

# Mejora de la sensación propioceptiva en banco de entrenamiento para ciclistas

Jacobo Múgica

Un nuevo modelo de simulador de ciclismo ofrece interesantes alternativas a la sensación cautiva de las bicicletas estáticas



## Introducción

La propiocepción o kinestesia es uno de los sentidos no clasificados en los cinco primarios; vista, oído, tacto, gusto y olfato. Consiste en la capacidad de sentir y saber la posición y velocidad de todos y cada uno de los miembros de nuestro cuerpo. Nos permite tocarnos la punta de la nariz sin vernos en un espejo. Reside en la zona del cerebro que interpreta las señales que le llegan desde los terminales nerviosos distribuidos en los músculos y la piel. Tiene una íntima relación con el equilibrio; se ve afectado por muchas enfermedades nerviosas y por la acción del alcohol (la prueba de tocarse la nariz es muy conocida por los conductores en los controles de alcoholemia) y otros estimulantes y drogas.

## Antecedentes

Si se estudia la evolución histórica del entrenamiento con bicicleta, observamos una tendencia a la realización del citado ejercicio en espacios cerrados. Este hecho hace necesario complementar el ejercicio real en carretera o pista, con distinto tipo de simuladores del ejercicio real. En el mercado actual es difícil encontrar un aparato de esos que resulte divertido. Nuestro objetivo, por tanto, era evitar el aburrimiento y la sensación de estar anclado, sujeto y lógicamente siempre en el mismo sitio a pesar del esfuerzo realizado. Conseguir el balanceo, el cuerpo moviéndose a derecha e izquierda, junto con la bici, experimentar lo mismo que una circulación por carretera, era lo que nos proponíamos.

Los distintos tipos de simuladores, se pueden clasificar básicamente en tres:

1. Aparatos estáticos: consisten en máquinas, cuyo efecto final es que el usuario se sienta, pedalea con un esfuerzo programable y regulado de acuerdo a sus preferencias personales, pero nada parecido a moverse en bicicleta. Son tan solo "maquinas de pedalear".

2. Rodillos estáticos. (con sujeción estática): los rodillos estáticos, son sistemas de anclaje para la propia bicicleta del usuario, donde éste puede realizar ejercicios de calentamiento y entrenamiento en lo tocante a piernas, pero sin ejercitarse aquí tampoco conducción, equilibrio, y demás movimientos tales como sprint, balanceo de bicicleta, etc.

De los rodillos anclados se ha dicho: atada a un trainer, tu bici ya no es una bici realmente. Es como esas pesadillas que se suelen tener donde corres y corres pero alguien te sujetó por detrás.

3. Rodillos (sin sujeción): los rodí-

llos de entrenamiento sin sujeción son utilizados por profesionales, y exigen unas altas dotes de equilibrio por parte del usuario, produciéndose frecuentes accidentes y caídas en cuanto se pierde un poco la concentración.

Tampoco permiten regular el esfuerzo. El equilibrio crítico, también nos condiciona la posibilidad de pedalear de pie, balanceando la bicicleta, y de realizar ningún tipo de sprint, etc.

Así pues, pasamos de sistemas estables pero totalmente estáticos, a un ejercicio en el cual su extrema inestabilidad lo convierte en difícil de utilizar, (estático en lo tocante a esfuerzos), ya que cualquier variación súbita de esfuerzo, trayectoria o verticalidad, nos arrojarían con nuestra bicicleta al suelo.

## Objetivos iniciales

Las prestaciones buscadas son:

- Seguridad total de uso para todo tipo de personas.
- Sensación igual a la rodadura en uso cotidiano de la bicicleta.
- Periodo de aprendizaje reducido a minutos.
- Configurable de forma continua según las necesidades de propiocepción del usuario.
- Versatilidad de aplicación (entrenamiento, medicina, enseñanza etc.)

## Desarrollo

En TMY Ingeniería, conscientes de los puntos mencionados, iniciamos el desarrollo de un sistema totalmente dinámico y regulable, tanto en lo tocante a equilibrio como en lo relativo a esfuerzos realizable por el usuario.

La idea inicial ya la teníamos. Pero su materialización nos hizo recorrer un largo camino. El citado camino se recorrió por orden; formando una cadena con todos los eslabones críticos, ya que si falla uno de ellos falla todo el conjunto.

## Anclaje a la bicicleta

Desde el principio la intuición, nuestros conocimientos y experiencia nos llevaron a la caja pedalier.

Tomando como base de partida el binomio bicicleta-ciclista como una unidad, comprobamos que su centro de gravedad está muy próximo a la vertical de la caja. Por lo tanto las fuerzas que se pondrán en juego serán originadas a poca distancia, y los momentos originados serán pequeños.

Esto se puede entender fácilmente si nos fijamos en un esquiador que va sujeto por las botas, o bien un equilibrista en su

monociclo. Puesto que el movimiento y la sensación perseguida son muy similares no se dudó: la caja pedalier.

Los hechos demostraron que la elección era acertada: ha sido el único punto que no se ha cambiado a lo largo del desarrollo.

## Grados de libertad

Ya tenemos la bicicleta sujetada. Sí pero ¿cómo la sujetamos?

Un sólido rígido tiene seis grados de libertad en el espacio. Al moverse la bicicleta en un plano se eliminan dos (grados): traslación vertical y giro de cabeceo. Por lo tanto nos quedan 4. Otro queda eliminado al ser un banco fijo: la traslación adelante-atrás.

Reducidos los grados de libertad a 3 se realizó el primer prototipo que solo permitía el movimiento perseguido de balanceo, basando su control en mantener la bicicleta centrada en su posición inicial y paralela.

La evaluación fue muy rápida. Los neumáticos hacían unos ruidos delatadores, avisando que se generaban fuerzas contrapuestas que confirmaban que era necesario buscar otra solución ya que resultaba imposible mantenerse en equilibrio. La sensación era de inestabilidad.

La conclusión fue la de permitir moverse más de izquierda a derecha.

Varios intentos en ese sentido nos animaban a seguir, puesto que las mejoras resultaban evidentes: nos acercábamos, pero faltaba bastante camino. Los ruidos eran mucho menores pero seguían existiendo.

No vamos a extendernos más. El punto final se alcanzó actuando únicamente en el balanceo, giro a derecha e izquierda respecto a la línea que une los puntos de contacto de las dos ruedas. Además de, obviamente, fijar la posición relativa de la bicicleta en la dirección de la marcha respecto al armazón del banco.

En resumen: de los 4 movimientos posibles se permiten la traslación lateral, el giro respecto del eje vertical y el balanceo respecto del eje horizontal de izquierda a derecha.

## Rigideces

Paralelamente al trabajo del apartado anterior se tenía que configurar la rigidez del elemento de control de cada movimiento.

Dado que estamos trabajando con sensaciones (propiocepción) los cálculos nos iban a servir de poco, siendo más importante el trabajo de laboratorio, opiniones de expertos en los diferentes campos



Figura 1. Dos tipos de máquinas de pedalear de diferente sofisticación.

(médicos, monitores deportivos, ciclistas, etc.) sin olvidarnos de nuestras propias sensaciones a los mandos de los distintos prototipos.

Tras los primeros y prudentes intentos con silent-blocks muy flexibles, conseguimos la rigidez suficiente para que la bicicleta se sostenga vertical cuando está sola.

Tal como parecía previsible la ayuda que proporciona para mantener el equilibrio no se aprecia una vez en marcha, obteniendo como sensación la libertad de movimiento.

#### Cinemática

En este aspecto los cambios han sido grandes.

Como se ha citado ya el concepto inicial no se parece en nada al actual. El primero que funcionó produce una sensación extraña. Esto se debe a la variación del punto de contacto de las ruedas sobre el rodillo cuando se usa la traslación lateral. El movimiento circular del brazo principal es el responsable; es el efecto del coseno del ángulo. Al girar lleva la bicicleta hacia atrás.

La sensación producida es realmente extraña. Parece como si alguien te cogiera por el sillín y tirara hacia atrás cuando se separa la bicicleta de las proximidades del centro de la trayectoria en los rodillos.

Dado que no se puede alargar el brazo hasta el infinito para eliminar el coseno y como todos sabemos una recta es un circunferencia de radio infinito. La opción escogida es la de guías rectas.

Con las guías lineales este efecto queda suprimido y el punto de contacto permanece en la generatriz del rodillo. Esta sensación si es real por lo tanto esta es la configuración definitiva.

#### Apoyos arranque

Se diseñó la estructura del tubo del conjunto de modo que ofreciera una superficie de apoyo al pie a una altura cómoda y una sensación de seguridad total al usuario.

Su dimensión se obtuvo como compromiso entre la comodidad del apoyo, la seguridad y la no interferencia con el movimiento de los pedales.

Las pruebas posteriores demostraron que tanto el diseño como su dimensionamiento eran buenos.

#### Resultados

El banco de entrenamiento desarrollado por el equipo de TMY, posee la estabilidad suficiente para realizar todo tipo de esfuerzos súbitos, totalmente regulables, a la par que unidos a la flexibilidad necesaria para que el ejercicio se parezca a la circulación por carretera, con esfuerzos variables, ejercitando equilibrio, conducción, pedaleando de pie, balanceando la bicicleta, tal como se hace subiendo un puente, en un sprint, etc., todo ello con una seguridad total, resultando prácticamente imposible la caída del usuario, gracias a un anclaje elástico y seguro.

La seguridad ha sido en todo momento la premisa fundamental en el diseño. Cualquier modificación considerada ha resultado inmediatamente desechada por nosotros si existía la mínima posibilidad de accidente.

El sistema se mantiene estable en su posición sobre los rodillos gracias a un anclaje que sujetla la bicicleta por el eje pedalier, donde los esfuerzos afectados al cuadro son menores, (evitando así toda posibilidad de deformaciones por sobre-esfuerzos), tal como ocurre en las sujetaciones de horquilla delantera o trasera,



Figura 3. Banco de tres rodillos libres.

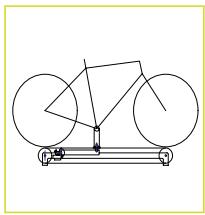


Figura 4. Esquema inicial del diseño.

puntos del cuadro que no están calculados para ese tipo de solicitudes.

El citado anclaje, al tiempo que impide el desplazamiento frontal, o caída del usuario, permite el desplazamiento transversal, a la vez que el balanceo de la bicicleta, convirtiendo al sistema en un simulador de movimiento, en el cual se pueden realizar prácticamente todos los ejercicios habituales en la circulación por carretera, con una seguridad total para el usuario, sea éste profesional o aficionado.

Partiendo del anclaje por el eje pedalier desarrollamos distintos tipos de sujeción, que mantenían la bicicleta apoyada en la vertical de los rodillos, pero los pequeños desplazamientos en el sentido de marcha, conferían al sistema una inestabilidad indeseada, al tiempo que resultaba excesivamente complicado, y por consiguiente caro, para su posterior fabricación en serie.

Tras varios prototipos, y las siguientes simplificaciones y mejoras, hemos colocado el anclaje apoyado sobre dos guías transversales de movimiento libre, que impiden todo desplazamiento longitudinal, manteniendo estable la verticalidad del punto de tangencia de las ruedas sobre los rodillos.

La citada verticalidad (del punto de tangencia), resulta indispensable para conferir estabilidad al sistema y permitir que el usuario monte en su bicicleta, mientras realiza sus ejercicios de pedaleo sobre ella. Posee un anclaje con la elasticidad suficiente para permitirnos el

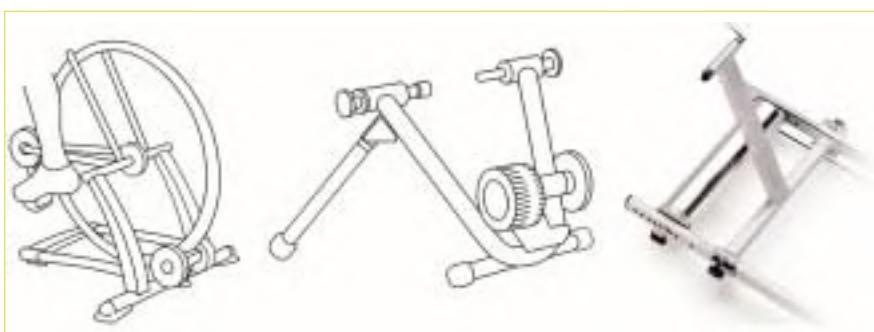


Figura 2. Distintos tipos de soportes de horquilla.



Figura 5. Anclaje inicial.



Figura 6. Prototipo actual.

balanceo de la bicicleta respecto a él, y por tanto, respecto al punto de contacto de las ruedas con los rodillos (exactamente igual que ocurre con las ruedas respecto al asfalto). Esto, unido al desplazamiento transversal respecto a la marcha, nos permite una simulación de marcha real con la rigidez suficiente para impedir la caída del usuario.

La sujeción de la bicicleta al soporte nos posibilita, aparte de la realización

de ejercicios bruscos con total seguridad, la utilización de sistemas de motor-freno actuando sobre el rodillo trasero, a fin de regular el esfuerzo, con todas las posibilidades de los sistemas estáticos de entrenamiento, rutas, competición, etc.

El diseño del aparato nos permite colocar el motor-freno dentro del rodillo trasero, con la consiguiente limpieza estética de diseño para el sistema.



Figura 7: Los señores Luis Saracho, Juan Carlos Villamor y Jacobo Múgica (de derecha a izquierda) en las dependencias colegiales.

Asimismo, monitorizando adecuadamente el sistema elástico, y dotándole de los servomecanismos pertinentes, se pueden simular todo tipo de incidencias, con efecto real en el equilibrio del usuario, tales como terreno irregular, baches, vientos laterales, etc. Tal como se observa, se trata de un sistema totalmente abierto a todo tipo de monitorizaciones, simulaciones, distorsiones, y demás eventos deseables por el usuario.

El diseño también se encuentra abierto a la posibilidad de modificaciones, tales como la sustitución de los rodillos por una cinta similar a las que se utilizan para andar, aumentando con ello la sensación de equilibrio para usuarios con problemas de vértigo, inestabilidad u otros condicionantes por el estilo.

El Prototipo se presentó el día 2 de mayo de 2003 en el Colegio de Ingenieros Técnicos Industriales y contó con la presencia de distintas personalidades del sector de la bicicleta, como el señor Alberto Aldasoro y técnicos de Exercicle.

### Conclusiones

Sus campos de utilización son múltiples, encontrándose en primer lugar una aplicación práctica para calentamiento de ciclistas antes de una etapa, dado su pequeño peso y facilidad de transporte, unidos a su sencillez de manejo, seguridad y simulación real del ejercicio a realizar posteriormente en carretera o circuito.

Este simulador reúne las características que demanda el aficionado, es decir, seguridad, fácil uso, fácil almacenamiento, bajo precio de compra y un sistema de enganche rápido, sencillo y nada agresivo para la bicicleta.

En los gimnasios su sistema se puede sofisticar, con la electrónica adecuada, tanto como se deseé. Convirtiendo al aparato en el simulador más evolucionado del mercado.

En el campo de la medicina deportiva, permite una monitorización total del usuario, para realizar estudios de cardiovasculares, de reflejos, equilibrio, etc.

Utilizando el freno como motor, puede servir para enseñar a principiantes o personas con problemas de equilibrio o memoria, congénitos o sobrevenidos por accidentes, enfermedades tipo alzheimer, etc.

En estos momentos, estamos dando los pasos oportunos para patentar un nuevo deporte basado en las expectativas abiertas por nuestro aparato y la experiencia conseguida en el largo desarrollo que nos ha llevado al resultado final.



Figura 8. Visitante probando el prototipo y diptico repartido en el stand TMY de la feria de Valencia.

Durante los días 7, 8 y 9 de mayo , y contando con la presencia del Conseller de la Generalitat Valenciana, la prensa y la televisión, se exhibió el prototipo y el público asistente a la Feria Geniápolis de Valencia pudo probarlo. Se consiguió una aceptación total por parte de todos aquellos que lo utilizaron. Aproximadamente unas 200 personas pedalearon sobre la bicicleta, comprobando lo sencillo que resulta mantener el equilibrio en el sistema, y coincidieron en su

diagnóstico: es como circular por carretera.

Dada la heterogeneidad del público concurrente a la feria, y por tanto de usuarios, sirvió como laboratorio de pruebas entre un grupo de usuarios totalmente aleatorio en lo tocante a los tres pilares fundamentales en los que se sustenta el producto que aquí presentamos:

- Seguridad total para el usuario.
- Estabilidad.
- Sensación real.



Figura 9. Bicicleta sobre el prototipo de cinta rodante.

En los tres aspectos, el diagnóstico resultó totalmente favorable, habiendo recibido diversas ofertas para lanzar al mercado el producto, encontrándonos ahora en negociaciones con diversas firmas del sector.

En la actualidad estamos llevando a cabo las pertinentes pruebas médicas en colaboración con distintos expertos en medicina deportiva, a fin de determinar con más precisión las posibilidades reales del invento en el terreno de rehabilitación, monitorización y estudio personalizado de esfuerzo-respuesta, etc., entre otras aplicaciones.

Asimismo, se ha diseñado y fabricado un nuevo prototipo sustituyendo los rodillos por una cinta continua tipo tapiz rodante, que abre el campo de aplicación del aparato a otro tipo de usos y sensaciones, más específicamente para gimnasios, instalaciones deportivas y centros de rehabilitación.

La primera impresión al usar el banco de cinta rodante se ve muy mejorada al aumentar el área de contacto y puede equiparse al pedaleo real en carretera. El tacto del manillar es mucho mas reconocible y similar al que todos hemos experimentado. La confianza que genera es total.



Figura 10. Los dos prototipos definitivos.

## AUTOR

Jacobo Múgica, Miguel  
tmy@ctv.es

Estudios de ingeniería técnica industrial en la EUIT de Vitoria-Gasteiz. Estudios de diseño de interiores en EAAOO. Trabaja como encargado de laboratorio de I+D en Solac-Telecom. Trabaja como encargado del departamento de Mantenimiento Predictivo de Brüel & Kjaer en su delegación de Vitoria-Gasteiz. Diseño, cálculo y fabricación en aluminio de practicables para televisión. Diseño y fabricación de diversos componentes de la bicicleta monobrazo modelo Next para la casa Orbea. Diseño, desarrollo y realización de prototipo del fermentador lácteo para su uso en envases convencionales (patente propia). Diseño, desarrollo y realización de prototipo de freno hidráulico viscoso regulable para aparatos de gimnasia (patente propia).