

“ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MOTRIZ PARA BICICLETAS”

Joel Salomón Guanga Haro, Ing.
Jairo Alfredo Vera Valladares, Ing.
Sotomayor Orozco Nelson G., MSc.

RESUMEN

En la actualidad, sistemas motrices no se comercializan de forma independiente sino que se incorporan a la bicicleta desde su fabricación y posteriormente se consiguen como parte de modelos exclusivos de bicicletas. En Ecuador no se ha desarrollado este tipo de tecnología y cuando se logra importar resulta costosa, con ausencia total de soporte técnico y de mantenimiento.

En el presente trabajo se realizó el estudio e implementación de un sistema motriz para bicicletas, que contribuye al desarrollo de la bicicleta como medio alternativo de transporte, disminuyendo el esfuerzo de pedaleo del ciclista en su desplazamiento.

Se diseñó, construyó e implementó dos módulos, totalmente extraíbles y adaptables a cualquier vehículo sin motor de dos ruedas, uno electromecánico que transforma las acciones de control en movimiento por medio de un motor de DC que va montado directamente en el eje de los pedales y actúa sobre la rueda a través de la misma cadena, y otro electrónico que controla la velocidad del motor dependiendo del esfuerzo ejercido en los pedales y la velocidad de pedaleo.

Los resultados de las pruebas demuestran que el hardware y el software diseñados combinan y aprovechan al máximo las dos fuentes de energía, muscular y eléctrica en una bicicleta.

1. INTRODUCCION

Existen una serie de ventajas en el uso de la bicicleta como medio de transporte y que por tanto deben ser consideradas a la hora de tomar la decisión de andar en bicicleta, las ventajas pueden ser clasificadas en dos grupos: aquellas que redundan directamente en cada uno de los usuarios

de la bicicleta y aquellas de las que se beneficia el colectivo social.

Como alternativa y sustituto ideal de los transportes urbanos se diseñó el sistema motriz para bicicletas, basado en un microcontrolador, que mejora aun estas ventajas, logrando mejorar el rendimiento de la bicicleta, minimizando el nivel de esfuerzo del ciclista y aumentando las distancias recorridas.

Para la elaboración de este proyecto se hizo una investigación de sistemas similares comerciales, y las bases legales que la ley exige, como es que la parte predominante de la tracción de una bicicleta sea de origen muscular, por lo tanto una bicicleta eléctrica tiene que estar construida de modo que el esfuerzo de tracción del motor no llegue nunca a sobrepasar el 50% del total. Asimismo se exige que su conducción sea idéntica que la de una bicicleta convencional.

2. CONSIDERACIONES GENERALES

La bicicleta eléctrica es, sobretodo, una bicicleta y, como tal, una máquina pensada para desplazarse mediante el esfuerzo muscular de las piernas con la mayor eficiencia posible. Además de pedales, la bicicleta eléctrica lleva un motor eléctrico que añade una fuerza adicional a la que hace el ciclista. El motor eléctrico no tiene la misión de sustituir la fuerza muscular, sino de complementarla, si no fuera así se estaría hablando de una motocicleta eléctrica, un vehículo que también existe pero que no es el que nos ocupa.

La reducción del esfuerzo del ciclista al pedalear, va a depender de los siguientes parámetros: estilo de conducción y colaboración del ciclista, estado de la bicicleta (engrase, presión de los neumáticos etc), estado de la batería, temperatura ambiente, viento, topografía

del recorrido, peso total bicicleta-usuario, edad y estado físico de la persona.

El sistema motriz necesita para su correcto funcionamiento una fuerza mínima aplicada en la biela y pedalear a una velocidad mínima y máxima, en la práctica se determinó que el valor mínimo de velocidad era muy alto, ya que en pendientes se iba a menos velocidad y se necesitaba la ayuda del motor por lo que se disminuyó a 1 revolución en 3 segundos (inicialmente la velocidad mínima para ayudar era 1 revolución por 2 segundos), con lo que se obtuvo los resultados esperados.

El prototipo diseñado e implementado debe ser capaz de proveer al usuario mayores ventajas en cuanto al simple hecho de utilizar una bicicleta común y corriente. Las ventajas que debe proporcionar el sistema motriz para bicicletas se concentran en las siguientes:

- Mantener el confort al pedalear en todo momento independiente de las condiciones físicas del terreno (pendientes) a recorrer.
- Funcionamiento automático, dependiente únicamente de las variables a medir como son la velocidad y el esfuerzo que la persona ejerce sobre los pedales.
- Ocupar menor espacio posible en la bicicleta.
- Controles del sistema fácil de maniobrar y visualmente agradables.
- Adaptable a cualquier tipo de persona, siendo esta la principal característica del sistema, es decir compensa la potencia necesaria para cada usuario puesto que no todos tienen la misma constitución física ni la fuerza al pedalear.
- Suministrar la potencia extra "necesaria" como suplemento a la ejercida por la persona al pedalear, esto es cuando se realiza un esfuerzo mayor al que se haría normalmente al pedalear en un terreno plano.
- No ejercer ninguna carga o molestia al ciclista

3. REQUERIMIENTOS MECÁNICOS

El sistema motriz va montado en una bicicleta la cual está modificada mecánicamente para que los sensores de velocidad y esfuerzo; el motor y las tarjetas electrónicas del control se acoplen a ella.

Para la medición del esfuerzo de la persona al pedalear se dispone de un brazo mecánico construido en aluminio en el mismo que va acoplado el sensor de peso (galga en su celda de carga), siendo este el brazo del pedal derecho de la bicicleta al cual se lo flexiona cuando se ejerce fuerza en el pedal (al pedalear).

Todos los dispositivos mecánicos y electrónicos que forman parte del sistema motriz están diseñados para trabajar bajo condiciones físicas y ambientales variables puesto que los terrenos por donde se utiliza una bicicleta son por lo general irregulares, causan vibraciones y golpes que podrían desacoplar e incluso dañar dichos dispositivos, además se tiene en cuenta que todo el sistema está expuesto directamente al ambiente por lo tanto este debe soportar cualquier factor ambiental sin interrumpir o alterar su función.

3.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BRAZO MECÁNICO PARA REALIZAR LA MEDICIÓN DEL TORQUE

Las dimensiones de la biela original no son suficientes para acoplar en ella la celda de carga, tratar de hacerlo resulta muy complicado y no es confiable. Por esta razón se está en la obligación del diseño y construcción de un nuevo brazo en el que quede bien acoplado el sensor de esfuerzo.

Los requerimientos de la nueva biela construida son:

- Tener exactamente la misma longitud que la original, el ancho y grosor podrían variar puesto que no afectan más que en la estética de la bicicleta.
- El material utilizado es el aluminio, el cual tiene la suficiente dureza para que no sea este el que se deforme sino la celda, para evitar pérdidas y tener una medida más exacta de la variable. El material es de buena calidad para que no se rompa o se doble.

- La celda debe quedar precisamente acoplada al brazo sin que exista “juego” entre ellos puesto que esto produce desgaste de las piezas y por ende su deterioro inmediato.
- Todo el brazo mecánico debe ser simétrico respecto al eje de rotación de las bielas.

Considerando las medidas exactas de la celda de carga y de la biela, el diseño más apropiado de las piezas que forman el brazo es el mostrado en la Figura 2.

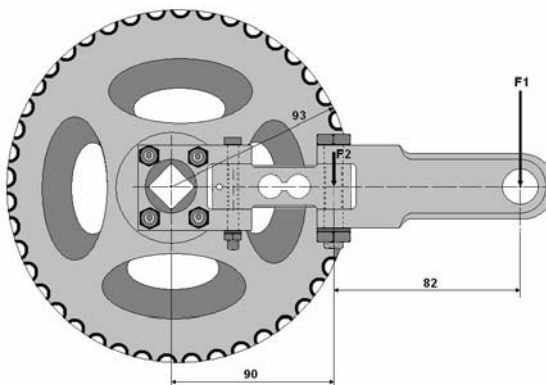


Figura 2 Conjunto Rueda dentada – Biela – Celda de Carga

3.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA POTENCIA DEL MOTOR

El dimensionamiento de un motor tiene que ver directamente con los requerimientos de la carga, y más exactamente con la relación torque-velocidad (T vs W). Para el caso de pedaleo en una bicicleta, la forma de la curva torque-velocidad, correspondiente a lo que se ejerce en la rueda dentada, tiene forma aproximada a la que se indica en la Figura 3. En realidad la curva T vs W es diferente para cada usuario puesto que depende de la fuerza en sus piernas, el peso bicicleta-hombre y la pendiente que tiene el terreno donde se transita, sin embargo las diferentes curvas se parecen en su forma. El torque y la velocidad son a los que se encuentra sometida la rueda dentada, además la relación T/W no es lineal.

El torque es máximo para velocidades que tienden a cero, no necesariamente en cero, esto depende de la cantidad de peso que hay que sacar de la inercia y mas aún de si se intenta arrancar o se esta pedaleando

en una cuesta, el T va disminuyendo a medida que la velocidad aumenta y es prácticamente despreciable para las máximas velocidades que se pueden conseguir en la bicicleta, esto generalmente ocurre en bajadas.

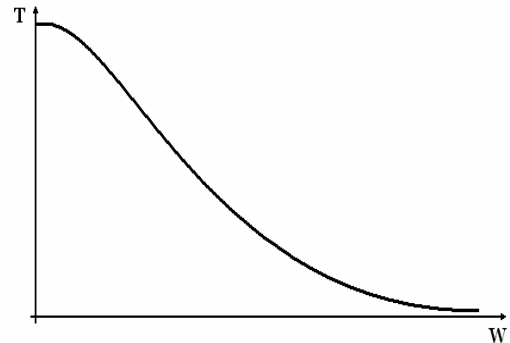


Figura 3 Curva T vs W (Rueda dentada)

En la figura anterior se muestra una de las posibilidades que puede tener la relación T vs W . El valor máximo de torque, diferente para cada usuario, puede irse desplazando a la derecha dependiendo de las características del ciclista y del terreno.

Para dimensionar la potencia del motor DC a utilizar, se toma en cuenta la capacidad máxima de la celda de carga lo cual se traduce en el torque máximo que se puede obtener, también se considera la velocidad a la que se pedalea para esto se obtienen valores en base a pruebas.

El máximo torque se consigue cuando el ángulo entre la fuerza aplicada al pedal y el vector distancia, desde el punto de aplicación de la fuerza al eje rotor, es de 90° . Durante el pedaleo esto ocurre una vez por ciclo y en un punto dado, el cual es prácticamente el mismo ya que depende de la arquitectura de la bicicleta.

De acuerdo a la Figura 2 se hace el cálculo del máximo torque que se puede obtener en la rueda dentada (que va a ser arrastrada por el motor) producido por la fuerza humana.

El máximo peso que soporta la celda de carga es de 100Kg en el punto F2.

Al realizar los cálculos se obtiene el torque máximo (de acuerdo a la capacidad de la celda) en la rueda dentada:

$$\tau = 88.2N.m$$

Una vez encontrado el torque máximo, el siguiente paso es ver a que velocidad ocurre o en que intervalo podría estar, ya que como se mencionó anteriormente el torque máximo puede darse a diferentes valores de velocidad cercanas a cero puesto que depende de factores como; fuerza del ciclista, peso ciclista-bicicleta y terreno (pendientes), los cuales son diferentes de un usuario a otro.

Para determinar la velocidad mínima se toma en consideración dos aspectos importantes:

- En bajas velocidades el motor consume mucho de manera muy ineficiente, y
- Una velocidad relativamente baja (menor a la velocidad que una persona camina), es semejante a que la bicicleta no se mueva.

Se toma como velocidad mínima de la bicicleta 5 Km/h , (menor a la de una persona caminando), posteriormente se calcula el número de revoluciones que el ciclista debe realizar en los pedales, para lo cual se realizan los siguientes pasos:

- a. Se pasa la velocidad de la bicicleta, que es lo mismo de la llanta de atrás, de velocidad lineal a velocidad angular, para lo cual se toma el diámetro de dicha llanta (66 cm) para posteriormente sacar el perímetro:

$$\text{Perimetro} = \pi * D = 66 * \pi = 207.34 \text{ cm}$$

Con este perímetro se calcula la velocidad angular obteniéndose:

$$\frac{0.67 \text{ rev}}{\text{seg}}$$

- b. Se pasa la velocidad de la llanta de atrás a la rueda dentada (catalina), para este cálculo se toma en cuenta el disco con el mayor número de dientes de la llanta de atrás, ahí la velocidad será la mínima, y con el número de dientes de la catalina, lo que se obtiene la relación de reducción de velocidad:

$$\text{Relación de dientes} = \frac{\text{Número de dientes catalina}}{\text{Número de dientes disco mayor llanta de atrás}}$$

$$\text{Relación de dientes} = \frac{38}{28}$$

$$\text{Relación de dientes} = 1.35$$

Con lo que la velocidad angular de la catalina será:

$$\text{Velocidad Disco de atrás} = 0.49 \text{ rev/seg}$$

Es decir la velocidad mínima a la que el motor eléctrico comenzara ayudar es de 0.5 rev/seg .

Para determinar la velocidad máxima, se procede de manera contraria al procedimiento para encontrar la velocidad mínima, aquí se considera:

- La capacidad de cualquier ciclista para realizar cierto número de revoluciones en un segundo,
- El ciclista realiza un esfuerzo el cual amerita que el motor complemente la fuerza muscular.

En base a prácticas realizadas se determina que 1.2 rev/seg es un valor acorde a lo que se espera obtener como resultado final, capaz de aprovechar al máximo la energía muscular.

La máxima velocidad angular en la catalina es:

$$1.2 \frac{\text{rev}}{\text{seg}} * \frac{2 \pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} = 7.54 \text{ rad/seg}$$

Para determinar la velocidad máxima que alcanzaría la bicicleta con el motor encendido de debe pasar a la llanta de atrás, con el mismo criterio para la mínima velocidad, pero ahora con el disco con menor número de dientes, con el cual se obtendrá la máxima velocidad.

La relación de velocidades es:

$$\text{Relaciòn de dientes} = \frac{38}{14}$$

$$\text{Relaciòn de dientes} = 2.71$$

La velocidad angular de la llanta de atrás es:

$$\text{Velocidad Bicicleta} = 2.71 * \text{velocidad catalina}$$

$$\text{Velocidad Bicicleta} = 2.71 * 1.2 \text{ rev/seg}$$

$$\text{Velocidad Bicicleta} = 3.252 \text{ rad/seg}$$

La velocidad máxima de la bicicleta (hasta cuando ayuda el motor) será:

$$25 \text{ Km/h}$$

Que es una velocidad en que una persona de condiciones físicas normales puede alcanzar en terrenos desfavorables (cuestas de pendientes no muy pronunciadas) y que amerite la ayuda del motor eléctrico.

La velocidad promedio a la cual se produce el torque máximo en base a pruebas se obtiene a partir de medir el tiempo en que se demora en dar una vuelta completa del pedal. Este tiempo es de 2seg, calculando la velocidad en radianes por segundo se obtiene:

$$1 \text{ rev} \rightarrow 2 \text{ seg}$$

Se tiene que la velocidad es:

$$W = 0.5 \text{ rev/seg}$$

en radianes por segundo es:

$$W = 0.5 \frac{\text{rev}}{\text{seg}} * \frac{2\pi \text{rad}}{1 \text{ rev}}$$

Con los valores "críticos" calculados de torque y la velocidad angular se calcula la potencia:

$$P = \tau * w$$

$$P = 88.2 \text{ Nm} * \pi \text{ rad/seg}$$

$$P = 277.1 \text{ W}$$

En HP's se tiene de acuerdo a la equivalencia:

$$1 \text{ Hp} \rightarrow 746 \text{ W}$$

$$P \rightarrow 277.1 \text{ W}$$

entonces:

$$P = 0.371 \text{ Hp}$$

La potencia calculada es la máxima que puede una persona desarrollar en el pedaleo, pero como ya se mencionó el propósito es ayudar a pedalear al usuario proporcionándole una potencia adicional máxima igual al 50% de la que él produce. Con esta acotación se obtiene que la potencia del motor debe ser de:

$$P_{\text{motor}} = 0.5 * P_{\text{max_ciclista}}$$

$$P_{\text{motor}} = 0.185 \text{ Hp}$$

Sobredimensionando al motor para compensar las pérdidas eléctricas y mecánicas, y conseguir un valor de potencia existente en el mercado, finalmente se obtiene que el motor apropiado para cumplir el objetivo es de una potencia de:

$$P = \frac{1}{4} \text{ Hp}$$

Para esta aplicación es muy importante el uso de un moto-reductor o caja reductora ya que el torque que proporciona directamente el motor a utilizar es bajo, además se requiere bajar la velocidad a niveles que el ciclista puede pedalear.

La máxima velocidad determinada (en los pedales) hasta la cual el ciclista puede esperar la ayuda del motor es de 1.2 rev/seg (72 rev/min).

La rueda dentada de mayor número de dientes (el disco más grande de las catalinas), el cual tiene 48 dientes, va arrastrada por un "racher" de 16 dientes, el cual esta acoplado a la salida de la caja reductora. Con lo cual la velocidad del "racher" y por lo tanto la salida de la caja reductora es:

$$Velocidad\ Racher = \frac{48}{16} * 72 rev/min$$

$$Velocidad\ Racher = 216 rev/min$$

La velocidad del Motor de DC es de, $3400 rev/min$ por lo que la relación de acoplamiento (N) de la caja reductora será:

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{N}$$

$$\frac{3400}{216} = 15.7 = \frac{1}{N}$$

Se toma $N = 16$, es decir la velocidad máxima del motor se reduce en $1/16$, pero se aumenta el Torque 16 veces.

Esta relación de acoplamiento se puede conseguir simplemente con dos piñones o engranes, pero esto conlleva a que uno sea muy pequeño y el otro demasiado grande, lo cual no es conveniente, ya que la caja reductora se haría muy robusta, por lo que la mejor opción es obtener esta relación de acoplamiento con cuatro piñones, acoplados en pares, se escoge esta manera ya que se dispone de 3 piñones con las siguientes características:

Un piñón de 37 dientes (que es la salida de la caja reductora) el cual esta acoplado a uno de 9 dientes, es decir, para que el piñón de 37 dientes de una revolución completa el de 9 dientes debe dar 4.11 revoluciones, el piñón de 9 dientes gira en el mismo eje (a la misma velocidad angular) que un piñón de 43 dientes; el cual debe estar acoplado a otro piñón al cual estará conectado el eje del motor.

Como se desea una relación de acoplamiento de 16, la relación entre el piñón de 43 y el que se construyó es:

$$\frac{16}{4.11} = 3.89$$

Entonces el piñón que va acoplado al eje del motor, es de:

$$\frac{43}{3.89} = 11 \text{ dientes}$$

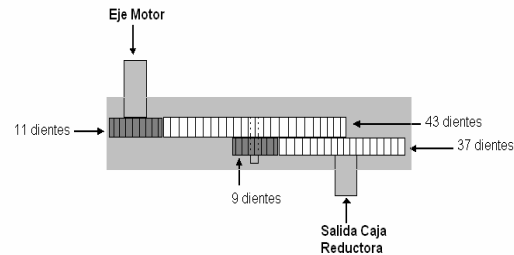


Figura 4 Caja Reductora

4. DISEÑO ELECTRONICO

Las características más importantes en lo que a hardware se refiere se presentan a continuación:

- La tarjeta electrónica principal básicamente esta formada por el elemento de control, que es un microcontrolador PIC, que es el encargado de medir la velocidad y esfuerzo del ciclista, para posteriormente activar al motor.
- El circuito de acondicionamiento de la celda de carga, que se realiza en base a un amplificador de instrumentación. Y del sensor magnético utilizado para medir la velocidad
- La tarjeta con las luces indicadoras, serán las encargadas de señalar las diferentes condiciones de trabajo.
- El circuito electrónico que indica la carga del motor (100,140 y 200 %)

El circuito de fuerza, que será el encargado de activar al motor

El hardware esta construido de tal manera que permite que el sistema funcione de manera automática, éste se simplifica notablemente al utilizar el Microcontrolador PIC16F873 y el amplificador de instrumentación AD627 el cual es capaz de amplificar un máximo de 1000 veces simplemente variando una resistencia y funciona de manera estable.

5. DESARROLLO DEL SOFTWARE

El software implementado en el Microcontrolador PIC16F873 es capaz de controlar la velocidad del motor de DC y el rango de variación de corriente en función del esfuerzo ejercido por la persona y la velocidad de pedaleo.

El software se desarrolla de tal manera que se aprovecha al máximo las cualidades del microcontrolador y puede tomar las decisiones de control lo más rápido posible, esto implica seguridad, eficiencia y lo que es más importante un control casi en tiempo real.

5.1 PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR PIC16F873.

El Microcontrolador PIC16F873, que es el “cerebro” del sistema motriz para bicicletas, desarrollará las siguientes tareas:

Manejo de Periféricos

Entradas:

- On / Off
- Sensor de Esfuerzo
- Verificación baja batería
- Carga del Motor (100, 140 y 200%)

Salidas:

- Luces indicadoras
- PWM

Medición del Esfuerzo

Medición de la Velocidad de la Bicicleta

Manejo del Motor (Salida PWM)

Test de corriente de carga del Motor

El programa básicamente consta de tres partes:

- Lazo Principal
- Actualiza Datos
- Interrupciones

5.1.1 LAZO PRINCIPAL

En esta subrutina el microcontrolador pasa la mayor parte del tiempo, aquí se comprueba el estado de aspectos importantes que pueden pasar en cualquier momento y requieren ser atendidos de manera inmediata, estos son:

- El encendido
- Baja batería
- Carga del Motor (100, 140 y 200%)
- Baja Velocidad
- Alta Velocidad

5.1.2 ACTUALIZA DATOS

Aquí cada vez que el pedal a completado una revolución se vuelve a medir el torque ejercido en la biela y se actualiza el tiempo que se demoró en dar una revolución.

5.1.3 INTERRUPCIONES

En esta subrutina indica que se a completado una revolución del pedal, con la interrupción externa RB0 y se mide el tiempo en que se demoró, con la interrupción interna del TIMER1



Figura 5 Esquema electrónico básico del Sistema Motriz para Bicicletas

6. RESULTADOS

Ahora se cuenta con un Sistema Motriz Automático para Bicicletas capaz de reducir el esfuerzo de pedaleo del ciclista por un trayecto de topografía variable, se brinda el confort necesario para cubrir mayores distancias utilizando la misma energía muscular comparada al pedalear una bicicleta normal en un recorrido menor.

El sistema consta básicamente de:

- Motor DC, montado en el cuadro de la bicicleta de tal manera que no altere el correcto y normal funcionamiento del vehículo, además aprovecha al máximo la fuerza de tracción del motor directamente en los pedales.



Figura 6 Motor DC montado en el cuadro de la bicicleta



Figura 10 Escobillas

- Sistema de control y el de potencia,



Figura 7 Sistema de Control y Potencia

La bicicleta utilizada es mecánicamente buena, permite pedalear cómodamente. El hecho de llevar un motor eléctrico, batería, el sistema de control y de potencia no significa un detrimento de las cualidades mecánicas y ergonómicas del vehículo, a fin de que la aportación y el aprovechamiento de energía muscular sea lo más elevada posible.

El sistema Motriz Automático para Bicicletas terminado se muestra en la Figura 11

- Baterías



Figura 8 Baterías de Control y Potencia



Figura 11 Sistema Motriz Automático para Bicicletas Terminado

- Biela y escobillas que se acoplan a la catalina



Figura 9 Biela

7. CONCLUSIONES

De la realización de las pruebas con las diferentes usuarios se concluye que si es posible implantar un sistema motriz automático de reducción de esfuerzo al pedalear y que además su costo es significativamente menor a los sistemas que se pueden encontrar en el mercado.

Con los resultados se comprobó la viabilidad de desarrollar el Sistema Motriz Automático

de reducción de los esfuerzos de pedaleo en bicicletas en nuestro país, a pesar que la distancia recorrida en un determinado tiempo no varía mucho la reducción de fatiga es considerable y para trayectos en especial como Quito dónde la topografía es variada El Sistema Motriz es una alternativa para utilizar la bicicleta como medio alterno de transporte.

La reducción del esfuerzo del ciclista al pedalear, va a depender de los siguientes parámetros: estilo de conducción y colaboración del ciclista, estado de la bicicleta (engrase, presión de los neumáticos etc), estado de la batería, temperatura ambiente, viento, topografía del recorrido, peso total bicicleta-usuario, edad y estado físico de la persona.

Se pueden mejorar las ventajas del Sistema Motriz Automático si se encuentra un motor de las características diseñadas, para el presente trabajo fue imposible encontrar uno en el mercado local y el costo de importación no conviene ya que se trata de un prototipo, pero a pesar de esto el sistema responde satisfactoriamente ya que el motor DC utilizado posee una gran velocidad y con la caja reductora se logra tener un buen torque, que es el encargado de mover la carga ya que la potencia es el tiempo que se demora en realizar esta acción.

El sistema motriz necesita para su correcto funcionamiento una fuerza mínima aplicada en la biela y pedalear a una velocidad mínima y máxima, en la práctica se determinó que el valor mínimo de velocidad era muy alto, ya que en pendientes se iba a menos velocidad y se necesitaba la ayuda del motor por lo que se disminuyó a 1 revolución en 3 segundos (inicialmente la velocidad mínima para ayudar era 1 revolución por 2 segundos), con lo que se obtuvo los resultados esperados.

El hardware esta construido de tal manera que permite que el sistema funcione de manera automática, éste se simplifica notablemente al utilizar el Microcontrolador PIC16F873 y el amplificador de instrumentación AD627 el cual es capaz de amplificar un máximo de 1000 veces simplemente variando una resistencia y funciona de manera estable.

Para seleccionar una batería, se tiene que el voltaje esta más relacionado con el tamaño que con el peso y la corriente por el contrario con el peso que con el tamaño, esto es para una misma potencia teniendo la oportunidad de jugar con los valores de voltaje y corriente.

Al escoger el voltaje del motor a utilizar, por cualquiera de los lados que se vaya, ya sea para un voltaje mayor o menor, se tiene como inconveniente ya sea el tamaño o el peso de la o las baterías para una misma potencia (dependiente del motor). Se tuvo la oportunidad de utilizar un motor de 72V/0.33A o uno de 12V/3A (ninguno de estos de la potencia calculada, puesto que no existen estos tipos de motores en el mercado nacional) pero aquí tiene mucho que ver la relación tamaño-peso. Por ejemplo si se desea una capacidad de 12Ah se necesitan para cubrir los 72V seis baterías de 12V de 2Ah cada una, lo cual implica gran tamaño en relación a la bicicleta y además peso. Por el otro lado se puede conseguir una batería de 12V/12Ah pero el peso es un inconveniente y el tamaño también (aunque menor que para 72V).

En la selección del motor de corriente continúa, el tipo de conexión, a utilizar esta directamente relacionada con la aplicación, es decir se requiere un buen torque a baja velocidad, esto no deja mas elección que un motor serie. En un principio se intentó utilizar un motor de arranque para automóviles (son motores DC serie) pero se descartaron ya que estos consumen alta corriente incluso en vacío, en el orden de las decenas de amperios.

En un principio además se pensó la posibilidad de recargar la batería en la bicicleta misma aprovechando que con el movimiento se puede generar energía eléctrica o mediante el uso de celdas fotovoltaicas (paneles). Los paneles son una fuente de energía ideal, pero por su tamaño físico no es factible su utilización, para recargar una batería de 12V se tiene que el tamaño del panel es de 1.5X 0.5 metros. Por otro lado, para recargar una batería en base al movimiento de la bicicleta se requiere un suministro constante de corriente lo cual implica una velocidad constante y determinada del vehículo durante un tiempo que va en el orden de las horas (una batería de 6.5Ah se recarga con una corriente recomendable

del 10% de su capacidad esto implica 10 horas de recarga) lo cual es imposible mantener. Por estas razones la batería debe ser recargada con la red pública o alguna otra fuente capaz de hacerlo en forma adecuada (por ejemplo utilizando una planta de luz a combustible).

Se escogió de entre los tipos de sensores para medir velocidad, los magnéticos puesto que estos son inmunes a las vibraciones y al medio ambiente, trabajan a una buena frecuencia de switcheo y en un amplio rango de temperatura.

La medición del esfuerzo muscular a partir de una celda de carga es la más apropiada para el sistema de sensores de la bicicleta eléctrica, debido a la alta capacidad de medición de esfuerzo, físicamente apropiada para montarla o acoplarla en el pedal de la bicicleta y por ser insensible a los golpes y las vibraciones que se dan comúnmente al utilizar una bicicleta, obviamente si se la utiliza de manera adecuada y no se excede de su capacidad.

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda para cualquier aplicación que implique circuitos de control y potencia, aislarlos adecuadamente ya que cuando el motor está trabajando sobre carga su fuente varía considerablemente ante lo cual el circuito de control tendría problemas si se utiliza una sola fuente.

Para un correcto funcionamiento del Sistema Motriz se recomienda seguir adecuadamente los pasos descritos en el manual de uso del sistema y mantener en buen estado mecánico a la bicicleta, el Sistema Motriz no necesita de ningún tipo de mantenimiento, solo se recomienda cargar inmediatamente la batería cuando se detecta que esta baja.

Para futuros proyectos es posible mejorar las características del Sistema Motriz adaptando un control automático de cambio de velocidades y diseñar una catalina especial donde las pérdidas por movimiento sean mínimas y se mejore la ergonomía al pedalear.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] FLYER HANDLE BICYCLES 2002 (www.flyerbike.com)
- [2] Normas EU (Unión Europea) para Bicicletas Eléctricas, 2002
- [3] BIOELECTRONICA, Principios Básicos de Electrocardiografía (ECG)
- [4] Normas de estandarización alemana, DIN
- [5] BBM23-100 DataSheet. Dallas, TX: Dallas semiconductor, 1994
- [6] CORRALES Luis , "Instrumentación Industrial" , Escuela Politécnica Nacional, Quito 1998.
- [7] GTZ, Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit, Tecnología Industrial Tomo 2, Edición especial para proyector de formación profesional en el área de la cooperación técnica, Editorial Reverté, Alemania 1985.
- [8] Revista *Suplemento de Salud*. (<http://www.el-mundo.es/salud/>).
- [9] AD627 DataSheet. One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A, Site: <http://www.analog.com> Analog Devices, Inc., 2000.
- [10] G.KASSAKIAN John; Principios de Electrónica;___Instituto Tecnológico de Massachussets, Segunda Edición, 1991.
- [11] Dra. SÁNCHEZ Ruth, Dr. VELARDE Ernesto Dr. ÁLVAREZ Eduardo; Hospital Militar Central "Dr. Carlos J. Finlay"; Valoración de la capacidad física mediante prueba ergométrica en jóvenes sanos;___Rev Cubana Med 2000.
- [12] SALAS, Juan Carlos; GRUPO AS DEPORTE, Frecuencia Cardíaca, Medicina Deportiva, junio del 2003
- [13] LAVERDE D. ;RIVERA ; Grado (Ingeniero Electrónico). Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería. "Suspensión inteligente para bicicletas de montaña" Bogotá, 1999.

[14] SANTANDER Mario; Thunder Tigre TS – 4N, Baterías, www.lycos.es/koldolo/Baterias

[15] REPRESENTACIONES EXCLUSIVAS PASTOR SL, Equipo para Bicicleta que Duplica la Velocidad Pedaleando, Inventores e Invencciones en gestiona, Valencia 2002

[16] MINISTERIO DE INTERIOR - DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO, Manual de recomendaciones de diseño, construcción, infraestructuras, Señalización, balizamiento, conservación y mantenimiento de bicicletas, "CARRIL-BICI: ", Madrid:, 2001, pp 5-16.

8. BIOGRAFIAS



Joel S. Guanga Haro
Nació en Sucumbios Lago Agrio el 5 de Abril de 1980. Realizó sus estudios secundarios en el Colegio Técnico Pacífico Cembranos. Se graduó en la

Escuela Politécnica Nacional como Ingeniero en Electrónica y Control en marzo del 2004.

Actualmente trabaja en Repsol YPF en Operaciones Planta Generación a crudo



Nelson Sotomayor

Nació en Quito el 9 de Septiembre de 1971. Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Nacional Mejía. Se graduó en la Escuela Politécnica Nacional como

Ingeniero en Electrónica y Control en 1999. Obtuvo su título de Magíster en Ingeniería industrial en junio del 2006. Actualmente desempeña el cargo de Profesor Principal T/C en el Departamento de Automatización y Control Industrial de la Escuela Politécnica Nacional. Además es miembro de la subcomisión académica permanente de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Control.

Áreas de interés: robótica móvil, informática y redes, microcontroladores, automatización y control industrial

e-mail: nsotomayor@hotmail.com



Jairo A. Vera Valladares

Nació en Zamora el 18 de Julio de 1980. Realizó sus estudios secundarios en el Colegio Fisco-Misional "San Francisco"-Ibarra. Se graduó en la

Escuela Politécnica Nacional como Ingeniero en Electrónica y Control en marzo del 2004.