llegó a saber que aparentemente un ciclista normal, suele tener un pedaleo constante pero moderado, ejerciendo fuerzas tangenciales sobre el pedal de tan solo una quinta parte de su peso. Supuestamente, esto es porque así se puede tener un buen balance sobre el asiento y para el control del manubrio.

Entonces se puede calcular el empuje sobre los pedales a partir de las revoluciones por minuto y el largo de la manivela del pedal para una potencia de salida dada. Así, si se toma la velocidad tangencial del pedal es posible utilizar esta ecuación:

$$Fuerza_de_empuje(N) = \frac{Potencia(W)}{Velocidad_del_pedal(m/s)} \quad (2.1)$$

donde

$$Velocidad_del_pedal = longitud_del_pedal(m) \bullet velocidad_angular(rad/s) \quad (2.2)$$

Como resultado de experimentos en un ergómetro (Figura 2.3), que consistían en pruebas a velocidades de pedaleo constante, se observó que a una velocidad de pedaleo óptima esta ecuación era bastante exacta, sobre todo en potencias de 0.1hp (74.6W) o superiores. Estos resultados se muestran en la Figura 2.3. También se vio que en velocidades no óptimas, la

fuerza aumenta en cantidades que se podrían predecir de la reducción de la eficiencia en el pedaleo. Llegaron a la conclusión de que la energía se pierde en algún lugar del sistema.

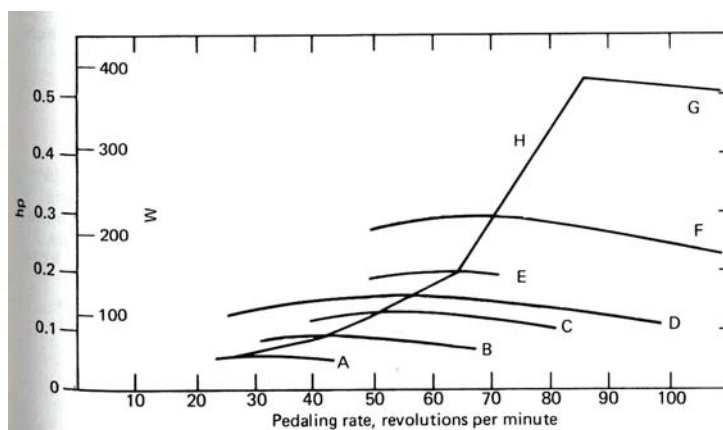


Figura 2.3 Potencias de salida obtenidas de distintas referencias y compiladas en “Bicycling Science”. Pedaleos óptimos en la curva H. “Bicycling Science” Whitt y Wilson. [10]

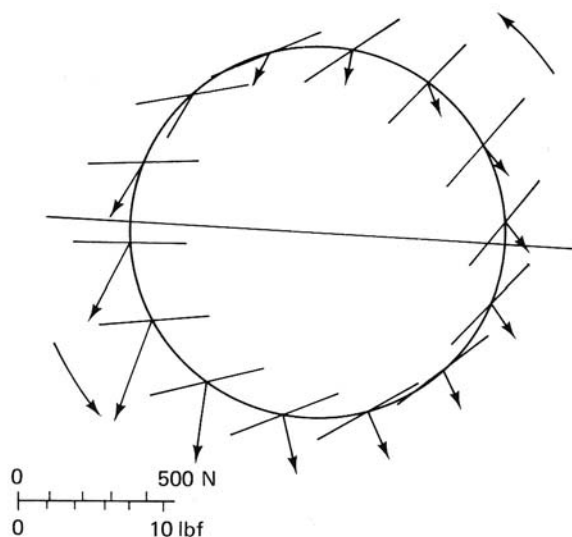


Figura 2.4. Magnitudes y direcciones de fuerzas resultantes en varios puntos del círculo de la trayectoria del pedal. La escala se muestra abajo. . “Bicycling Science” Whitt y Wilson. Pag 63.[10].

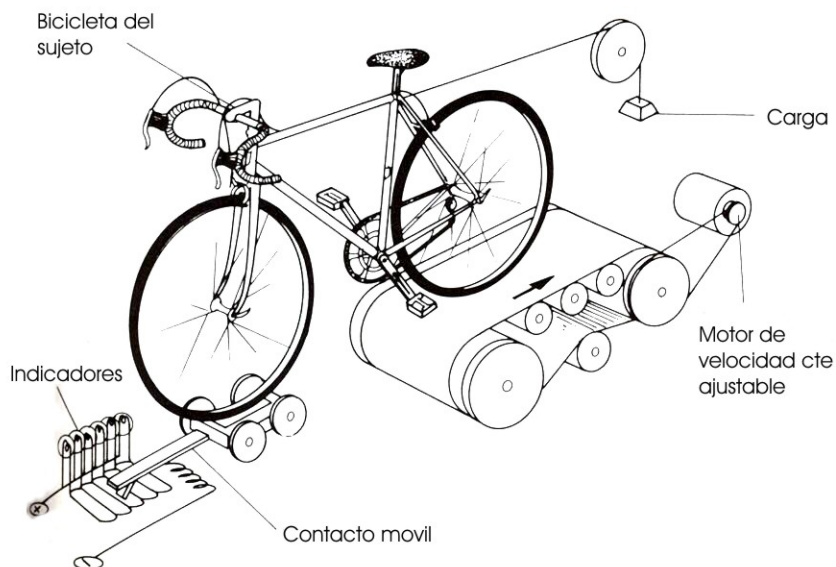


Figura 2.5. Ergómetro de Müller. Se fijan la carga y la velocidad; el sujeto trata de mantener la lámpara del centro encendida. La prueba termina cuando se enciende la última lámpara de atrás.[10]

Ahora bien, se han realizado numerosos experimentos para hacer mediciones de potencia, bajo diferentes condiciones. Por ejemplo, Müller [10], quien diseñó el ergómetro mostrado en la figura 2.5, utilizaba las bicicletas de los individuos que realizaban las pruebas, y era gente ordinaria más no atletas o personas entrenadas. Él mismo realizó pruebas obteniendo sus resultados, mostrados en la Figura 2.6.

Wilkie[10] realizó pruebas en las que se le pedía a los sujetos que hicieran su máximo esfuerzo para poder tomar mediciones de potencia máxima en distintos lapsos de tiempo. La máxima potencia registrada en estos experimentos fue de 0.54hp (402.7W) durante un minuto y en lapsos de 60 a 270 minutos se registraron potencias entre 0.08 y 0.19hp (59.7 y 141.7W). De estas y otras pruebas similares, se obtuvo la tabla 2.2 presentada en “Bicycling Science” en la página 62.

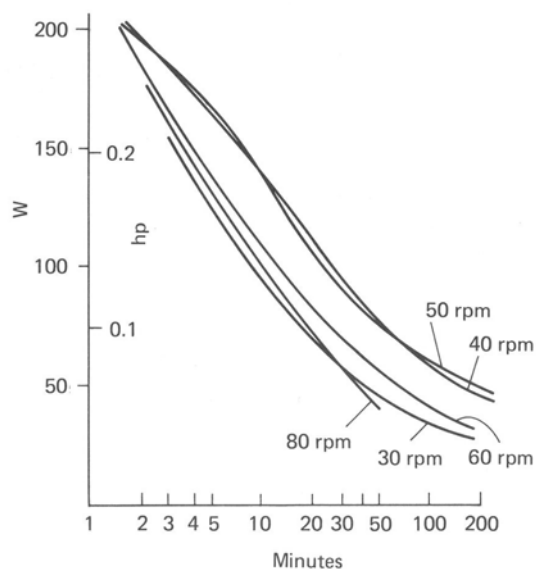


Figura 2.6 Potencia de pedaleo de un hombre de 34 años contra tiempo. Los valores de rpms mostrados son del pedal.[10]

Ahora se tiene una gran cantidad de datos como referencia para los cálculos. Como se puede ver, existen muchos resultados y no hay un criterio uniforme, y tampoco existe una potencia específica con la que se pueda trabajar. Lo mismo pasa con la fuerza en el pedal, en la cual será necesario basarse para la realización de todos los cálculos posteriores del nuevo sistema. Entonces es necesario adoptar un criterio a utilizar para este caso. Lo más conveniente sería tomar la potencia máxima registrada en los experimentos anteriores, y de esta manera se estará asegurando la confiabilidad de este sistema. De todas maneras será necesario analizar que tan factible es utilizar un factor de seguridad, y cual sería este, en base a la necesidad de ahorrar peso en el sistema, lo cual es un punto principal para este. Entonces si se consideran los datos de la tabla 2.2, vemos que la máxima potencia registrada es de 1230.4 W y la fuerza de empuje máxima estimada es de 511.75 N, para la

potencia anterior, a una velocidad tangencial del pedal de 2.4 m/s. Si sustituimos estos datos en la fórmula (2.1):

$$F = \frac{1230.4W}{2.4m/s} = 512N$$

Se obtiene un resultado de 512 N, entonces estos serán los datos que serán utilizados para el sistema, considerando un largo de manivela real de la bicicleta de base de 18 cm.



Figura 2.7 Vista de la transmisión actual

Ahora se tienen casi todos los datos necesarios para el diseño de un sistema de transmisión de potencia. El único dato que falta es la distancia entre ejes, que son paralelos, y esta se toma de la bicicleta original y es de 42.5 cm. Este dato es tomado únicamente como base ya que puede cambiar debido a que se harán cambios al cuadro original de la bicicleta.

Tres de estos datos fueron tomados de la bicicleta original que son el número de dientes de cada una de las catarinas del sistema, el largo de la manivela del pedal y la distancia entre ejes. Los dos últimos se tomaron utilizando una cinta métrica convencional. Más adelante se realizará la medición de la geometría del cuadro para poder hacer las adaptaciones.

Tabla 2.2 Resultados de distintas pruebas realizadas. [10]

| | Distancia | | Velocidad (mph) | Catarina (in) | Manivela (in) | Vel.de manivela (rpm) | Vel.del pie (ft/min) | Pot. estimada (hp) | Fuerza estimada (lbf) |
|---------------------------|-----------|----------|--------------------|------------------|------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| | (millas) | Tiempo | | | | | | | |
| Pista, Ordinaria | 0.25 | 30 seg | 30 | 53 | 5 | 190 | 493 | 1.35 | 91 |
| | 0.5 | 72 seg | 25 | 56 | 5 | 150 | 392 | 1.05 | 88 |
| | | 60 min | 20.1 | 59 | 5.5 | 116 | 330 | 0.5 | 50 |
| Pista, de seguridad | 0.125 | 12.4 seg | 36.3 | 90 | 6.25 | 136 | 446 | 1.6 | 120 |
| | 0.125 | 12.2 seg | 37 | 68 | 6.5 | 182 | 619 | 1.6 | 85 |
| | 0.25 | 29 seg | 29.8 | 64 | 6.25 | 170 | 520 | 1.3 | 83 |
| | 0.125 | 11.5 seg | 39 | 90 | 6.5 | 145 | 473 | 1.65 | 115 |
| Pista, de seguridad | | 60 min | 40.1 | 106 | 6.75 | 126 | 445 | 0.5 | 37 |
| | | 60 min | 56 | 139 | 6.5 | 134 | 456 | 0.5 | 36 |
| a paso de: motocicleta | | 60 min | 61.5 | 144 | 6.5 | 143 | 488 | 0.5 | 35 |
| | | 60 min | 71 | 180 | 6.5 | 133 | 454 | 0.5 | 36 |
| | | 60 min | 76 | 191 | 6.5 | 134 | 454 | 0.5 | 36 |
| tren | 1 | 57 seg | 62 | 104 | 6.5 | 198 | 670 | 1.2 | 59 |
| Bicicleta de seguridad | 25 | 52 seg | 28.8 | 90 | 6.875 | 102 | 370 | 0.6 | 54 |
| | 100 | 4 h | 25 | 85 | 6.875 | 99 | 368 | 0.5 | 45 |
| sobre camino | 480 | 24 h | 20 | 80 | 6.875 | 84 | 310 | 0.25 | 26 |
| | 100 | 4h28min | 22.4 | 81 | 6.5 | 93 | 316 | 0.5 | 52 |
| En camino turista | | | 10 | 68 | 6.875 | 50 | 180 | 0.09 | 16 |
| | | | 12 | 68 | 6.875 | 61 | 220 | 0.11 | 16 |
| | | | 16 | 75 | 6.875 | 74 | 266 | 0.2 | 24 |
| | | | 18.5 | 75 | 6.875 | 85 | 305 | 0.3 | 32 |

Tabla original en unidades del sistema inglés

| | Distancia | | Velocidad (kph) | Catarina (cm) | Manivela (cm) | Vel.de manivela (rad/s) | Vel.del pie (m/s) | Pot. estimada (W) | Fuerza estimada (N) |
|---------------------------|-----------|----------|--------------------|------------------|------------------|-------------------------------|----------------------|-------------------------|---------------------------|
| | (Km) | Tiempo | | | | | | | |
| Pista, Ordinaria | 0.4 | 30 seg | 48 | 134.62 | 12.7 | 19.89675 | 2.50444 | 1006.695 | 404.95 |
| | 0.8 | 72 seg | 40 | 142.24 | 12.7 | 15.70796 | 1.99136 | 782.985 | 391.6 |
| | | 60 min | 32.16 | 149.86 | 13.97 | 12.14749 | 1.6764 | 372.85 | 222.5 |
| Pista, de seguridad | 0.2 | 12.4 seg | 58.08 | 228.6 | 15.875 | 14.24189 | 2.26568 | 1193.12 | 534 |
| | 0.2 | 12.2 seg | 59.2 | 172.72 | 16.51 | 19.059 | 3.14452 | 1193.12 | 378.25 |
| | 0.4 | 29 seg | 47.68 | 162.56 | 15.875 | 17.80236 | 2.6416 | 969.41 | 369.35 |
| | 0.2 | 11.5 seg | 62.4 | 228.6 | 16.51 | 15.18436 | 2.40284 | 1230.405 | 511.75 |
| Pista, de seguridad | | 60 min | 64.16 | 269.24 | 17.145 | 13.19469 | 2.2606 | 372.85 | 164.65 |
| | | 60 min | 89.6 | 353.06 | 16.51 | 14.03245 | 2.31648 | 372.85 | 160.2 |
| a paso de: motocicleta | | 60 min | 98.4 | 365.76 | 16.51 | 14.97492 | 2.47904 | 372.85 | 155.75 |
| | | 60 min | 113.6 | 457.2 | 16.51 | 13.92773 | 2.30632 | 372.85 | 160.2 |
| | | 60 min | 121.6 | 485.14 | 16.51 | 14.03245 | 2.30632 | 372.85 | 160.2 |
| tren | 1.6 | 57 min | 99.2 | 264.16 | 16.51 | 20.73451 | 3.4036 | 894.84 | 262.55 |
| Bicicleta de seguridad | 40 | 52 seg | 46.08 | 228.6 | 17.4625 | 10.68142 | 1.8796 | 447.42 | 240.3 |
| | 160 | 4 h | 40 | 215.9 | 17.4625 | 10.36726 | 1.86944 | 372.85 | 200.25 |
| sobre camino | 768 | 24 h | 32 | 203.2 | 17.4625 | 8.796459 | 1.5748 | 186.425 | 115.7 |
| | 160 | 4h28min | 35.84 | 205.74 | 16.51 | 9.738937 | 1.60528 | 372.85 | 231.4 |
| En camino turista | | | 16 | 172.72 | 17.4625 | 5.235988 | 0.9144 | 67.113 | 71.2 |
| | | | 19.2 | 172.72 | 17.4625 | 6.387905 | 1.1176 | 82.027 | 71.2 |
| | | | 25.6 | 190.5 | 17.4625 | 7.749262 | 1.35128 | 149.14 | 106.8 |
| | | | 29.6 | 190.5 | 17.4625 | 8.901179 | 1.5494 | 223.71 | 142.4 |

Tabla en unidades del SI