

# NUEVO SISTEMA DE ENTRENAMIENTO FÍSICO CON BANDAS ELÁSTICAS Y DINAMOMETRÍA COMPUTARIZADA *MULTIBAND®*

Álvaro Ortega Monroy<sup>1</sup>, Camilo Chamorro Rivera<sup>2</sup>, Orlando Palacio Gallego<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Profesional en deporte del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Gerente de la empresa MULTIBAND®, E-mail: alvaromanue2003@hotmail.com

<sup>2</sup> Ingeniero en instrumentación y control, Magíster en Ingeniería, énfasis en Automatización Industrial, Profesor asociado, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, E-Mail: lcchamorro@elpoli.edu.co

<sup>3</sup> Ingeniero Mecánico, Profesor asociado, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Carrera 48 N° 7-151, El Poblado - Medellín, Colombia. E-mail: ogpalacio@elpoli.edu.co

## RESUMEN

Se presenta el desarrollo de un prototipo de sistema de entrenamiento físico con bandas elásticas, denominado MULTIBAND®. Este sistema incluye el diseño de un equipo multifuncional, un dispositivo de sujeción de las bandas, y el diseño de un sistema de dinamometría computarizada, que mejora al sistema, en cuanto a la medición de las variables físicas desarrolladas durante el entrenamiento del usuario.

**Palabras claves:** Equipo de entrenamiento físico, bandas elásticas, dinamometría.

Recibido: 12 de Agosto de 2010. Aceptado: 15 de Noviembre de 2011

*Received: August 12<sup>th</sup>, 2010. Accepted: November 15<sup>th</sup>, 2011*

## A NEW PHYSICAL TRAINING SYSTEM WITH ELASTIC BANDS AND COMPUTERIZED DYNAMOMETRY. *MULTIBAND®*

## ABSTRACT

*This article presents the industrial design of a system of physical training with elastic bands, called MULTIBAND®. This system includes the design of a multifunction device, a fixture of the bands, and the design of a system of computerized dynamometry, that improve the system with respect to the measurement of physical variables developed during user training.*

**Keywords:** Fitness system, elastic bands, dynamometry.

## 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo fue diseñar un equipo de entrenamiento físico que mejorara la utilización de las bandas elásticas, con un equipo multifuncional, es decir que permita realizar varios gestos típicos de máquinas y equipos tradicionales, y que permite trabajar con varios usuarios a la vez, diseñado para todo tipo población, de todas edades y género, con uso en rehabilitación y discapacidad.

Adicionalmente se diseñó un sistema computarizado que permite medir en tiempo real las fuerzas realizadas en los gestos. Este sistema también debe servir de plataforma de investigación para trabajos futuros en esta área.

El trabajo se dividió en tres partes:

- Diseño de los dispositivos de sujeción para los elásticos.
- Diseño industrial del equipo.
- Diseño del sistema computarizado de medición de fuerza.

### ANTECEDENTES

Normalmente algunos dispositivos de sujeción existentes son de baja calidad, con materiales de bajas resistencias mecánicas y desechables (figura 1). Por ejemplo, se utilizan plásticos y cauchos.

En el dispositivo mostrado en la figura 2, la forma de sujeción no es segura tanto para el usuario como para el dispositivo mismo.



Fig. 1. Dispositivo de sujeción. Tomada de: [www.mypipeline.com](http://www.mypipeline.com)



Fig. 2. Dispositivo de sujeción. Tomada de: [www.logicalfitness.com](http://www.logicalfitness.com)

Los equipos de entrenamiento físico existentes no utilizan bandas elásticas para generar resistencia. Normalmente utilizan pesas (figura 3), cables, poleas (figura 4), correas (figura 5), resortes metálicos (figura 6), cilindros neumáticos (figura 7) o varas elásticas, como de carbón (figura 8).



Fig. 3. Equipo convencional de Pesas



Fig. 4. Equipo *Kinesis*. Tomada de: [www.technogym.com](http://www.technogym.com)



Fig. 5. Equipo TRX. Tomada de: [www.fitnessanywhere.com](http://www.fitnessanywhere.com)



Fig. 6. Equipo Pilates. Tomada de: [www.xtendpilates.com](http://www.xtendpilates.com)



Fig. 7. Equipo Curves. Tomada de: [www.curves.com](http://www.curves.com)



Fig. 8. Equipo BowFlex. Tomada de: [www.bowflex.com](http://www.bowflex.com)

En los equipos convencionales no se mide en todo momento la fuerza de los gestos, sino que se determina a partir de valor máximo de fuerza que el usuario puede realizar. Por ejemplo en sistemas de pesas, el usuario escoge cuanto peso puede levantar y coloca esta cantidad de peso. Se pretende que la fuerza se pueda medir en todo momento.

Existen prototipos de algunos equipos que utilizan computadores para medir y regular la resistencia mecánica que el usuario debe realizar, como el equipo mostado en la figura 9 [1].

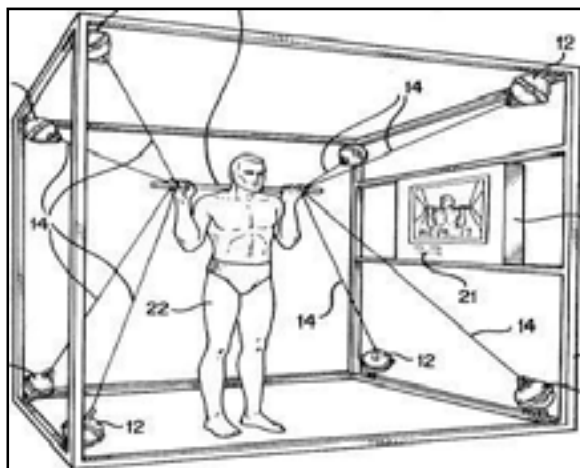


Fig. 9. Prototipo equipo Fitness computarizado [1].

## 2. DISEÑO DEL SISTEMA MULTIBAND®

Este es un diseño de adaptación tecnológica aplicada que recoge las teorías del trabajo con elásticos y que integra diferentes modalidades de entrenamiento para diseñar un solo sistema integral MULTIBAND®, con el fin de aplicarlo en todo tipo de usuarios.

Por la naturaleza del proyecto en el que se monitorea continuamente la fuerza del usuario, se seleccionó como elementos generadores de resistencia, las bandas y tubos elásticos, en lugar elementos convencionales como pesas y resortes. Estos elementos son más fáciles de transportar y de manipular reduciendo el riesgo de lesiones en los usuarios y porque además de su uso clásico en fisioterapia pueden usarse también en entrenamiento físico de alto nivel.

Comercialmente los elásticos vienen diferenciados por grados de resistencia según un código de colores, permitiendo cambiar de color cuando se requiera, sin necesidad de sumar mas bandas para aumentar la resistencia.

Por ejemplo, en la tabla 1 se muestra la relación entre el estiramiento y la resistencia generada para bandas elásticas [2].

Tabla 1. Resistencia en kilogramos-fuerza para el estiramiento de una banda.

Estiramiento	Amarilla	Roja	Verde	Azul	Negra	Plateada	Dorada
50 %	0.8	1.2	1.5	2.1	2.9	3.9	6.3
100 %	1.3	1.8	2.3	3.2	4.4	6.0	9.8
150 %	1.8	2.2	3.0	4.1	5.6	7.8	12.5
200 %	2.2	2.7	3.6	5.0	6.7	9.5	15.2
250 %	2.6	3.2	4.4	6.0	8.0	11.5	18.2

### 2.1 Dispositivos de agarre para los elásticos

Se pretende poder usar los elásticos para trabajarlos técnica, cómoda y adecuadamente. Este diseño permite trabajar con resistencias tanto altas como bajas. Técnicamente significa que no se pliega (arruga) transversalmente cuando se hace elongación, manteniendo el mismo ancho de la banda. Estos dispositivos si se requiere, permiten aumentar la resistencia a través de la colocación de bandas en paralelo. En las figuras 10 y 12 se muestra el dispositivo diseñado para bandas elásticas, y en las figuras 11 y 12 para tubos elásticos.

El agarre de las bandas consta de una platina de acero inoxidable y una barra en duraluminio que es la que permite pisar o sujetar el elástico y de esta forma poder aumentar la resistencia.

El agarre de los tubos elásticos es un cilindro macizo de duraluminio con 2 perforaciones, una para el tubo elástico y otra para el mosquetón, con un tubo de acero inoxidable que recubre el cilindro.



Fig. 10. Dispositivo de sujeción diseñado, para banda elástica, marca MULTIBAND®.



Fig. 11. Dispositivo de sujeción diseñado, para tubo elástico, marca MULTIBAND®



Fig. 12. Dispositivos de sujeción diseñados, marca MULTIBAND®. Detalle de sujeción manual.

## 2.2 Implementación industrial del equipo

Se requiere un equipo mecánicamente resistente, estético, confortable y multifuncional. También es necesario en la realización de la actividad física contar con una medición continua y confiable de la fuerza. “Una buena medida es necesaria para realizar un buen diagnóstico y para evaluar el trabajo que se realiza” [3].

El diseño del equipo MULTIBAND® está compuesto por una estructura en hierro que va fijada a la pared, con 16 pernos dando una resistencia de tracción de 100 kilogramos-fuerza. En la figura 13 se aprecia este diseño.

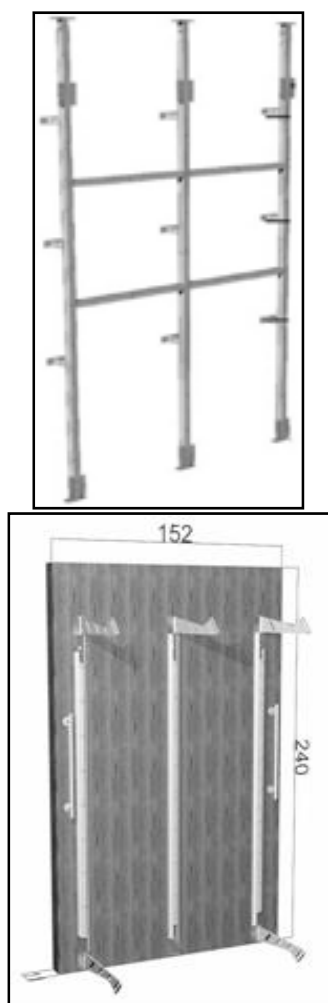


Fig. 13. Diseño del equipo MULTIBAND®

Esta estructura está diseñada para adherir a ella cinco brazos en acero inoxidable, cada uno de ellos con cinco perforaciones. Tres de los cinco brazos están ubicados en la parte superior, y permiten

realizar ejercicios clásicos como: tríceps, espalda, hombro, lateral oblicuo, reemplazando así las poleas altas. Los otros dos brazos están ubicados en la parte inferior, y permiten realizar ejercicios básicos de: bíceps, glúteo, espalda, hombro, trapecio, sentadilla, cuádriceps, aductores, abductores, izquiotibiales, pantorrilla, lateral oblicuo.

También tiene cuatro platinas en la parte frontal que permiten realizar ejercicios como: bíceps, glúteo, tríceps, abdomen, musculatura de cuello, pecho, antebrazo y espalda. Adicionalmente, tiene dos apoyos y un espaldar con silla, que adherida a ella tiene otros dos apoyos.

Complementa este sistema una silla con 2 brazos que permite realizar ejercicios en posición sentada.

Cubriendo la estructura metálica, lleva un panel de madera enmallado en roble natural adherida a la estructura, y ocho regletas en acero inoxidable con marcación en números, que permite identificar puntos de enganche para el desarrollo del ejercicio.

Se le incorporó al panel de madera, en la parte superior de la silla, un computador de pantalla táctil que por medio de un programa de computador permite medir la fuerza producida por la elongación de los elásticos, como se aprecia en la figura 14.



Fig. 14. Diseño del equipo MULTIBAND®

### 2.3 Diseño del sistema de medición de fuerza (dinamometría computarizada)

Partiendo del concepto de que la fuerza aplicada por un usuario "es el resultado de la acción muscular sobre las resistencias externas" [3], se opta por un sistema práctico para crear las resistencias como son los elásticos, por una parte y por otra parte, se ve también la necesidad de medir la fuerza ejercida de forma continua y confiable, para lo cual se diseña un sistema de dinamometría basado en computador.

#### Sensor del sistema de medición de fuerza

Dentro de los sistemas para la medición de fuerza, se optó por un medidor moderno basado en celdas de carga, las cuales, tienen una gran aplicación en diversos procesos. Se encontraron aplicaciones por ejemplo en investigaciones sobre la medición del Módulo de Young en el hule [4], en el campo de resistencia de materiales para obras civiles [5 y 6], en la medición y control de fuerza en robots [7], en el diseño de una plataforma para la valoración de los trastornos de equilibrio en personas [8], en la biomecánica aplicada al tejo como disciplina deportiva [9] y en innumerables procesos industriales, como para la determinación del peso en tanques, tolvas, silos, y en básculas, entre otras.

Basados en estos antecedentes y debido a las buenas características de instrumentación: exactitud, precisión, resolución, linealidad y resistencia mecánica, comprobadas en estas aplicaciones y por los mismos fabricantes, se optó por seleccionar las celdas de carga, como los mejores sensores a utilizar en el presente proyecto para la transmisión y medición de fuerza.

Una celda de carga se compone de un elemento metálico elástico dentro del cual están insertadas varias galgas extensiométricas conectadas en forma de puente de Wheatstone (circuito especial de resistencias eléctricas). Al aplicarse una fuerza externa se deforma el elemento, produciéndose una variación en la resistencia del circuito eléctrico formado por las galgas, generando a su vez una señal eléctrica proporcional a la deformación producida. Las celdas de carga comercialmente vienen en una gran variedad de presentaciones. [10]. Para el proyecto se usa una presentación tipo S, debido a que en ésta aplicación se mide fuerza de tensión, y este tipo tiene un bajo costo comercial. En la figura 15 se observa la celda de carga y su forma de uso.

#### Partes componentes del sistema de dinamometría:

Ocho sensores de fuerza, para trabajo con más de una persona a la vez, principio de medición: celda de carga con *strain gauges* (galgas extensiométricas), tipo: S, señal análoga de 0 a 2 milivoltios por voltio, alimentación de 5 voltios DC.

Una tarjeta de adquisición de datos [11], referencia P-TAS S01, con su cable y conector: Ocho entradas análogas de 10 bits hasta 25kS/s, 2 salidas análogas, 15 líneas digitales TTL (8 entradas, 7 salidas), USB 2.0 Full speed.

Un circuito de acondicionamiento de las señales de voltaje enviadas por los sensores. Esta contiene fuente, filtros y amplificadores de instrumentación, ya que las señales son de bajo voltaje y muy inmunes al ruido eléctrico.

Un computador integrado de buenas características de funcionamiento (memoria RAM, disco duro, procesador, etc.), con pantalla táctil integrada. Debido a la pantalla táctil no se requiere de periféricos como teclado y mouse.



Fig. 15. Sensor del Sistema de Medición de fuerza

Para el sistema de adquisición de datos se utiliza una tarjeta electrónica con la cantidad de entradas necesarias y que cumpla con las exigencias de velocidad de adquisición mínimas para procesar, en tiempo real, el programa de medición de fuerza.

Las exigencias para el computador principalmente son la velocidad de procesamiento y de comunicación con el sistema de adquisición de datos, por lo que un computador moderno es suficiente.

El programa de computador es diseñado en un lenguaje de programación gráfico que permite la indicación y el registro en tiempo real de la fuerza ejercida por los usuarios. Además tiene alarmas programables de sobrecarga de los elásticos que avisa con sonidos cuando se ha llegado a estos umbrales, con el fin de proteger los elásticos y al usuario de alguna lesión. La presentación del programa tiene una interface amigable al usuario, como se aprecia en la figura 16.

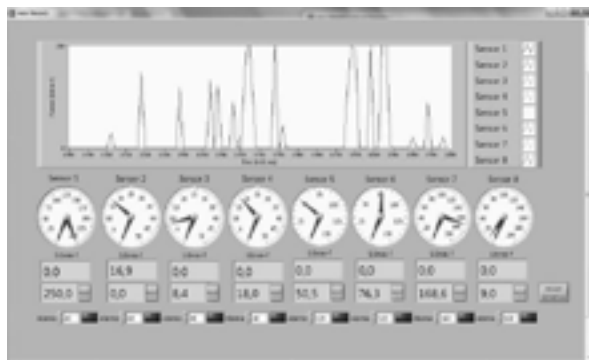


Fig. 16. Interfaz grafica del software de medición de fuerza

### 3. CONCLUSIONES

El sistema diseñado cumple con los objetivos propuestos, es decir, es multifuncional y multiusuario, para uso con todas las edades y para diferentes géneros.

Durante el uso posterior a la implementación del sistema MULTIBAND®, por diferentes usuarios, se observó que los dispositivos de sujeción diseñados mejoraron la utilización de bandas elásticas, en cuanto a manejo técnico y la posibilidad de poder trabajar con resistencias más altas.

El equipo es multifuncional porque se puede hacer la mayoría de los ejercicios que normalmente se realizan en las máquinas tradicionales y es multiusuario porque según el diseño pueden trabajar varias personas al mismo tiempo, de diferentes edades y género.

El sistema se puede usar con discapacitados y pacientes en rehabilitación, como se observa en la figura 17.

El diseño del sistema de dinamometría permite realizar la medición de fuerza, en tiempo real, con una buena exactitud según la calibración de los sensores de fuerza.

Debido a los materiales seleccionados en los diseños se garantiza una mayor duración de los dispositivos, sin que haya necesidad de hacerle un mantenimiento continuo.

MULTIBAND® requiere menos espacio que algunos equipos tradicionales, por ende menos inversión económica.



Fig. 17. Uso en rehabilitación y discapacidad

Según el funcionamiento del sistema se puede demostrar que es posible lograr con bandas elásticas lo que siempre se ha hecho con sistemas tradicionales.

Cuando se invierte en equipos de entrenamiento físico tradicionales hay que tener un equipo por cada grupo muscular que se desee desarrollar. El sistema MULTIBAND® puede ser mas económico, en tanto, reemplaza la mayoría de equipos tradicionales.

#### 4. TRABAJOS FUTUROS

Este sistema se convierte en una plataforma para el desarrollo e implementación de otras aplicaciones futuras, por ejemplo:

Diseño de equipo para trabajo con discapacitados en silla de ruedas, investigaciones comparativas con sistemas tradicionales, inclusión de otras funciones complementarias por programas de computador, como medición de frecuencia cardíaca, electrocardiografía (ECG), espirometría y otros.

Tener indicación de series y repeticiones, visualización de los gestos con la cámara Web, y sonido de aumento de fuerza. Evaluar la potencia de cada gesto y disponer de históricos de sus valores, por ejemplo para la selección de deportistas talentosos. Programar rendimientos del ejercicio realizado y mantener datos acumulados para cada usuario según las rutinas de su proceso de entrenamiento. Establecer los perfiles y rendimientos de los usuarios y presentar seguimiento del progreso de los parámetros de fuerza y potencia.

Diseñar un sistema inalámbrico (wireless) para los sensores de fuerza.

Mayor información relacionada con MULTIBAND®, en el sitio Web:  
<http://multibandequipos.blogspot.com>.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

El autor principal agradece al profesor Juan Cancio Arcila, del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid (PCJIC), por la asesoría técnica en el desarrollo del trabajo de grado. Los autores agradecen en el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid a Juan Fernando Ruiz, decano de la Facultad de Educación Física, Recreación y Deporte, a Libardo Antonio Londoño Ciro, decano de la Facultad de Ingenierías, y a la decanatura de la Facultad de Comunicaciones, por el apoyo que brindaron a este trabajo. También se agradece a las instituciones *INTERACTUAR*, *CULTURA E* y *Parque del Emprendimiento*, por el acompañamiento y asesoría en el plan de negocios, y a todas las personas que de una u otra manera han aportado al desarrollo de este proyecto.

#### 6. REFERENCIAS

- [1] Harvey William B., Computerized Exercise System and Method, 2001, United States, Patente N° US 6,280,361 B1. Disponible en: <http://www.uspto.gov>. [Consultado en Febrero de 2011].
- [2] Fit con la BANDA ELÁSTICA. Disponible en: <http://www.thera-band.com/instructions.php> [Consultado en Agosto de 2011].
- [3] Chicharro, J. Fernández V., A. Fisiología del Ejercicio Físico. Editorial Médica Panamericana, 3° ed, 2006, Madrid. ISBN 84-7903-983-3.
- [4] Rayas, J.A, Rodríguez-Vera, R y Martínez, A. "Medición del módulo de Young en el hule látex usando ESPI". Artículo: en A.C. Revista Mexicana de Física N°49 Centro de Investigaciones de Óptica. México. Diciembre, 2003. pp. 555-564.
- [5] Cordero, Mariela, Martel, José E, Benito, Raúl D y Danesi, Rodolfo F. "Efectos de la corrosión en elementos de hormigón pretensado". Artículo del Laboratorio de Estructuras, Universidad Nacional de Tucumán. Mendoza, Argentina. Septiembre 1.999.
- [6] Flores Castellón, O, Gómez Rosas, E y Romo Organista, "Instrumentación y automatización del equipo triaxial cíclico MTS". Artículo del Instituto de Ingeniería, DEPI-UNAM. México, 2008.
- [7] Lizcano Gómez, Ricardo, Puentes Gómez, Juan Carlos y Valenzuela Sabogal, Camilo Andrés. Trabajo de grado: "Control para un robot articulado con tres grados de libertad que simule el movimiento de pata". Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C. Facultad de Ingeniería Programa de Ingeniería Electrónica, 2005.
- [8] Bellini, Bruno. "Sensores de presión utilizados en las plataformas de fuerza aplicadas al estudio de la posturografía". Artículo: En la Universidad de la República. Núcleo de Ingeniería Biomédica. Facultades de Medicina e Ingeniería, 2009.
- [9] García Guamaán, Sully L. y Medina Urquiza, Mario D. Proyecto de grado: "Automatización de una máquina laminadora de sacos de polipropileno" Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Quito (Ecuador) Junio de 2009.
- [10] Celdas de Carga WIM (Sensores de peso). Disponible en: <http://www.wim-systems.com/celdas-de-carga.html>. [Consultado en Julio de 2011].
- [11] Adquisición de Datos. Disponible en: <http://sites.google.com/site/controlpoli2/hardware>. [Consultado en Agosto de 2011].