

# CUADERNOS DE INVESTIGACIÓN EN LA INGENIERÍA

VOL I 2017

“AVANCES EN EL ÁREA DE MATERIALES  
Y SUS PROCESOS”

**Editores:**

*José E. Crespo Amorós*

*Antonio V. Nadal Gisbert*

*David Juárez Varón*



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

Ingeniería y Tecnología





# **CUADERNOS DE INVESTIGACIÓN EN LA INGENIERÍA**

**VOL I 2017**

**“AVANCES EN EL ÁREA DE  
MATERIALES Y SUS PROCESOS”**

Editores:

José E. Crespo Amorós  
Antonio V. Nadal Gisbert  
David Juárez Varón



**Editorial Área de Innovación y Desarrollo, S.L**

Quedan todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida, distribuida, comunicada públicamente o utilizada, total o parcialmente, sin previa autorización.

© del texto: **los autores**

ÁREA DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO, S.L.

C/ Els Alzamora, 17 - 03802 - ALCOY (ALICANTE) [info@3ciencias.com](mailto:info@3ciencias.com)

Primera edición: **diciembre 2017**

ISBN: **978-84-947995-9-4**

DOI: <http://dx.doi.org/10.17993/IngyTec.2018.27>

## Índice

### **Metodologías para la determinación de la superficie específica en materiales granulares**

A.V. Nadal-Gisbert, T.V. Esquerdo-Lloret, P. Micó, J.E. Crespo.....7

### **Formatos gráficos más usuales de resultados de eye tracking en neuromarketing. Caso de estudio: juguete infantil educacional. Parte 1: usuario individual**

D. Juárez, V. Tur-Viñes, A. Mengual.....15

### **Formatos gráficos más usuales de resultados de eye tracking en neuromarketing. Caso de estudio: juguete infantil educacional. Parte 2: muestra representativa**

D. Juárez, V. Tur-Viñes, A. Mengual.....27

### **Influencia de la radiación UV en pigmentos termocrómicos y fosforescentes insertados en gel coat de poliéster aditivado con absorbente de radiación UV**

F. Muñoz Martí, J.E. Crespo, S. Girones, J. Gisbert, A.V. Nadal Gisbert.....39

### **Métodos dinámicos para la obtención del módulo de elasticidad en Eco – Composites**

J. Fontoba Ferrándiz, J.E. Crespo, F. Parres García, A.V. Nadal Gisbert .....47

**Diferencias entre la soldadura producida por alta frecuencia y la soldadura láser, en materiales de acero inoxidable destinados a los sistemas de escape**

J. Paralera, J.E. Crespo, F. Parres, A. V. Nadal Gisbert.....55

**Análisis de la cinemática del pedaleo de un ciclista**

M. Spinelli, S. Sanchez-Caballero, M. A. Selles, J.E. Crespo  
.....67

**Caracterización de PVC con nanocargas de carbono**

M.D. Samper, D. Garcia-Garcia, M. Aldas, A. Carbonell-Verdu, J.M. Ferri.....113

## **“Metodologías para la determinación de la superficie específica en materiales granulares”**

**A.V. Nadal-Gisbert <sup>(1)\*</sup>, T.V. Esquerdo-Lloret <sup>(1)</sup>, P. Micó <sup>(2)</sup>,  
J.E. Crespo <sup>(1)</sup>**

*(1) Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales,  
Escuela Politécnica Superior de Alcoy, Universitat Politècnica de València  
Plaza Ferrándiz y Carbonell, 1 03801 Alcoy (Alicante)*

*(2) Departament d'Informàtica de Sistemes i Computador,  
Escuela Politécnica Superior de Alcoy, Universitat Politècnica de València  
Plaza Ferrándiz y Carbonell, 1 03801 Alcoy (Alicante)*

### **RESUMEN**

*Los materiales industriales disponen de porosidad interna. Para caracterizar los materiales, la estructura interna del material está determinada por la porosidad. Es uno de los parámetros que caracterizan la estructura interna de un material, lo que favorece su capacidad para la succión de compuestos líquidos, densidad del producto final, resistencia mecánica, absorción acústica y/o térmica entre otras. Otro parámetro que define el comportamiento de un material es la tortuosidad. Por otro lado, el área interna expuesta al flujo y la tortuosidad dependen hasta cierto punto de la porosidad. En este artículo se describen diversas técnicas teóricas y experimentales que pueden emplearse para cuantificar de forma aproximada el área interior específica de un material. Una de sus aplicaciones posibles es la generación de modelos de adhesión y la capacidad de absorción de fluidos o atenuación acústica.*

---

\* Contacto: A.V. Nadal-Gisbert; Tel. 966528478; e-mail: anadal@mcm.upv.es

## INTRODUCCION

Existen diferentes metodologías para la determinación de la superficie específica en productos con porosidad abierta. Entre los teóricos se puede emplear el modelo de esferas rígidas, mientras que entre los experimentales encontramos aquellos que están relacionados con parámetros de porosidad y tortuosidad de un sólido y los métodos de análisis mediante el procesado y tratamiento de imagen. La técnica más sencilla para los grupos de investigación que no disponen de equipamiento técnico específico en laboratorio, ya que son muy costosos, es el modelo de esferas rígidas y las consideraciones sobre el factor de empaquetamiento, recurriendo al modelo clásico de estructuras cristalinas [1].

Nuestra experiencia en la elaboración de materiales para absorción acústica nos indica que la porosidad [2] es un parámetro que pueden tomarse como punto de partida para la elaboración de un modelo de adhesión. La porosidad  $\phi$  representa el volumen de aire  $V_a$  retenido en los huecos del material con respecto al volumen total del material  $V_T$ , considerando el volumen de la estructura del material  $V_e$ :

$$\phi = \frac{V_a}{V_T} = \frac{V_a}{V_a + V_e}$$

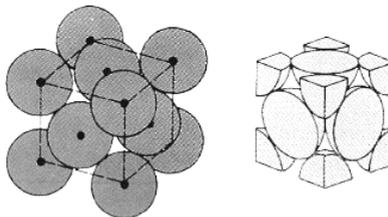
Sin embargo, las prestaciones de absorción de un material con porosidad abierta se basan en el área interna expuesta en contacto directo con el fluido en que está inmerso. En este sentido, la medición de esta superficie no resulta sencilla ya que no se puede acceder a la red porosa interna y el empleo de técnicas intrusivas con gases (picnómetros) tan solo proporcionan información del volumen interno y con cierto error producidos por la imposibilidad de que el gas acceda a todo el volumen interno: huecos intermoleculares (intrapartículas) no cubiertos por el gas o generación de volúmenes aire que queda atrapado en conductos cerrados, entre otros. Estos efectos son producidos ya que no se

puede generar el vacío necesario con el picnómetro antes de la intrusión del gas. En ocasiones es necesario recurrir a ensayos destructivos. Para evitar estas limitaciones, se requieren otras técnicas que proporcionen información sobre este parámetro y que puedan ser aplicadas de un modo más sencillo y rápido, a la vez que no requiera equipamiento caro o inaccesible para los grupos de investigación. La porosidad se puede determinar mediante diversas técnicas experimentales: a) intrusión de helio o mercurio con picnómetro [2]; b) métodos acústicos con ultrasonidos [3]; c) métodos másicos en baja y alta presión [4]; 4.- técnicas con saturación de agua [5] y d) métodos volumétricos [6]. En esta comunicación se propone la aplicación de diversas metodologías: i) modelos matemáticos basados en esferas simples bidimensionales y tridimensionales (scáner 2D y 3D), ii) ensayos experimentales y iii) técnicas de análisis de visión por computador VxC [7] y tratamiento de imagen con software.

## MÉTODOS

### Modelo matemático de esferas rígidas.

Considerando un caso ideal para un modelo formado por esferas rígidas ordenado en una estructura compacta como la indicada en la figura 1.



**Figura 1.** Modelo de esferas rígidas

Si se observa la imagen se puede observar que en un volumen determinado  $V$  ( $a^3$ ), siendo  $a$  la distancia basal entre dos esferas, existen 4 esferas en el interior del cubo. Con esto se puede determinar el volumen ocupado por los huecos y el volumen total. Para plantear el volumen para ocupar por el adhesivo, con  $r$  el radio de la esfera,  $V_a$  volumen de aire (no ocupado por el material),  $V_T$  Volumen total,  $\emptyset$  porosidad,  $V_e$  (volumen de la esfera =  $(4/3) \pi r^3$  y  $a=81/2r$ , se llega fácilmente a la conclusión que en este modelo de esferas rígidas la porosidad es:

$$\emptyset \approx 0.26$$

Si se emplea el modelo de esferas rígidas se comprueba fácilmente que la relación  $S$  (superficie),  $V$  (Volumen) es:

$$\left(\frac{S}{V}\right) \approx \left(\frac{2.22}{r}\right)$$

### Ensayo experimental

Los estudios geofísicos sugieren que en muchos materiales granulares el tamaño medio de poro y su desviación típica son parámetros importantes en la caracterización de materiales porosos. La desviación típica del tamaño de poro  $\sigma$  representa la dispersión del tamaño de poro respecto del tamaño medio y es un indicador de la distribución de los poros. La desviación estándar se puede determinar mediante un ajuste teórico de distribución del tamaño de poro obtenida a partir del método de succión de agua propuesto por Leclair et al. [8], mediante la integración de la función de densidad log-normal con la siguiente función de densidad de probabilidad:

$$FDP(\varphi) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left[\frac{(\varphi-\langle\varphi\rangle)^2}{2\sigma^2}\right]}$$

siendo  $s$  el tamaño de poro en unidades estándar obtenidas a partir del ensayo experimental.  $\varphi$  y el valor medio  $\langle \varphi \rangle$  están definidos con las expresiones

$$\varphi = -\log_2 s$$
$$\langle \varphi \rangle = -\log_2 \langle s \rangle$$



**Figura 1.** Material poroso de matriz cementicia aligerado con vermiculita obtenido en laboratorio

El método experimental consiste en determinar la cantidad de agua extraída del interior de una muestra porosa para distintas presiones hidráulicas. Los niveles de presión se determinan variando la altura  $H$  entre la cara superior de la muestra y el extremo de salida del conducto de evacuación mediante la expresión de mecánica de fluidos, con  $\rho_a$  la densidad del agua:

$$P = \rho_a gH$$

### **Técnicas de análisis de visión por computador**

Aunque las técnicas de modelado bidimensional para el caracterizado de materiales agregados han estado siempre presentes en la literatura, el error introducido por la destrucción de los nódulos al tratar de obtener muestras significativas ha hecho que, normalmente, los resultados obtenidos no sean los más adecuados [9].

En cambio, el estado actual de la tecnología permite que, mediante la aplicación de técnicas de visión por computador VxC no intrusivas, se puedan resolver en muchos de los casos los problemas de la alteración del material durante el proceso de adquisición de las muestras. La propuesta de utilizar técnicas no intrusivas de VxC para la estimación de la superficie específica en productos granulares resolvería el problema anteriormente planteado, además de resultar en un proceso experimental mucho más ajustado en el tiempo.

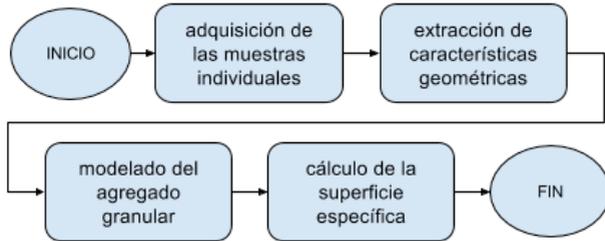
En una técnica de análisis de VxC resulta de vital importancia el trabajo realizado durante la fase de adquisición de las muestras. En ésta se obtiene una representación software de la superficie del objeto de estudio, a partir de la cual se infieren los parámetros objetivo (en este caso el de la superficie específica). Dependiendo del equipamiento utilizado para la obtención de las muestras podremos hablar de uno u otro método, pero todos ellos presentan la característica de que no modifican o destruyen el producto durante el procedimiento de adquisición.

Una vez adquirida la muestra, se procede a la etapa de extracción de características (en nuestro caso, geométricas). Esta etapa consiste en la programación y utilización de algoritmos de VxC para el preprocesado de la imagen (eliminación de ruido, suavizado y detección de bordes) y la segmentación de los componentes individuales (gránulos) identificados en la superficie del producto. En esta etapa incluimos también el modelado estadístico de la superficie, a partir de las características geométricas extraídas de los individuos identificados en la segmentación.

En la literatura existe excelente software gratuito que permite realizar de manera bastante sencilla todo este tipo de procesamiento como, por ejemplo, ImageJ [10].

En la siguiente fase se procede al cálculo de un modelo matemático basado en un volumen tridimensional que se aproxime al de los gránulos de la superficie (esferas, elipsoides...) y que mejor

se ajuste a los parámetros estadísticos de la distribución de los individuos obtenida en el paso anterior.



**Figura 1.** Diagrama de etapas propuesto para la estimación de la superficie específica de un producto granular mediante técnicas de VxC

Finalmente, y una vez obtenido el modelo software 3D de la superficie del producto, se pasaría a su cálculo efectivo. Una vez descrito el procedimiento genérico para el cálculo de la superficie específica de un producto granular mediante técnicas no intrusivas de VxC procedemos a la clasificación de estos métodos a la vista del equipamiento utilizado en la etapa de adquisición de las muestras, donde distinguimos procedimientos de adquisición (2D) y (3D).

## CONCLUSIONES

Los métodos que miden porosidad nos permiten en el caso de plantear un modelo de adhesión, aproximarnos al caso de volumen a ocupar y proporción de volúmenes a ocupar. En la metodología propuesta por Leclair, el tamaño medio de poro y su desviación estándar nos permite plantear un modelo si suponemos los poros de naturaleza esférica, lo que implica una idealización de la naturaleza del material.

La adhesión es un fenómeno que depende de la superficie y no de volumen. Sin embargo, es un proceso ligado a la relación *Superficie/Volumen*, dado que el adhesivo debe recubrir una superficie determinada dentro de un volumen de sólido. El adhesivo

forma una película cuyo espesor depende de los efectos de interfase relacionados con la naturaleza del sustrato y del adhesivo ligados a los conceptos de tensión y energía superficial.

Las hojas técnicas de los adhesivos suministran valores como densidad y viscosidad cinemática. Mediciones de valores como tensión superficial son difíciles de medir y necesitan equipos sofisticados. Un modelo matemático que nos permitiese relacionar la superficie específica de contacto, sin recurrir a medidas costosas (medidas de tensión superficial o picnometrías) sería un modelo sencillo y de bajo coste para las empresas del sector, cuyos parámetros partiesen, en el caso de adhesión de polvos, de un tamizado o bien de procesos de análisis de imagen sencillos y los datos de densidad y viscosidad cinemática.

## REFERENCIAS

- [1] Smith W.F., Principles of materials science and engineering. McGraw Hill, New York (1990).
- [2] Maderuelo, R., Barrigón y J and Gómez, V., *Eur J Wood Wood Prod*, 72, 321-330 (2014).
- [3] Umnova, O., Attenborough, K., Shin, H. y Cummings, A., *Appl Acoust*, 66, 607-624 (2005).
- [4] Salissou, Y. y Panneton, R., *J Appl Phys*, 101, 129413 (2007)
- [5] M. Vasina, D. Hughes, K., Horoshenkov, y L. Lapcik, *Appl Acoust*, 67, 787-796 (2006).
- [6] Neithalath, N., Sumanasooriya, M. y Deo, O., *Mater Charact*, 61:8, 802-813 (2010).
- [7] Martin W., Putman B., Kaye N. *Constr. Build. Mather*. 48, 210-217 (2013).
- [8] Leclair P., Swift M., Horoshenkov K., *J. Appl. Phys.* 84:12, 6886-6890 (1998)
- [9] Rasband W.S. U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <https://imagej.nih.gov/ij/>, 1997-2016.
- [10] Martin W.D., Putman B.J., Kaye N.B., *Constr. Build. Mather*, 48, 210-217 (2013).

## **“Formatos gráficos más usuales de resultados de eye tracking en neuromarketing. Caso de estudio: juguete infantil educacional. Parte 1: usuario individual”**

**D. Juárez<sup>(1)\*</sup>, V. Tur-Viñes<sup>(2)</sup>, A. Mengual<sup>(3)</sup>**

*(1) Instituto de Tecnología de Materiales  
Universidad Politécnica de Valencia (Campus de Alcoy)  
Plaza Ferrándiz y Carbonell, S/N, 03801 Alcoy (Alicante)*

*(2) Facultad de Economía y Empresariales  
Universidad de Alicante  
Carretera San Vicente del Raspeig S/N, 03690, San Vicente del Raspeig, (Alicante)*

*(3) Departamento de Organización de Empresas  
Universidad Politécnica de Valencia (Campus de Alcoy)  
Plaza Ferrándiz y Carbonell, S/N, 03801 Alcoy (Alicante)*

### **RESUMEN**

---

*La neurociencia y el estudio del cerebro permite obtener información de las respuestas de los sistemas sensoriales. El neuromarketing permite la realización de estudios de mercado, analizando las respuestas de los consumidores a los estímulos de las marcas. El sentido de la vista es clave en el ser humano y el seguimiento ocular (Eye Tracking) es una de las técnicas del neuromarketing que se ocupa de determinar la fijación de la mirada del consumidor tanto en diseños como en productos o comerciales de tv. En este artículo se van a valorar los principales formatos gráficos de análisis de resultados de la biometría basada en eye tracking, destacando la utilidad de cada uno de ellos en un caso práctico basado en juguete educacional.*

---

\* Contacto: D. Juárez; Tel. 966528467; e-mail: djuarez@upv.es

## **INTRODUCCIÓN**

La neurociencia es una disciplina unificada y unitaria, a pesar de ser el resultado de la convergencia de otras muchas disciplinas, con el objetivo común de conocer mejor el sistema nervioso [1]. Surge de la integración del conocimiento procedente de disciplinas que tradicionalmente se han ocupado del estudio del sistema nervioso [2]. Esta disciplina, combinada con el marketing, da lugar al neuromarketing.

El cerebro recibe la información que le proporcionan los sistemas sensoriales para poder analizar el entorno que le rodea y actuar en consecuencia de manera efectiva [3]; sin embargo, esa información que recibe el cerebro tiene que interpretarla y tiene que convertirla en representaciones mentales con las que pueda operar.

El objetivo de este trabajo es analizar la información proporcionada por la biometría basada en seguimiento ocular (eye tracking), desde el punto de vista del neuromarketing, es decir, aplicando equipos correspondientes a las neurociencias para el estudio del consumidor y en concreto, aplicado a un caso de juguete infantil educacional.

Finalmente, se mostrarán las diferentes técnicas gráficas para analizar el comportamiento del consumidor ante un estímulo visual.

### **La vista**

El ser humano depende en gran medida del sistema visual para adaptarse y defenderse del mundo que le rodea. Tanto es así, que una buena parte de la corteza cerebral está destinada al procesamiento de información visual.

Los receptores sensoriales (conos y bastones) se localizan en la retina, la capa más interna del globo ocular. Estos fotorreceptores generan impulsos que reciben neuronas bipolares, las cuales proyectan a neuronas ganglionares; los axones de estas últimas forman el nervio óptico que se dirige al cerebro.

## **El Eye Tracking**

Se basa en el análisis del movimiento ocular de los ojos. El objetivo es captar las áreas de interés del sujeto cuando fija la vista. Tiene dos formatos: fijo (software de ordenador) y móvil (gafas). El formato que nos interesa es el fijo, el cual permite evaluar la respuesta a los estímulos en diseños de comunicación y publicidad (tanto fija como en vídeo).

Es una herramienta barata, fácil de usar e interpretar. Su inconveniente principal es que no permite conocer la reacción del sujeto ante el estímulo, por este motivo se utiliza en paralelo con EEG, Face Reader o con un sensor de respuesta galvánica.

Algunos ejemplos de lo que me permite medir:

- Identificación de áreas de interés
  - % de individuos que han realizado fijaciones en cada área de interés.
  - Tiempo medio para la primera fijación en el área de interés.
  - Tiempo medio de las fijaciones en las áreas de interés.
  - Número de fijaciones por individuo en áreas de interés.
- Recorrido visual en la propuesta de comunicación o publicitaria.  
Mapa de calor (de acuerdo con el % de individuos que han realizado fijaciones en las áreas de interés). Movimiento ocular.

Algunos ejemplos de aplicaciones:

- Test web.
- Test anuncios y comunicación impresa.
- Test en tiendas.

## **EXPERIMENTAL**

### **Técnica**

Entre las técnicas biométricas de neuromarketing a emplear, se va a utilizar eye tracking.

En este caso concreto, se pretende emplear técnicas pasivas para la obtención de mapas de calor y áreas de interés (resultado de aplicar eye tracking).

### **Equipo empleado**

Eye tracker: barra de seguimiento ocular.



**Figura 1.** Barra de seguimiento ocular. Marca Gaze Point. Fuente: elaboración propia.

### **Características de la muestra**

En la presente investigación, el usuario seleccionado era una mujer, conforme a las indicaciones de la empresa de los datos del consumidor actual, con una edad comprendida entre los 35 y los 45 años y con hijos de edades comprendidas entre los 4 y los 8 años.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis

Se ha mostrado una imagen del packaging de EDUCA conjuntamente con el packaging de la competencia (DISET):

- Duración: 5 segundos.
- Biometría: Eye tracking.
- Objetivo: simular la situación del consumidor delante del lineal (equivalente en tiempo).
- Resultados: Mapas de calor y áreas de interés.
- Imagen original mostrada:



**Figura 2.** Imagen conjunta de los envases de EDUCA y DISET. Fuente: elaboración propia.

Previo al comienzo del estudio se seleccionan las áreas de interés (AOI = Area Of Interest) que van a analizarse. En este caso son 2 áreas de interés: el envase de EDUCA (AOI 01) y el envase de DISET (AOI 02):



**Figura 3.** Áreas de interés de la imagen conjunta de los envases de EDUCA y DISET. Fuente: elaboración propia.

A continuación, se muestran los resultados de eye tracking en 3 formatos de salida:

## Resultados

El mapa de calor es la escala gráfica por colores que permite identificar cuáles son los puntos que centran la atención del usuario a través de interacciones visuales. Presenta la información de la manera más gráfica, empleando como forma de representación una termografía que establece una jerarquía de dos polos; es decir, por una parte, se hace a través del empleo de colores cálidos (rojo, naranja y amarillo) para mostrar las zonas de interés de foco, frente a una gama de colores fríos (verde y azules) que muestran las zonas que reciben menos atención por parte del consumidor. Aquellas zonas que no se ven afectadas por la termografía, no han recibido ninguna atención por parte del consumidor.



**Figura 4.** Mapa de calor de la imagen conjunta de los envases de EDUCA y DISET, al cabo de 1 segundo. Fuente: elaboración propia.



**Figura 5.** Mapa de calor de la imagen conjunta de los envases de EDUCA y DISET, al cabo de 3 segundos. Fuente: elaboración propia.



**Figura 6.** Mapa de calor de la imagen conjunta de los envases de EDUCA y DISET, al cabo de 5 segundos. Fuente: elaboración propia.

El mapa de opacidad es la representación gráfica que ofrece mayor luminosidad a aquellas áreas que han recibido interacción visual por parte del consumidor, hasta una oscuridad completa para aquellas regiones no visualizadas por parte del consumidor. Esta representación permite destacar las zonas que más atención han recibido con una mayor claridad, como si estuviese iluminado por un foco aquello que ha sido visto por el consumidor, en un ambiente de oscuridad.



**Figura 7.** Mapa de opacidad de la imagen conjunta de los envases de EDUCA y DISET, al cabo de 1 segundo. Fuente: elaboración propia.



**Figura 8.** Mapa de opacidad de la imagen conjunta de los envases de EDUCA y DISET, al cabo de 3 segundos. Fuente: elaboración propia.

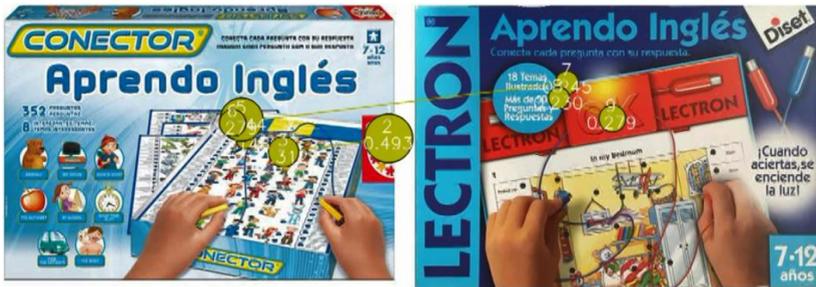


**Figura 9.** Mapa de opacidad de la imagen conjunta de los envases de EDUCA y DISET, al cabo de 5 segundos. Fuente: elaboración propia.

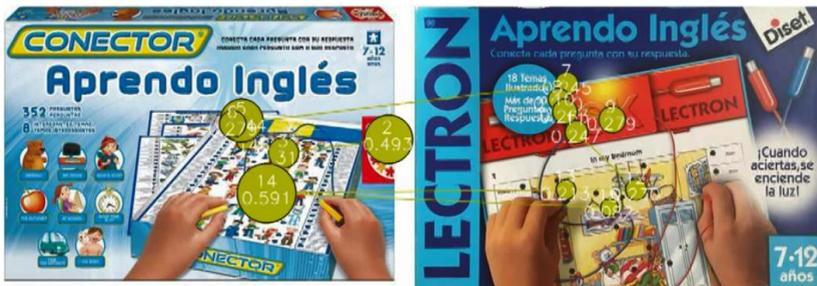
El mapa de fijaciones es la representación gráfica mediante círculos que muestra el orden (numeración y unión mediante líneas) y la duración de las interacciones (en segundos). Es posible personalizar que muestre exclusivamente aquellas fijaciones que superan una determinada extensión temporal, para reducir el número de fijaciones y facilitar la interpretación.



**Figura 10.** Mapa de fijaciones de la imagen conjunta de los envases de EDUCA y DISET, al cabo de 1 segundo. Fuente: elaboración propia.



**Figura 11.** Mapa de fijaciones de la imagen conjunta de los envases de EDUCA y DISET, al cabo de 3 segundos. Fuente: elaboración propia.



**Figura 12.** Mapa de fijaciones de la imagen conjunta de los envases de EDUCA y DISET, al cabo de 5 segundos. Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

El eye tracking, utilizado para estudiar el comportamiento involuntario de los consumidores, ofrece información muy clara y fácilmente visible acerca de la reacción ocular de dichos usuarios. Los formatos de mostrar la información nos aclara cuál es el foco de atención (mapa de opacidad), dónde pasa el consumidor más tiempo observando (mapa de calor) o cuál es el orden de lectura de los elementos del producto (mapa de fijaciones).

## REFERENCIAS

- [1]. Escera, C., *Aproximación histórica y conceptual a la Neurociencia Cognitiva*. Fundación Infancia y Aprendizaje, 2004: p. 141-161.
- [2]. Fugate, D.L., *Marketing services more effectively with neuromarketing research: a look into the future*. Journal of Services Marketing, 2008. **22**(2): p. 170-173.
- [3]. Pinel, J.P.J., ed. *Biopsicología*. 6 ed. 2007, Pearson: Madrid. 640.



## **“Formatos gráficos más usuales de resultados de eye tracking en neuromarketing. Caso de estudio: juguete infantil educacional. Parte 2: muestra representativa”**

**D. Juárez<sup>(1)\*</sup>, V. Tur-Viñes<sup>(2)</sup>, A. Mengual<sup>(3)</sup>**

*(1) Instituto de Tecnología de Materiales  
Universidad Politécnica de Valencia (Campus de Alcoy)  
Plaza Ferrándiz y Carbonell, S/N, 03801 Alcoy (Alicante)*

*(2) Facultad de Economía y Empresariales  
Universidad de Alicante  
Carretera San Vicente del Raspeig S/N, 03690, San Vicente del Raspeig, (Alicante)*

*(3) Departamento de Organización de Empresas  
Universidad Politécnica de Valencia (Campus de Alcoy)  
Plaza Ferrándiz y Carbonell, S/N, 03801 Alcoy (Alicante)*

### **RESUMEN**

*El neuromarketing permite la realización de estudios de mercado de una manera diferente y se combina perfectamente con técnicas tradicionales. El seguimiento ocular (Eye Tracking) es una de las técnicas del neuromarketing que se ocupa de determinar la fijación de la mirada del consumidor tanto en diseños como en productos o comerciales de tv. En este trabajo se van analizar la información proporcionada por biometría ocular, aplicado de manera empírica a un caso de juguete infantil educacional.*

---

\* Contacto: D. Juárez; Tel. 966528467; e-mail: djuarez@upv.es

## **INTRODUCCIÓN**

El neuromarketing permite la realización de estudios de mercado de una forma diferente a las habituales [1], a través del análisis de las respuestas de los consumidores a estímulos publicitarios [2], marcas, música, etc. Esta disciplina se combina con otras del marketing para unos mejores resultados en el lanzamiento o reorientación de las estrategias de marketing y comunicación de las empresas.

El objetivo de este trabajo es analizar la información proporcionada por la biometría basada en seguimiento ocular (eye tracking), desde el punto de vista del neuromarketing, es decir, aplicando equipos correspondientes a las neurociencias para el estudio del consumidor y en concreto, aplicado a un caso de juguete infantil educacional.

Finalmente, se mostrarán las diferentes técnicas gráficas para analizar el comportamiento del consumidor ante un estímulo visual con una muestra representativa.

## **EXPERIMENTAL**

Esta etapa, correspondiente al diseño metodológico, es determinante en cuanto a la información que se obtendrá con vistas a analizar diseños de packaging en juguetes educativos.

### **Metodología**

En este caso se trata de una investigación por neuromarketing, por lo que el enfoque es simple (no combinado con otras técnicas de investigación de mercado, como cualitativa o cuantitativa).

## Técnicas

Entre las técnicas biométricas de neuromarketing a emplear están:

- Eye tracking
- Respuesta galvánica (GSR = Galvanic Skin Response)
- Electroencefalografía (EEG)

En este caso concreto, se pretende emplear técnicas pasivas para la obtención de mapas de calor y áreas de interés (resultado de aplicar eye tracking).

## Equipo empleado

Eye tracker: barra de seguimiento ocular. Equipo con el que se realiza el seguimiento de las pupilas del consumidor, mediante tecnología infrarroja, para observar cuáles son las zonas de mayor y menor fijación.



**Figura 1.** Barra de seguimiento ocular. Marca Gaze Point. Fuente: elaboración propia.

## Características de la muestra

En la presente investigación, la muestra estaba formada por hombres (33%) y mujeres (66%), conforme a las indicaciones de la empresa de los datos del consumidor actual, con una edad

comprendida entre los 35 y los 45 años y con hijos de edades comprendidas entre los 4 y los 8 años.

### **Tamaño de muestra**

La cantidad seleccionada es de 30 participantes: 10 hombres y 20 mujeres.

El tamaño de la muestra está condicionada principalmente por las técnicas de neuromarketing empleadas. En este experimento se combinaron más técnicas, por lo que el tamaño de muestra fue el mayor necesario.

Los mínimos a emplear, dependen de las técnicas de investigación empleadas:

**Tabla 1.** Resumen tamaño muestral según la técnica de recogida de información. Fuente: Elaboración propia, a partir de Emotiv [3], Shimmer [4] y Gazepoint [5].

---

<b>Técnica de investigación empleada</b>	<b>Tamaño de la muestra (por segmento objetivo)</b>
Entrevista en profundidad	8-10 entrevistas
Focus Group	2 focus group (6 participantes por grupo)
Eye tracking	30 individuos
EEG	30 individuos
GSR	30 individuos

---

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis

Se ha mostrado una imagen del packaging de EDUCA conjuntamente con el packaging de la competencia (DISET). Se ha observado tanto el grado de fijación de uno y otro cuando se muestran conjuntamente, como aquellos elementos que llaman más la atención de los packaging.

- Duración: 5 segundos.
- Biometría: Eye tracking.
- Objetivo: simular la situación del consumidor delante del lineal (equivalente en tiempo).
- Resultados: Mapas de calor y áreas de interés.
- Imagen original mostrada:



**Figura 2.** Imagen conjunta de los envases de EDUCA y DISET. Fuente: elaboración propia.

Previo al comienzo del estudio se seleccionan las áreas de interés (AOI = Area Of Interest) que van a analizarse. En este caso son 2 áreas de interés: el envase de EDUCA (AOI 01) y el envase de DISET (AOI 02):



**Figura 3.** Áreas de interés de la imagen conjunta de los envases de EDUCA y DISET. Fuente: elaboración propia.

A continuación, se muestran los resultados de eye tracking en 3 formatos de salida:

## RESULTADOS

El mapa de calor es la escala gráfica por colores que permite identificar cuáles son los puntos que centran la atención del usuario a través de interacciones visuales. Aquellas zonas que no se ven afectadas por la termografía, no han recibido ninguna atención por parte del consumidor.



**Figura 4.** Mapa de calor de la imagen conjunta de los envases de EDUCA y DISET, al cabo de 1 segundo. Fuente: elaboración propia.



**Figura 5.** Mapa de calor de la imagen conjunta de los envases de EDUCA y DISET, al cabo de 3 segundos. Fuente: elaboración propia.



**Figura 6.** Mapa de calor de la imagen conjunta de los envases de EDUCA y DISET, al cabo de 5 segundos. Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos, de manera tabular, se muestran a continuación:

**Tabla 2.** Resumen de datos obtenidos por eye tracking. Fuente: Elaboración propia.

AOI Name	AOI Start (sec)	AOI Duration (sec U=UserControlled)	Viewers (#)	Total Viewers (#)	Ave Time to 1st View (sec)	Ave Time Viewed (sec)	Ave Time Viewed (%)	Ave Fixations (#)	Revisitors (#)	Average Revisits (#)
AOI 1	0	5	30	30	0.219	1.996	39.910	8.240	24	1.842
AOI 2	0	5	30	30	1.515	1.323	26.469	5.762	22	1.923

El mapa de opacidad es la representación gráfica que ofrece mayor luminosidad a aquellas áreas que han recibido interacción visual por parte del consumidor, hasta una oscuridad completa para aquellas regiones no visualizadas por parte del consumidor.



**Figura 7.** Mapa de opacidad de la imagen conjunta de los envases de EDUCA y DISET, al cabo de 1 segundo. Fuente: elaboración propia.



**Figura 8.** Mapa de opacidad de la imagen conjunta de los envases de EDUCA y DISET, al cabo de 3 segundos. Fuente: elaboración propia.



**Figura 9.** Mapa de opacidad de la imagen conjunta de los envases de EDUCA y DISET, al cabo de 5 segundos. Fuente: elaboración propia.

El mapa de fijaciones es la representación gráfica mediante círculos que muestra el orden (numeración y unión mediante líneas) y la duración de las interacciones (en segundos). Cada usuario es representado con un color de círculo.



**Figura 10.** Mapa de fijaciones de la imagen conjunta de los envases de EDUCA y DISET, al cabo de 1 segundo. Fuente: elaboración propia.



**Figura 11.** Mapa de fijaciones de la imagen conjunta de los envases de EDUCA y DISET, al cabo de 3 segundos. Fuente: elaboración propia.



**Figura 12.** Mapa de fijaciones de la imagen conjunta de los envases de EDUCA y DISET, al cabo de 5 segundos. Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

Este estudio empírico está centrado en el análisis de 2 envases de juguete educacional que son competencia. Las técnicas de biometría, basadas en eye tracking, empleadas nos permiten identificar los focos de atención (mapa de opacidad), dónde pasa el consumidor más tiempo observando (mapa de calor) o cuál es el orden de lectura de los elementos del producto (mapa de fijaciones). Los resultados obtenidos nos indican que no existen grandes diferencias entre ambos envases y el resultado está marcado por el orden de lectura, siendo diseños equivalentes, lo cual no facilita la elección al consumidor.

## REFERENCIAS

- [1]. Fugate, D.L., *Marketing services more effectively with neuromarketing research: a look into the future*. Journal of Services Marketing, 2008. **22**(2): p. 170-173.
- [2]. Vecchiato, G., et al., *Changes in Brain Activity During the Observation of TV Commercials by Using EEG, GSR and HR Measurements*. Brain Topography, 2010. **23**(2): p. 165-179.
- [3]. Emotiv. *Emotiv*. Available from: [www.emotiv.com](http://www.emotiv.com).
- [4]. Shimmer, Shimmer.
- [5]. Gazeport. *Gazeport*. Available from: <http://www.gazept.com/>.



## **“Influencia de la radiación UV en pigmentos termocrómicos y fosforescentes insertados en gel coat de poliéster aditivado con absorbente de radiación UV”**

**F. Muñoz Martí <sup>(1)†</sup>, J.E. Crespo <sup>(1)</sup>, S. Girones <sup>(2)</sup>, J. Gisbert <sup>(2)</sup>,  
A.V. Nadal Gisbert <sup>(1)</sup>**

*(1) Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales,  
Escuela Politécnica Superior de Alcoy, Universitat Politècnica de València  
Plaza Ferrándiz y Carbonell, 1 03801 Alcoy (Alicante)*

*(2) Instituto Tecnológico Textil (AITEX)  
03801 Alcoy  
e-mail: framuoma@epsa.upv.es*

### **RESUMEN**

*Este artículo ha sido extraído de una tesis de máster realizada en el instituto tecnológico textil de Alcoy (AITEX), en él se estudia la degradación que sufren materiales como gel coat de poliéster y pigmentos termocrómicos y fosforescentes ante la radiación UV, las muestras estarán aditivadas con diferentes compuestos anti-UV y se analizará su efectividad.*

---

---

† Contacto: F. Muñoz Martí; Tel. 966528478; e-mail: framuoma@epsa.upv.es

## **INTRODUCCION**

El objetivo de este estudio es la investigación y desarrollo de gel coats de poliéster [1] con propiedades funcionales mediante la aditivación de pigmentos cromoativos y aditivos absorbentes de radiación UV [2], utilizando el proceso de colada. Se llevará a cabo el análisis de la influencia que ejerce la radiación UV en los diferentes materiales a estudiar.

Para ello se van a emplear métodos como la degradación ambiental acelerada en cámara climática [3] y para su posterior análisis se va a medir la degradación del color en las muestras por medio de un espectrofotómetro de reflectancia [4,5]. Este procedimiento se realizará cada 24 horas, en estos intervalos de tiempo las muestras serán extraídas de la cámara climática para tomar mediciones del proceso de degradación

Para establecer una correlación entre el tiempo de exposición real al medio ambiente y el tiempo en cámara climática (exposición acelerada) se va a seguir un modelo matemático que establece como llegar a esta relación. Este modelo se extrae de la normativa del grupo Volkswagen AG que es la PV3930

Por último, se analizarán los resultados de la degradación de los pigmentos en las diferentes muestras para así realizar una comparación real de las efectividades de los compuestos inhibidores de la radiación UV.

## **MATERIALES**

Los materiales utilizados han sido los siguientes:

- Gel coat isoftálico de poliéster Crystic LS 97 PA incoloro, catalizador X-8 peróxido de metiletilcetona, pigmentos termocromicos-fosforescentes y aditivos absorbentes de radiación UV, Cromofix 405049 (A1), es un compuesto del tipo benzotriazol y Antisol H-944 (A2) denominado químicamente como: C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>N<sub>3</sub>.

## MÉTODOS

Para la determinación de la influencia que tiene la exposición de la radiación UV se han empleado las denominadas como cámaras climáticas, capaces de generar condiciones climáticas controladas y específicas, concretamente la cámara climática Atlas Ci3000+ en ella se controlan parámetros como: periodo de exposición, irradiancia, temperatura patrón, temperatura de cámara y HR%. Estos ensayos se van a realizar según la normativa del grupo Volkswagen AG que es la PV3930 y la PV 3930 2008-03 "Desgaste en húmedo, climas cálidos" para materiales no metálicos.

Es necesario establecer una relación entre el tiempo de exposición de la muestra en cámara climática y el tiempo de exposición real al medio ambiente para ello se emplea el siguiente modelo matemático, extraído de la normativa del grupo Volkswagen AG que es la PV3930

$$D = F \times 0.0036 \times t \text{ método.}$$

Donde D es la energía radiante expresada en kilojulios por metro cuadrado o megajulios por metro cuadrado, F es la fuerza de irradiación expresada en vatios por metro cuadrado o julios por metro cuadrado por segundo, T es tiempo y 3.6 o 0.0036 es un factor de conversión expresado en kilosegundos por hora. En este caso se emplea 0.0036 ya que el resultado se va a dar en MJ/m<sup>2</sup> no en KJ/m<sup>2</sup>.

$$1.9 \times \text{MJ/m}^2 = 0.5 \times t \times 0.0036 \qquad t = \frac{1.9}{1.8 \times 10^{-3}} = 1055,5 \text{ Horas}$$

1.055,5 horas en cámara climática = 365 días, 1 año de exposición.

Por último, para medir la degradación y cambio de color que han sufrido las muestras en el periodo de exposición

medioambiental artificial se utiliza el espectrofotómetro de reflectancia Konica-Minolta CM-2500 [6].

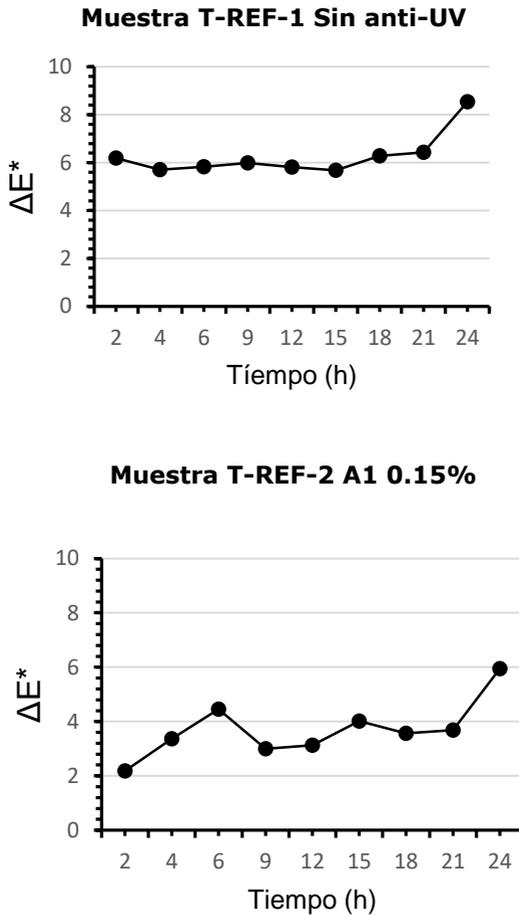
Durante el periodo de envejecimiento de las muestras se extrajeron según las horas establecidas para realizar las medidas oportunas y comprobar el proceso de deterioro y pérdida de efectividad de los efectos termocromico y fosforescente. El valor  $L^*$  nos mide la luminosidad de negro a blanco, ( $L^*$ ,  $L^*=0$  rendimientos negro y  $L^*=100$  indica blanca), los valores de  $a^*$  van del rojo al azul, ( $a^*$ , valores negativos indican verde mientras valores positivos indican rojo) los valores de  $b^*$  van de azul a amarillo, ( $b^*$ , valores negativos indican azul y valores positivos indican amarillo) [7].

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestran los resultados uno de los materiales estudiados, en este caso la muestra de gel coat aditivada con pigmento termocromico violeta y anti-UV A1

**Tabla 1.** Diferencias de color de las muestras de gel coat con A1 y pigmento termocrómico violeta, en las primeras 24 horas de envejecimiento.

Muestra T-REF-1 Sin anti-UV					Muestra T-REF-2 A1-0.15%				
Tiempo (h)	$\Delta E^*$	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	Tiempo (h)	$\Delta E^*$	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$
2	6.19	-4.76	-0.23	3.95	2	2.18	-1.16	0.55	1.76
4	5.70	-4.12	0.76	3.86	4	3.37	-2.10	2.44	1.01
6	5.82	-2.96	-0.54	4.99	6	4.45	-2.13	3.59	1.54
9	5.99	-2.75	-0.50	5.30	9	3.00	-1.54	1.92	1.71
12	5.81	-2.26	-0.28	5.36	12	3.13	-0.98	2.40	1.75
15	5.68	-1.58	-0.44	5.44	15	4.01	-2.06	3.13	1.42
18	6.29	-1.15	-0.80	6.13	18	3.56	-1.21	2.77	1.88
21	6.43	-1.42	-0.47	6.25	21	3.68	1.06	1.11	3.34
24	8.54	1.18	-3.13	7.86	24	5.95	-1.60	4.91	2.96



**Figura 1.** Representación de  $\Delta E^*$  en función del tiempo de envejecimiento de las muestras en las primeras 24 horas.

La tendencia en este caso es que  $L^*$  tiende a aumentar por lo que la muestra se vuelve más blanquecina,  $a^*$  aumenta por lo que la muestra se torna a tonos rojizos y los valores de  $b^*$  también

aumentan por lo que la muestra pasa ser más amarilla. Comparando la muestra con anti UV y sin él, en el caso de la muestra con un 0.15% de A1, los valores finales son menos elevados con lo cual la muestra cambia menos de color que la muestra sin anti-UV, este dota a la muestra de mayor protección a las condiciones climáticas.

## **CONCLUSIONES**

En casi todos los casos de muestra termocromicas se aprecia que las muestras con A2 sufren cambios de color más intensos por lo que es ligeramente más efectivo el anti-UV A1, en el caso de las muestras fosforescentes se aprecia que es más efectivo el anti-UV A2, pero los resultados son muy similares, no existen grandes diferencias entre ellos.

La inserción de aditivos absorbentes de radiación UV mejora la estabilidad del gel coat ante la exposición a la radiación UV, haciéndolo más estable ante la radiación UV, dándole propiedades más resistentes.

En cuanto a los niveles de protección en algunos casos se aprecia que las muestras con anti-UV sufren menos cambios que las que no cuentan con el pero estos resultados son menos claros en algunos casos, las proporciones se pueden elevar y en un futuro analizar y realizar experimentos para comprobar cuáles son los porcentajes de anti-UV que dotan a las muestras de mayor protección.

## REFERENCIAS

- [1] Plastiquimica. Gel coat.  
< [http://www.plastiquimica.cl/pdf/Gel\\_Coat.pdf](http://www.plastiquimica.cl/pdf/Gel_Coat.pdf)> [Consultado: 3 de Junio de 2016]
- [2] Paint y coating industries PCI. UV Inhibitors in Polyester Gelcoats.  
<<http://www.pcimag.com/articles/83632-uv-inhibitors-in-polyester-gelcoats>> [Consultado 25 de Mayo de 2016]
- [3] Camaras de ensayo-cci control de calidad. Principios de degradación fotoquímica. Introducción al ensayo acelerado.  
<<http://www.cci-calidad.com/articulos3141.htm>> [Consulta: 18 de Mayo de 2016]
- [4] Rediris. Capítulo V el color. El sistema CIE de determinación del color.  
<[http://redgeomatica.rediris.es/cart02/arb0lB/cart0B/Bcap5/5\\_9\\_3.htm](http://redgeomatica.rediris.es/cart02/arb0lB/cart0B/Bcap5/5_9_3.htm)>  
[Consultado: 7 de Julio de 2016]
- [5] Hunter Lab. (2001).Principios básicos de medida y percepción de color.
- [6] Minolta. (1993). Precise color communication. Manual de colorímetros. MINOLTA.
- [7] Rediris. Capítulo V el color. El sistema Munsell de especificación del color.  
<[http://redgeomatica.rediris.es/cart02/arb0lB/cart0B/Bcap5/5\\_9\\_3.htm](http://redgeomatica.rediris.es/cart02/arb0lB/cart0B/Bcap5/5_9_3.htm)> [Consultado: 7 de Julio de 2016]



## **“Métodos dinámicos para la obtención del módulo de elasticidad en Eco – Composites”**

**J. Fontoba Ferrándiz<sup>‡</sup>, J.E. Crespo, F. Parres García,  
A.V. Nadal Gisbert**

*Universitat Politècnica de València  
Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n, Alcoy, (Alicante)  
e-mail: Jorge.Fontoba.ferrandiz@gmail.com*

### **Resumen**

---

En los últimos años se ha incrementado la concienciación de utilizar materiales reciclados a base de materiales de desecho, o la utilización de materiales biodegradables a partir de elementos naturales. Tradicionalmente las soluciones acústicas emplean lanas minerales con grandes dificultades de reciclaje y dependencia del petróleo. El uso de las fibras naturales o recicladas es minoritario. Siendo la base para nuevas líneas de investigación basándose su estudio en el comportamiento mecánico-acústico. El comportamiento de los composites, es complicado de predecir, por su anisotropía y en general por la forma heterogénea de las probetas, y laminados. Los composites se consideran como materiales ortotrópicos formados por dos o tres ejes que son ortogonales entre sí. Por lo que sus propiedades mecánicas son, diferentes en las direcciones de cada uno de los ejes. La propiedad más importante de las fibras naturales es su módulo elástico, Gupta, Ahmad y Dev (2011), el cual es significativamente más rígido que la matriz y posee interesantes propiedades mecánicas que le permiten competir con los composites tradicionales en distintos campos de aplicación, Sodoke et al. (2016). El módulo elástico se puede obtener a través de ensayos dinámicos como: ensayo de análisis modal de impulso – respuesta, ensayo de vibración forzada, ensayo de vibración libre

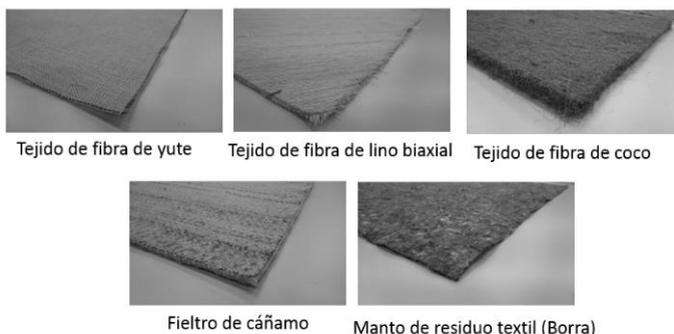
---

---

<sup>‡</sup> Contacto: J. Fontoba Ferrándiz; e-mail: Jorge.fontoba.ferrándiz @gmail.com

## TIPO DE FIBRAS Y/O TEJIDOS

Se realiza una selección de los materiales adecuados para la fabricación de los biocomposites. Complementándose con la búsqueda de diferentes resinas biodegradables comerciales. Los refuerzos serán fibras naturales lignocelulósicas y residuos textiles. La materia textil disuelta conocida como borra, se obtiene del triturado y cardado de materiales textiles de diversa procedencia. La (Figura 1), muestra el aspecto de las fibras que se van a utilizar para la fabricación de composites por infusión de resina en vacío.



**Figura 1.** Aspecto de las distintas lignocelulósicas/ M.T.D. Borra

Las características de las fibras se muestran en las Tablas 1.

**Tabla 1.** Dimensionado de capas de biocomposite.

Compuesto	Refuerzo	Nº capas	Espesor (mm)	Peso de la fibra (g)
Biocomposite	Lino 45º	6	4,8	1.223,40
	Yute 90º	6	4,5	1.043
	M.T.D.Borra	5	7,5	617,9
	Coco	1	6,5 - 10	788
	Cáñamo	1	5	655

## **Diseño y fabricación de los Eco-composites**

La fabricación de los Eco-composites se realizará mediante el proceso de infusión de resina por vacío, con la realización de placas de grandes dimensiones. El vacío succiona la resina hacia un laminado de fibra seca colocada sobre un molde.

## **EQUIPAMIENTO**

### **Vibración forzada**

Para la obtención del primer modo de vibración, se requiere de un micrófono de campo altamente sensible de la marca BK (Brüel & Kjær). De una tarjeta electrónica de frecuencia de marca NATIONAL INSTRUMENTS. Y del programa informático M Matlab.

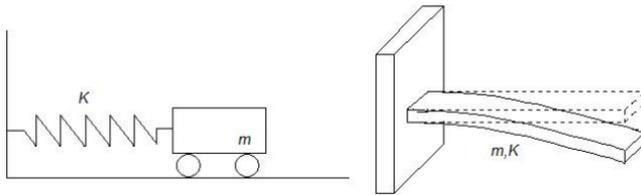
### **Balanza hidrostática**

La obtención de la densidad se realiza en una balanza de la casa METROTEC, S. A (San Sebastián, España) junto con los accesorios correspondientes bajo la normativa UNE EN ISO 53020.

## **PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES**

### **Métodos dinámicos**

Dentro de los métodos dinámicos, se va a realizar los ensayos de viga en voladizo (vibración libre). El sistema viga en voladizo se puede representar en forma de un resorte y una masa. Su forma esquematizada se representa en la Figura 2.



**Figura 2.** Esquema de la aproximación teórica del análisis modal.

Para obtener el valor del módulo de elasticidad se emplea la ecuación de la norma ASTM C1215 – 92:2012.

$$E = \frac{12 \rho L^4 f_n^2}{H^2 Cn^2} \quad [1]$$

Donde:

- E: Módulo de elasticidad de la viga, expresado en (Pa).
  - $f_n$ : Frecuencia de resonancia expresada en (Hz).
  - h: espesor de la viga expresada en (m).
  - L: longitud de la barra expresada en (m).
  - $\rho$ : densidad del material expresado en (kg/m<sup>3</sup>).
  - A: área de la sección transversal (m<sup>2</sup>).
  - I: Momento de Inercia (m<sup>4</sup>).
  - (BnL)<sup>4</sup>: constante que depende de las condiciones de borde, para cada modo de vibración. Para el primer modo: 1,875104
- Norma AST C215 Teorical background.

### **Caracterización Física**

Densidad: La metodología de la medida se basa en conocer el valor de la densidad del fluido, agua destilada (densidad 1 g/cm<sup>3</sup>), obtener los pesos de la muestra fuera y dentro del fluido. La densidad del sólido se obtiene aplicando la fórmula:

$$\sigma = \frac{W_a - \sigma_{fl}}{W_a - W_{fl[2]}}$$

Dónde:

Densidad del sólido:  $\sigma$ . (g/cm<sup>3</sup>)

Densidad del fluido:  $\sigma$  (fl). (g/cm<sup>3</sup>)

Peso del sólido en el aire: W(a) (g).

Peso del sólido en el líquido: W (fl)(g) .

## RESULTADOS

La (Tabla 4), muestra los valores obtenidos tras el ensayo de densidad hidrostática.

**Tabla 4** Valores de densidad de los distintos composites ensayados.

<b>Densidad hidrostática</b>		
<b>Biocomposite</b>	<b>(g / cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Poliéster</b>
1,18	<b>Lino Biaxial</b>	1,22
1,07	<b>Residuo Textil Borra</b>	1,23
1,03	<b>Coco</b>	1,01
1,08	<b>Yute</b>	1,12
1,15	<b>Cáñamo</b>	1,13

Tras la realización de los ensayos dinámicos (Tabla 5), se presentan los valores de las frecuencias naturales obtenidas.

**Tabla 5.** Resultados ensayo vibración forzada.

<b>Placa Biocomposite</b>	<b>Frecuencia Natural (Hz)</b>
Yute	31,0
Cáñamo	26,0
Lino Biaxial	26,0
Materia.T.D. Borra	25,3
Coco	21,8

A continuación, se realiza el cálculo de los distintos módulos de elasticidad aplicando la ecuación [1]. En la (Tabla 6) se muestra los resultados obtenidos

**Tabla 6.** Valores de los módulos de elasticidad.

<b>Biocomposites</b>	<b>Norma AST C215 E (MPa)</b>
Yute	6.954,81
Cáñamo	4.059,68
Lino biaxial	4.103,77
Materia. T.D. Borra	3.562,63
Coco	2.603,25

El valor más elevado es el correspondiente al biocomposite de Yute. Los métodos dinámicos (ensayos no destructivos) son un método en el cual no se destruye la probeta objeto de análisis, y económicamente es más barato, sobre todo cuando no se precisa de una máquina de tracción universal para la obtención del mismo.

## **REFERENCIAS**

- [1] Gupta, A. S., Ahmad, y A. Dev. (2011) Modification of novel bio-based resin-epoxidized soybean oil by conventional epoxy resin. *Polymer Engineering & Science*, 51(6), (pp. 1087-1091). DOI: 10.1002/pen.21791



## **“Diferencias entre la soldadura producida por alta frecuencia y la soldadura láser, en materiales de acero inoxidable destinados a los sistemas de escape”**

**J. Paralera** <sup>(2)§</sup>, **J.E. Crespo**<sup>(1)</sup>, **F. Parres**<sup>(1)</sup>, **A. V. Nadal Gisbert**<sup>(1)</sup>

*(1) Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales,  
Escuela Politécnica Superior de Alcoy, Universitat Politècnica de València  
Plaza Ferrándiz y Carbonell, 1 03801 Alcoy (Alicante)*

*(2) Departamento de producción de inoxidable y corte láser, Flejes industriales s.a  
Crta Ibi -Alicante Km, 1.5, Ibi, (Alicante)*

### **RESUMEN**

Se pretenden establecer las principales diferencias entre dos procesos técnicos utilizados para la soldadura en continuo destinados a la producción de tubo o tuberías de acero inoxidable, estas dos técnicas son la soldadura por alta frecuencia, y la soldadura por láser de CO<sub>2</sub>, ya que son las técnicas más utilizadas en la industria moderna y con las que mejores eficiencias se pueden obtener.

---

---

§ Contacto: J. Paralera; Tel. 965552936; e-mail: Jesus.inox@flinsa.com

## INTRODUCCIÓN

En el mundo de la producción de tubo del acero inoxidable soldado en continuo destinado a la industria de la automoción cada día se hace más necesario mejorar los procesos productivos, mejorando las velocidades de producción y la calidad de su soldadura, para ello los fabricantes de maquinaria no dejan de buscar soluciones a problemas que limitan la velocidad de trabajo, además de obtener una soldadura de calidad capaz de ser sometida a cualquier tipo de esfuerzo, ya sea trabajando la soldadura a tracción o compresión, o bajo cargas alternas, sin que se produzca la falla.



**Figura 1.-** Evolución de vehículos producidos en España. Fuente: Ministerio de energía, turismo y agenda digital, Fecha: 3/02/2017

A lo largo de la historia del automóvil, los diseñadores han tenido que afrontar muchas y muy variadas problemáticas, como por ejemplo el deterioro por oxidación en los sistemas de evacuación de los gases de escape, a los que los materiales de acero recubiertos no eran capaces de dar la durabilidad que era necesaria para el

consumidor, y para los cuales se diseñaron y buscaron nuevos materiales como los aceros inoxidables ferríticos.

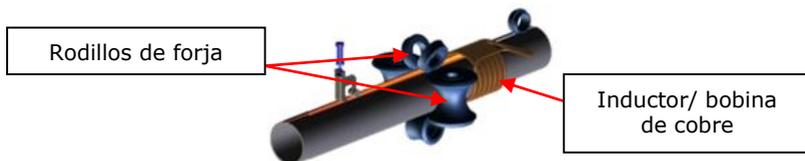
Si se observa la tendencia española de producción de vehículos se puede ver como a partir del año 2012 hay un fuerte incremento en las ventas de vehículos, y por tanto también en la producción, esta es la necesidad por la cual se han de mejorar estos procesos, además de porque cada día se buscan nuevas técnicas de procesado como son el hidroforming, la expansiones o reducciones radiales, y un largo etc... que hacen que el tubo sea sometidos a deformaciones muy agresivas y si en la soldadura del tubo en continuo no se han conseguido una buena calidad de producto, los siguientes procesos van a tener problemas de fallas por no aguantar el material en la soldadura.

Se van a comparar las dos metodologías más utilizadas en la producción de tubo de acero inoxidable:

1. Soldadura por alta frecuencia.
2. Soldadura por láser de CO<sub>2</sub>

### **Principios de la soldadura por alta frecuencia**

Para soldar un material se necesita de una parte aportar calor para fundir el material y de otra presión para mantener unidos los dos bordes. En este caso el aporte energético se produce a través de la inducción electromagnética, esta sigue el principio de la ley de Faraday – Lenz.

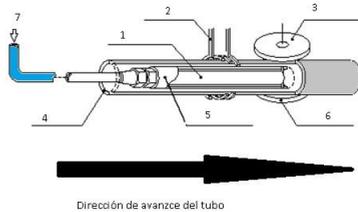


**Figura 2.-** Elementos en una soldadura por HF

En esta imagen se pueden observar los dos focos necesarios para producir una soldadura. El grupo de rodillos es el encargado de someter el material a presión, para mantenerlo junto, y la bobina junto con el impedidor son los encargados de hacer que el material llegue a la temperatura de fusión (superior a los 1200°C), este calor es generado en la superficie del tubo a través de la corriente de flujo por inducción. [2]



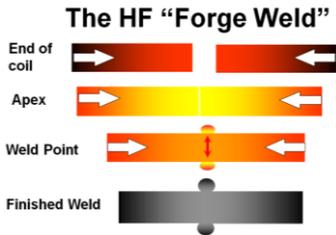
**Figura 3.-** foto de soldadura cedida por flinsa



**Figura 4.-** Descripción de los elementos en la soldadura HF

1. Ferrita
2. Bobina inductor
3. Rodillo de forja
4. Tubo
5. Impedidor
6. Rodillo de forja
7. Agua de refrigeración

En este punto el material en estado fundido es sometido a presión con el cabezal de forja, uniendo los dos bordes del tubo y haciendo expulsar el exceso de material fundido, este material que es expulsado salen todos los óxidos y contaminantes, aflorando tanto por la parte superior como inferior. Este es el cordón de soldadura. La parte superior es obligatoriamente acuchillada para dejar el perfil con un buen acabado y lo más regular posible, y la parte interna sólo es eliminada en el caso en que el siguiente proceso lo necesite.



**Figura 5.-** Etapas del material en el proceso de soldadura (cortesía de Thermatool)

En esta figura, se pueden apreciar las etapas por las que pasa el material desde que se le aporta la energía necesaria para su fusión, hasta que por presión se juntan los bordes y se hace fluir el material fundido hacia el exterior, que es cuando se genera el cordón de soldadura tanto interno como externo.

### Parámetros críticos del proceso.

- Potencia
- Presión
- Posición del impeder
- Estado de los bordes
- Conformación del fleje
- Velocidad de proceso



**Figura 6.-** Microestructura acero inoxidable grado UNE EN1.4512 100x ataque vilella.

Esta imagen representa la microestructura de la zona de soldadura de un tubo de acero inoxidable fabricado mediante proceso de alta frecuencia, en la que no se aprecia la zona afectada térmicamente y no ha pasado por el proceso de recocido.

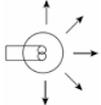
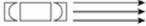
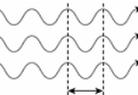
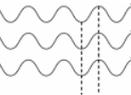
Se puede observar un grano de tamaño regular característico de los grados ferríticos.

## Principios de la soldadura láser de CO2

En este tipo de soldadura se utilizan las características de las propiedades de la luz láser para producir la energía con la que fundir el material:

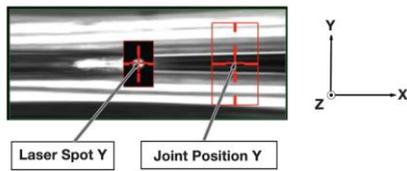
### Características de la luz láser:

- Alta direccionalidad
- Monocromaticidad
- Coherencia
- Brillo

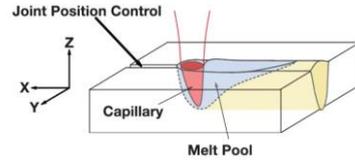
Fuente	Direccionalidad	Monocromaticidad	Coherencia
Luz			
	Lámpara de bulbo	Longitud de onda no uniforme	
Haz láser			
	Láser	Longitud de onda uniforme	Semionda alta y baja alineada

**Figura 7.-** Comparativa entre las propiedades de la luz láser y la luz normal

La fuente láser es la encargada de producir el rayo láser y este es transportado por diferentes espejos hasta llevarlo al cabezal de soldadura, donde con un espejo especial es focalizado para alcanzar la mayor energía en un punto de un diámetro próximo a 0.05mm.



**Figura 8.-** Sistema de seguimiento de ranura. Cortesía de Trumpf maquinaria



**Figura 9.-** Esquema del material en la soldadura

Este tipo de soldadura está apoyado por un sistema de seguimiento de la soldadura, como se puede observar en la Figura 7, el cual siempre mantiene la posición correcta entre el cabezal y la junta de los bordes. En la siguiente Figura, se muestra la forma característica de soldadura de un proceso láser, donde se ve un foco de alta energía, fusión del material y el baño.

### **Parámetros críticos del proceso de soldadura láser**

- Posición del eje X
- Altura focal
- Estado de los bordes
- Potencia de soldadura
- Velocidad de proceso
- Conformación del fleje

### **MÉTODOS EXPERIMENTALES**

Para comparar las dos técnicas de soldadura en continuo se han seleccionado dos tubos cada uno de ellos elaborados mediante una ruta de fabricación diferente, es decir uno ha sido producido mediante soldadura por HF y el otro mediante la técnica de soldadura láser.



**Figura 10.-** Tubo soldado mediante proceso láser



**Figura 11.-** Tubo soldado mediante proceso HF

Los tubos seleccionados son de igual diámetro y espesor, en concreto han sido de 35mm de diámetro y 1.20mm de espesor.

La probeta a analizar ha sido una sección transversal de cada tubo la cual ha sido preparada con un procedimiento específico descrito en un artículo anterior. [1]

Una vez se han tenido preparadas las probetas para analizar la micrográfica específica de cada proceso, estas han sido sometidas a un estudio de micro-durezas, donde se les ha pinchado dureza en la zona de la soldadura y en el metal base, de modo que se pueda establecer alguna diferencia entre los dos procesos.

Para la obtención de las micro-durezas HV se ha utilizado un micro-durómetro tipo Marca: Shimadzu, modelo A106, la metodología ha sido:



1º Preparación de probetas  
Carga: 100 g  
Tiempo de carga: 15 s

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

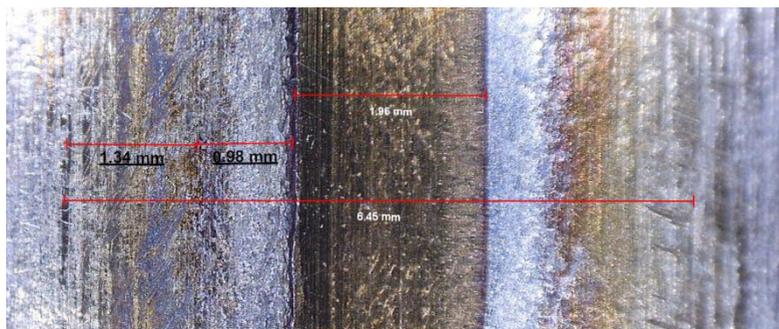


**Figura 12.-** Material base de soldadura láser 100X, ataque vilella

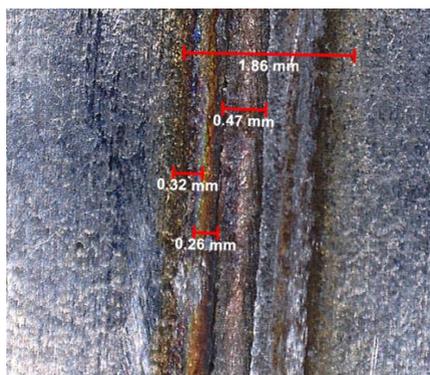


**Figura 13.-** Material base de soldadura HF 100X, ataque vilella

Como se puede observar en las imágenes de arriba el material soldado por el proceso láser presenta un menor tamaño de grano, esto es debido a que el aporte energético utilizado para soldar los bordes en el proceso láser está más concentrado y ocupa apenas unos milímetros frente a la gran afección térmica que provoca una soldadura por HF, por lo que en el aspecto mecánico siempre va a interesar un tamaño de grano más pequeño y regular ya que se comportará mejor ante los fenómenos de deformación.



**Figura 14.-** Macrografía de la soldadura HF, 50x

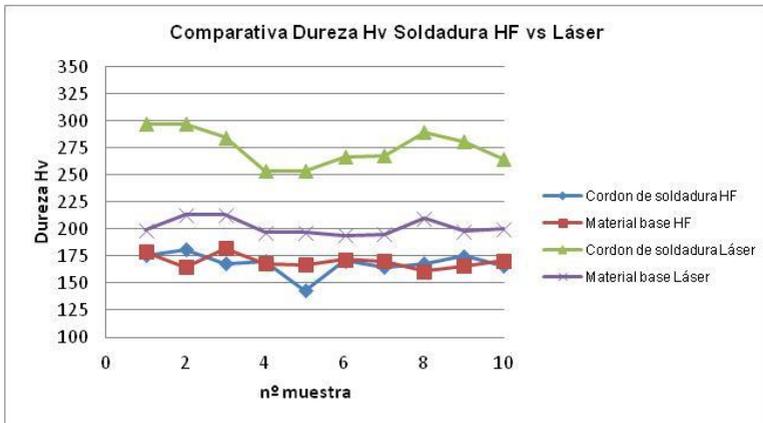


**Figura 15.-** Macrografía de la soldadura láser, 50X

En las figuras 14 y 15 se puede observar la diferencia del tamaño en la zona de soldadura de los dos procesos, observándose como en la soldadura láser, el tamaño es mucho menor de apenas unos milímetros, mientras que en la HF esto es 3 veces mayor. Cuanto mayor sea la zona de afectación térmica más probable será la aparición de ciertos carburos e incluso la descarburación del

material en algunas zonas, con lo que se perdería propiedades mecánicas resistentes

Otra cosa que se puede observar son las coloraciones a ambos lados de la soldadura, en los dos procesos son muy similares, la única diferencia visual es su tamaño, la coloración es indicativo del rango de temperaturas al que ha llegado el material, y es lógico pensar que independientemente del tipo de aporte energético la temperatura de fusión es la misma.



**Figura 16.-** Comparativa de HV, soldadura láser vs HF

Si se observa el ensayo de micro-dureza, se puede ver como en la soldadura HF no hay diferencia entre el material base y la soldadura, y además presenta una menor dureza, que la Láser, aunque con poca diferencia del material base, y bastante diferencia de más de 120 puntos con respecto a la zona de la soldadura láser.

Esto es debido a dos factores:

1. Al tipo de calentamiento. Para el proceso láser la energía se concentra en décimas de milímetro, por lo que la zona de

afección térmica es más pequeña que la de la soldadura HF, que caliente una mayor parte.

2. Al tipo de enfriamiento desde el estado de fusión hasta la solidificación, donde en el proceso láser es muy rápido, de ahí la forma de granos dendríticos característicos de los enfriamientos muy rápidos. Y un material regular y uniforme en la soldadura por HF, producto de una zona mucho más amplia de calentamiento y un enfriamiento a una menor velocidad.

## **CONCLUSIONES**

La conclusión que se pueden obtener de estos datos, es que los materiales soldados por proceso láser presentan unas mejores características frente a esfuerzos mecánicos, porque se ven menos sometidas a la afección térmica del calentamiento de la soldadura, además de presentar dos zonas bien diferenciadas material base y zona de la soldadura, cosa que en los procesos por HF no sucede por la forma de calentar.

Como conclusión final se puede decir que la calidad de soldadura láser es mejor que la de alta frecuencia.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la empresa Flejes industriales, s.a. por su colaboración en el proyecto.

## **REFERENCIAS**

- [1] Paralera, J. Et al, IV Congreso I+D+i Campus de Alcoi. Creando sinergias, 194-197 (2016).
- [2] Pierre-jean Cunat, Manual de aceros inoxidables de Euro Inox , Serie materiales y sus aplicaciones, V1, Pág. 63, 2002;
- [3] *George F. Vander Voort, ASM Handbook VOLUME 9; METALLOGRAPHY AND MICROSTRUCTURES, V1, 5<sup>TH</sup> 2012.;*

## **“Análisis de la cinemática del pedaleo de un ciclista”**

**M. Spinelli, S. Sanchez-Caballero\*\* , M. A. Selles, J.E. Crespo**

*Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales,  
Escuela Politécnica Superior de Alcoy, Universitat Politècnica de València  
Plaza Ferrándiz y Carbonell, 1 03801 Alcoy (Alicante)*

### **RESUMEN**

*El presente trabajo aborda la cinemática del estudio del movimiento desde una perspectiva espacio temporal sin considerar las fuerzas interventoras en la acción de pedaleo de un ciclista. La finalidad es determinar cuáles serían los ajustes correctos que deberían hacerse a la bicicleta para con el ciclista y su inherente desempeño (rpm conseguidas). Se realizará un diseño de experimentos con distintos factores configurables que nos permitirá evaluar cuáles son los más influyentes para con resultado esperado. Se seleccionarán las tres configuraciones que mayor rpm arrojen, siendo las que se analicen cinemáticamente bajo criterios establecidos. Se comprobó que ajustar una bicicleta a un usuario depende de varios factores que deben controlarse debidamente ya que el variar una medida unos pocos centímetros equivocadamente, puede acarrear serias dolencias o malestares al usuario.*

---

---

\*\* Contacto: S. Sánchez-Caballero; Tel. 966528575; e-mail: sasanca@mcm.upv.es

## **INTRODUCCIÓN**

Aunque tradicionalmente la ingeniería mecánica ha sido la perspectiva científica que ha dedicado más esfuerzos al estudio de la eficacia en el desplazamiento de los vehículos, dicha perspectiva resulta insuficiente cuando se trata de vehículos propulsados por el hombre. La interacción entre el hombre y la máquina requiere la incorporación de otras perspectivas científicas que tienen en cuenta procesos bioenergéticos, de aprendizaje y de producción de fuerza en el sistema musculoesquelético (fisiología humana, control motor y biomecánica, respectivamente). [1]

En este estudio, la atención se centrará en el análisis de la cinemática (como rama de la dinámica) para estudiar el movimiento desde una perspectiva espacio temporal sin considerar las fuerzas que intervienen, específicamente se estudiará la acción del pedalear de un ciclista. Con esto se espera poder identificar cómo deberían ser los ajustes correctos (biomecánicamente hablando), de la bicicleta al ciclista. En este mismo sentido se busca identificar las particularidades que puedan surgir por el simple hecho de cambiar unos pocos centímetros alguna medida de ajuste. También se espera poder relacionar el rendimiento generado por el ciclista en rpm medido con un tacómetro, con las configuraciones que se estén utilizando al momento de la medición.

Para poder efectuar lo establecido anteriormente, se realizará una búsqueda de información relacionada al tema, para poder tener así las directrices que deberán seguirse para iniciar cualquier ajuste de la bicicleta, también se podrá intuir cuáles serían las consecuencias de no realizar un correcto ajuste o las posibles secuelas frente a un mal movimiento en una acción tan repetitiva como la del pedalear en bicicleta. En el estado de arte también podremos recopilar la información que nos permita cotejar los resultados del análisis de la cinemática con los rangos o valores recomendados para un buen desempeño en el movimiento de pedaleo.

Seguidamente, se realizará un diseño de experimento empleando el software STATGRAPHICS®, tomando como base la información recaudada para establecer diferentes configuraciones de ajustes biomecánicos de la bicicleta al ciclista, luego se efectuará el análisis de los resultados obtenidos, identificando cual(es) factor es más influyente para con los resultados esperados (mayor rpm) y nos decantaremos por elegir tres (3) configuraciones distintas en base a las salidas de la variable obtenida (rpm).

Estas tres (3) configuraciones seleccionadas tras el diseño de experimento, serán las que luego se analicen por medio del estudio de la cinemática de la acción del pedaleo, para esto, se especifican (en base a la información recopilada) cuatro posiciones del pedal durante la fase de pedaleo, para en esos momentos realizar las mediciones respectivas como: ángulos con respecto a sistemas de referencia establecido (hombro, rodilla y tobillo) con respecto a marcadores localizados en puntos específicos de la anatomía del ciclista; se podrán obtener desplazamientos máximos en puntos deseados a través de la totalidad de la acción de pedaleo, entre otros datos relevantes.

Luego de obtener los resultados tanto del diseño de experimento como del estudio de la cinemática de la acción de pedaleo, se hará una correlación de resultados para establecer qué es lo que sucede en cada configuración estudiada y cómo se comporta el cuerpo durante el movimiento realizado que, a su vez, nos ayudará a comprender el resultado obtenido en rpm.

Finalmente, se realiza un resumen conclusivo sobre las correlaciones establecidas para cada configuración, de modo tal que pueda verse sintetizada la información y particularidades vistas a través del estudio, aunado a algunas inferencias según sea el caso, ya que no existe información precisa para todos los posibles escenarios que se puedan presentar.

## **ESTADO DEL ARTE**

Con la biomecánica enfocada al ciclismo podemos optimizar el rendimiento del ciclista incidiendo sobre tres aspectos fundamentalmente que son: La eficacia del pedaleo, la ergonomía y por su puesto evitar posibles lesiones.

Existen diferentes dolores comunes en el ciclismo

### **Rodilla**

Los dolores de rodilla en ciclismo se suelen producir por un ajuste incorrecto de la bici. En ocasiones, tienen su origen en la cadera o incluso en el pie, pero es en la rodilla donde se manifiesta el problema debido a que es el punto de transmisión de fuerza. [2]

- Dolor por detrás de la rodilla: Lo más frecuente es que el sillín esté demasiado alto, causando una extensión de la pierna excesiva.

- Dolor en la cara externa de la rodilla. Suele ocurrir si el sillín está demasiado alto, aunque también una incorrecta colocación de las calas puede generar este tipo de molestia si los talones van demasiado separados de las bielas.

- Dolor en la cara anterior de la rodilla. Es el más frecuente entre los ciclistas. Generalmente está asociado a sillines demasiado bajos y/o adelantados, así como a calas muy adelantadas. Existe una excesiva flexión de la rodilla.

- Dolor en la cara interna de la rodilla. Suele presentarse cuando el sillín está demasiado bajo o cuando la cala está mal colocada y no permite al ciclista llevar los pies paralelos a la biela. También con pedales o calas que dan un exceso de libertad al pie.

### **Zona Lumbar**

Después de la rodilla, la zona lumbar ocupa el segundo lugar entre los achaques ciclistas con molestias que pueden tener un origen bastante variado. No cabe duda que la posición del ciclista es la variable que más puede influir a la hora de sufrir problemas en la parte baja de la espalda, unos dolores que a veces mejoran

inclinando el sillín ligeramente hacia delante. Las siguientes situaciones suelen provocar molestias en esa zona: sillín demasiado alto o demasiado retrasado; manillar demasiado lejos del sillín o demasiado bajo. Las asimetrías son una fuente común de dolores lumbares, puesto que la pelvis está desequilibrada. En estos casos lo adecuado es tratar de resolver o compensar la asimetría existente. Contrariamente a lo que se suele recomendar, trabajar la zona abdominal y/o lumbar no tiene por qué tener una relación directa con los problemas lumbares.

### **Cuello y zona alta de la espalda**

Cuando hablamos del dolor de cuello es necesario especificar con exactitud el punto del dolor, puesto que es fácil confundirlo con el dolor en la zona de los trapecios, es decir, justo por debajo del cuello. Cuando el dolor se centra específicamente en el cuello, lo más probable es que el manillar esté demasiado bajo y/o muy lejos en relación con el sillín, lo que nos obliga a ir muy estirados. Sin embargo, cuando el dolor se localiza justo por debajo del cuello, a nivel de los trapecios, normalmente la causa es la contraria: el manillar se encuentra o bien demasiado cerca o muy alto. Cuando esto sucede, el cuello va escondido entre los hombros, que en vez de ir relajados van contraídos. Esta posición, que a priori parece muy cómoda, deja de serlo cuando pasamos más de 2 horas sobre la bici. Este es un fallo muy común entre los cicloturistas que piensan que acortando la potencia y subiendo el manillar van a solucionar su problema de cuello y lo que sucede es justamente lo contrario, empeorando además su aerodinámica. [2]

### **Manos**

El adormecimiento de las manos suele estar generado por un reparto incorrecto de pesos, lo que provoca que el centro de gravedad del ciclista se desplace hacia delante y que las manos soporten más peso de lo debido. Para solucionar este problema

suele ser efectivo retrasar el sillín, ya que de este modo retrasamos el centro gravedad.

En el presente trabajo se van a analizar las posturas corporales de un compañero mientras este pedalea con la bici mediante capturas de video y análisis de los datos usando un programa informático. [2]

Los estudios biomecánicos (cinemática) pueden hacerse por observación directa o indirecta, en el primer caso el método solo requiere de una videograbación y una serie de pasos para descomponer la acción y poder analizarla, mientras que en el segundo caso, existen en el mercado distintos software para el procesamiento y análisis de datos de mediano- alto costo (Human, Darfish Quintic Sport Biomechanic, SportsCAD, kinescan, templo, etc), y otros gratuitos (Abiomo, Kinovea, SkillSpector) que permiten mediante un video o videograbación de la ejecución hacer un estudio más objetivo y específico del comportamiento mecánico (cinemático) del cuerpo.

En este estudio se utilizará el Software KINOVEA®: Que es un software libre disponible en la web, el cuál presenta diferentes herramientas para captura de video de una y dos cámaras a la vez, también tiene la opción de subir un video guardado en la pc y editarlo dentro del mismo programa, entre las diferentes herramientas que presenta hace que su uso sea muy productivo ya que no requiere de digitalización por lo que los análisis son directos sobre la o las imágenes que se quieren analizar haciendo que el proceso sea muy expedito, sin embargo este software permite medir solo variables básicas como desplazamientos, trayectorias, tiempo, velocidades y ángulos (análisis de la cinemática).

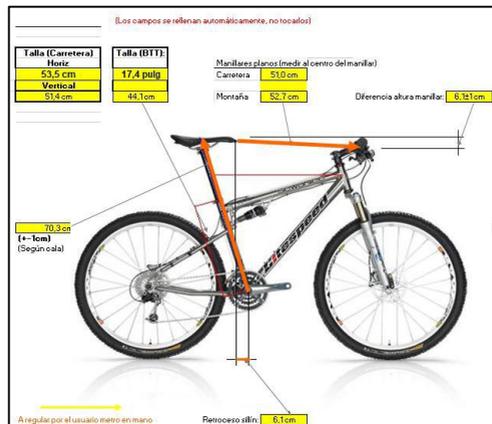
Para el Diseño de experimento con el software STATGRAPHICS®, se empleará una hoja de cálculo que nos permitirá establecer ajustes biomecánicos de la bicicleta para con el ciclista, esto es posible ya que la hoja de cálculo permite a partir de determinadas medidas antropométricas del ciclista, establecer ciertas relaciones para el ajuste de la bicicleta que se consideran

válido para la mayoría de los usuarios, relación que nos servirá de partida para el diseño del experimento.



**Figura 2.** Medidas antropométricas del ciclista requeridas en la hoja de cálculo para establecer la "mejor" relación de ajuste de la bicicleta

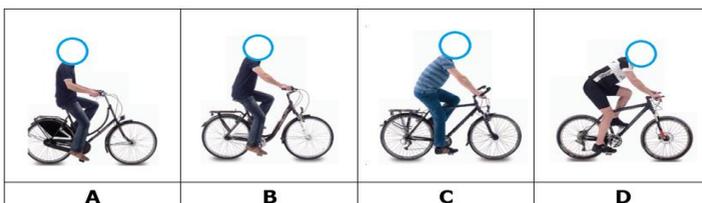
Mientras que la configuración inicial de la bicicleta por tanto es:



**Figura 3.** Ajustes iniciales de la bicicleta en relación a las medidas antropométricas del ciclista

Hay que tener en cuenta los ángulos recomendados para hacer el análisis de la cinemática. Teniendo presente el diferenciar los distintos tipos de bicicletas que hay.

La siguiente imagen muestra los grupos básicos y las posiciones que se adoptan sobre las mismas, por orden son: Posición clásica de la bici (a), posición de ciudad (b), posición de paseo (c), posición deportiva (d).



**Figura 4.** Distintas posiciones del ciclista en función del tipo de bicicleta

En el presente trabajo se va a estudiar una posición deportiva, es decir la posición "D"

Resumiendo, los ángulos recomendados en las rodillas en su posición de máxima y mínima extensión en esta posición son:

Angulo máximo de la rodilla: La altura ideal del sillín se puede describir por el ángulo de la rodilla en la extensión completa. Por lo general, los hombres estarán cerca de  $141^\circ$  y las mujeres tal vez  $1-2^\circ$  más alto. La diferencia se debe a la flexibilidad, con los isquiotibiales femeninos que son más holgados permitiendo que la rodilla se extienda aún más. Se debe considerar que se trata de mediciones dinámicas, es decir, mientras se pedalea y que las mediciones estáticas pueden ser diferentes. [3]



**Figura 5.** Extensión máxima de la rodilla

Angulo mínimo de la rodilla: Se debe evitar un ángulo inferior a  $70^\circ$ , ya que esto puede provocar fuertes esfuerzos de corte en la articulación de la rodilla, exagerar la zona muerta en la parte superior del pedal y causar molestias en la cadera y la espalda baja. Si es demasiado apretado, lo más probable es que se necesite una manivela más corta. [3]



**Figura 6.** Flexión máxima de la rodilla

Los ángulos de la rodilla son una buena manera de ayudar a definir una altura apropiada del sillín a modo de ajuste rápido, pero siempre considerando que el cuerpo no se comporta de manera lineal ideal. Por ejemplo, se podría suponer que bajar la altura del sillín reducirá los ángulos de la rodilla, pero contraria a la intuición, no siempre es así. Una de las explicaciones para esto es debido a lo que hacemos con nuestros tobillos. Una postura del tobillo con la punta muy baja es un indicador de una silla de montar excesivamente alta, así como también un amplio rango de articulación del tobillo ( $> 20^\circ$ ). Del mismo modo, el talón muy bajo y un pequeño rango de articulación del tobillo ( $<15^\circ$ ) apoyaría una teoría de que el sillín está demasiado bajo. [3]

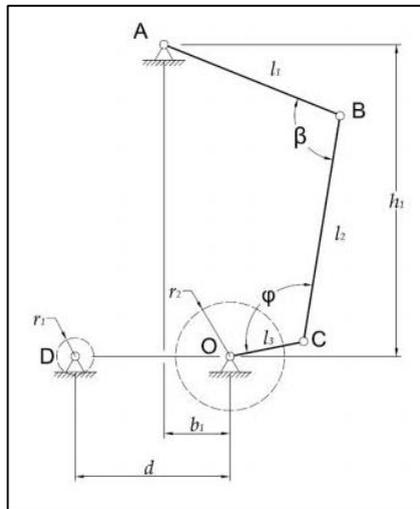


**Figura 7.** Rango de movimiento del tobillo durante fase de pedaleo

El mecanismo de transmisión convencional de una bicicleta incluyendo la extremidad inferior del ciclista es un cuadrilátero articulado o mecanismo manivela-balancín. En el cual la biela actúa de manivela, el muslo de balancín y la pierna de biela. El muslo está representado por la barra AB y la parte inferior de la pierna la barra BC, como se observa en la Figura 7. [4]

Los elementos del cuadrilátero articulado son:

- La barra AB, el muslo del ciclista, con longitud  $l_1$  es la barra impulsora del mecanismo.
- La barra BC, la parte inferior de la pierna, con longitud  $l_2$  representa la barra de transmisión o biela.
- La barra OC, la biela de la bicicleta, de longitud  $l_3$  es la manivela.
- La barra definida por los puntos O y A es la barra fija a la referencia.
- El plato y el piñón tienen su centro en O y D y sus radios son  $r_1$  y  $r_2$  respectivamente.
- El ángulo que forman las barras  $l_1$  y  $l_2$  es  $\beta$ , es el ángulo de salida y el ángulo que forman las barras de longitud  $l_2$  y  $l_3$   $\varphi$  es el ángulo entre la pierna y la manivela.



**Figura 8.** Esquema de la pierna y el mecanismo de la bicicleta convencional

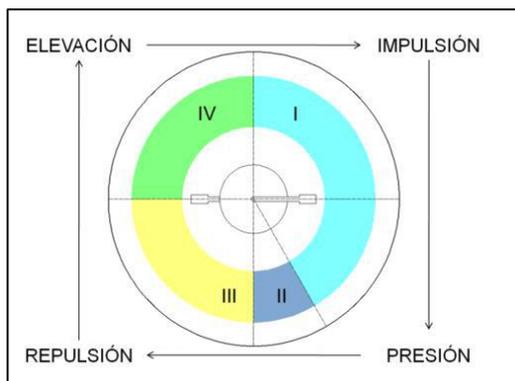
Durante un ciclo de pedaleo se identifican cuatro fases en las que cada segmento y articulación cambian sus estados, y son las siguientes<sup>1</sup>:

- Fase I - Impulsión: Movimiento de flexión de la cadera, rodilla y flexión dorsal del tobillo. En esta fase la cadera y la rodilla están en la máxima flexión que se puede tener durante el pedaleo. Se realiza el empuje de máxima potencia muscular usando los cuádriceps y los isquiotibiales.

- Fase II - Presión: Movimiento de extensión de cadera, rodilla y flexión plantar del tobillo. En la segunda fase se hace un trabajo muscular concéntrico de glúteos, cuádriceps e isquiotibiales, además de una contracción excéntrica del músculo de la tibia.

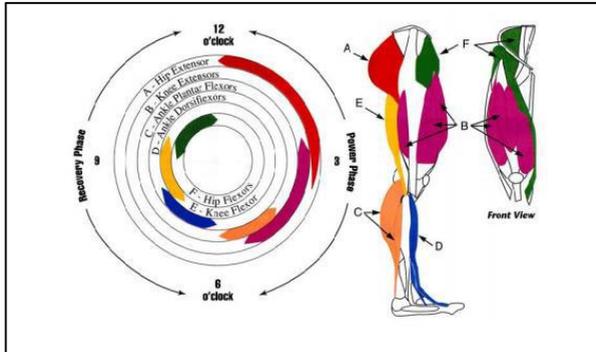
- Fase III - Repulsión: Movimiento de máxima extensión tanto de cadera como de rodilla y flexión dorsal del tobillo. Esto se realiza mediante una contracción concéntrica de isquiotibiales, cuádriceps y dorsiflexores.

- Fase IV - Elevación: Movimiento de flexión de cadera y rodilla y flexión dorsal del tobillo. Se realiza a través de la contracción concéntrica del psoas, cuádriceps e isquiotibiales y la contracción excéntrica de glúteos y dorsiflexores del tobillo. [4]



**Figura 9.** Fases de un ciclo de pedaleo

En la siguiente imagen (Figura 9) se observan las cuatro fases descritas anteriormente, mostrando en cada una de ellas la musculatura empleada en cada ciclo completo de pedaleo.



**Figura 10.** Fases biomecánicas del pedaleo.

## DISEÑO DE EXPERIMENTOS

En este apartado se va a realizar un análisis de las diferentes configuraciones que se pueden tener a la hora de posicionar el sillín de la bicicleta con la finalidad de conseguir una potencia superior. Para ello, mediante el software StatGraphics® se va a realizar un análisis estadístico para observar cual es la mejor combinación de posiciones y que nos permita obtener la mayor potencia (objetivo).

Para comenzar con el análisis, se partió de una posición base obtenida gracias a una hoja de cálculo en la cual se introducían las medidas del ciclista para el cual se está realizando el estudio, y con ello nos indicaba la posición correcta del sillín, la cual vamos a llamar "posición inicial". Dicha posición era a una altura de 70 centímetros. A partir de aquí, se optó por realizar un análisis en distintas posiciones, tanto aumentando y disminuyendo la altura del sillín, como avanzando y retrasando la distancia hasta el manillar.



**Figura 11.** Representación del posicionamiento del sillín para la obtención de la máxima potencia.

El experimento se realizó con un total de 10 posibilidades, combinando las diferentes posiciones por las que se optó. Estas posiciones fueron las siguientes:

- Posición inicial (70 cm hasta el eje de rotación del pedal) con el sillín retrasado.
- Posición inicial (70 cm hasta el eje de rotación del pedal) con el sillín avanzado.
- 2,5 centímetros por encima de la posición inicial con el sillín retrasado.
- 2,5 centímetros por encima de la posición inicial con el sillín avanzado.
- 2,5 centímetros por debajo de la posición inicial con el sillín retrasado.
- 2,5 centímetros por debajo de la posición inicial con el sillín avanzado.
- 5 centímetros por encima de la posición inicial con el sillín retrasado.
- 5 centímetros por encima de la posición inicial con el sillín avanzado.
- 5 centímetros por debajo de la posición inicial con el sillín retrasado.

- 5 centímetros por debajo de la posición inicial con el sillín avanzado.

Las variables del avance del sillín las consideramos como se indican a continuación:

- Sillín retrasado: Posición negativa (-)
- Sillín avanzado: Posición positiva (+)

Cabe mencionar que, la altura del posicionamiento del sillín, se realizaba midiendo con una cinta métrica desde el eje de rotación de la biela del pedal y siguiendo el eje hasta el propio sillín, como se puede observar en la figura 10. Se contó a su vez, con un soporte de rodillo para poder simular el avance en la bicicleta estando en la misma posición y un tacómetro analógico con el que se hacía contacto en la rueda trasera (soportada sobre el rodillo) en movimiento para realizar la medición.

Para cada una de las variantes de la posición del sillín, se realizó una medición de la potencia máxima, en revoluciones por minuto, que se podía llegar a obtener para cada una de ellas. Estas mediciones son las que se observan en la siguiente tabla creada en el StatGraphics® para realizar el posterior análisis.

	BLOQUE	Altura sillín	Avance sillín	rpm
		cm	cm	rpm
1	1	-5	-1,0	510
2	1	-5	1,0	490
3	1	-2.5	-1,0	570
4	1	-2.5	1,0	510
5	1	0	-1,0	630
6	1	0	1,0	480
7	1	+2.5	-1,0	490
8	1	+2.5	1,0	440
9	1	+5	-1,0	425
10	1	+5	1,0	320

**Figura 12.** Resultados obtenidos para cada una de las posiciones en estudio

Como se puede observar, la posición en la que se obtiene una mayor potencia sería en la que la altura del sillín se encuentra en la posición inicial 0 y con el sillín retrasado. Posteriormente se realizará un análisis para comprobar si esta posición se encuentra en el rango de los ángulos establecidos para tener el cuerpo situado en una posición correcta sobre la bicicleta.

Una vez introducidos los valores del experimento, se puede proceder a realizar el análisis estadístico mediante el programa, introduciendo en el mismo que el objetivo es el de maximizar la potencia (rpm), que los factores son la altura del sillín y el avance de este y, realizando un análisis multifactorial.

Con ello, podemos obtener la tabla ANOVA siguiente en la cual se muestra la importancia que tiene cada uno de los factores (altura del sillín y avance) sobre la variable dependiente de la potencia (rpm).

<b>Análisis de Varianza para rpm - Suma de Cuadrados Tipo III</b>					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>EFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Altura sillín	42390,0	4	10597,5	8,17	0,0331
B:Avance sillín	14822,5	1	14822,5	11,42	0,0278
RESIDUOS	5190,0	4	1297,5		
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	<b>62402,5</b>	<b>9</b>			

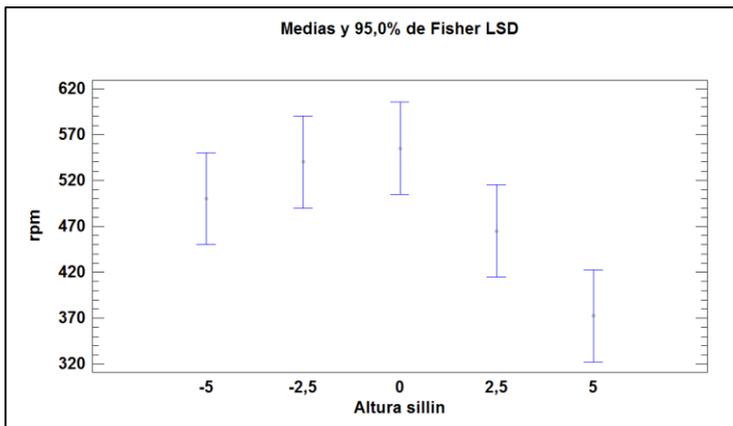
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Figura 13.** Tabla ANOVA obtenida mediante StatGraphics® para el experimento en estudio

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de la potencia (rpm) obtenidas en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que los dos valores-P son menores que 0.05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre los rpm con un 95,0% de nivel de confianza.

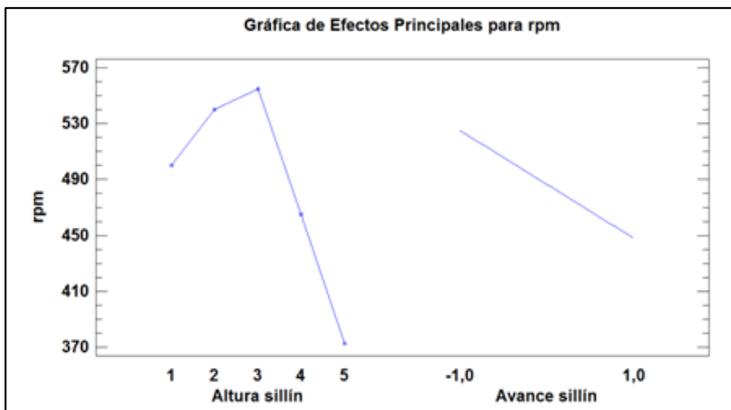
A continuación, se van a utilizar los gráficos de intervalos LSD para interpretar los resultados obtenidos de los efectos simples. En ellos se pueden observar: en el eje "Y" los valores de la variable dependiente de la potencia (rpm) que se dan dependiendo del tipo de configuración de los diferentes factores aplicando una confiabilidad del 95%.

Con este tipo de gráficos se puede interpretar que cuando los intervalos no se encuentran en la misma línea horizontal, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de la variable de estudio por lo que estará siendo afectada por un factor o conjunto de factores.



**Figura 14.** Gráfico de intervalos LSD obtenidos mediante el programa StatGraphics®

Mediante este programa se pueden obtener otros datos significativos importantes. A continuación, se muestra el gráfico de efectos principales para observar de manera gráfica la evolución de la potencia obtenida dependiendo de la posición establecida.



**Figura 15.** Gráfico de los efectos principales para los RPM obtenidos mediante el programa StatGraphics®

En esta última gráfica podemos observar la significancia que tiene el aumento de la altura del sillín y el avance de este. Se observa que, conforme va aumentando la altura del sillín, llega a un máximo de rendimiento y, a partir del cual comienza a disminuir drásticamente hasta la posición 5 que sería en la que el sillín se encuentra a una altura de 75 centímetros.

En cuanto al avance del sillín, mediante este gráfico podemos observar que cuando el sillín se encuentra en el avance negativo (sillín retrasado), se genera una potencia superior a cuando el sillín se encuentra en posición de avance, por lo que dicha posición sería la ideal para la obtención de la máxima potencia.

Una vez realizado el análisis de experimentos mediante el programa StatGraphics y analizada la significancia de los factores, se ha concluido con la selección de varias combinaciones de posiciones para analizar posteriormente la cinemática del movimiento que generan y poder con ello observar y comparar los ángulos significativos en los que el ciclista se vería posicionado. Estas combinaciones han sido las que se indican a continuación:

- Posición inicial (70 cm hasta el eje de rotación del pedal) con el sillín retrasado. (Se ha seleccionado ya que es la posición con la que se obtiene la mayor potencia)
- 2,5 centímetros por debajo de la posición inicial con el sillín retrasado. (Se ha seleccionado ya que es la segunda posición con la que se obtiene mayor potencia)
- 5 centímetros por debajo de la posición inicial con el sillín avanzado. (Se ha seleccionado ya que es la posición con la que se obtiene menor potencia, con la finalidad de comprobar que efectivamente los ángulos no entran en el rango establecido)

## **ANÁLISIS CINEMÁTICO**

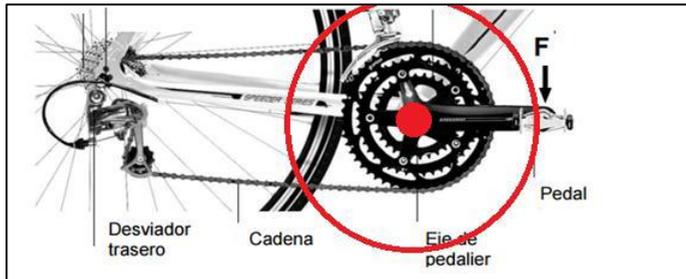
### **Descripción de análisis**

En esta sección se muestra la medición de ciertos ángulos y longitudes durante el movimiento de pedaleo sobre una bicicleta de montaña, es decir se hará un análisis cinemático de la actividad, ya que no se evaluarán las fuerzas que intervienen en la acción.

Basados tanto en la información recopilada en el estado de arte, como en los resultados obtenidos en el diseño de experimento realizado para medir las revoluciones registradas en función del ajuste dimensional de la bicicleta, en el cual se determinaron tanto la configuración que arrojó mayores rpm como la que arrojó menores rpm (y sus intermedios); procedemos a realizar el análisis cinemático para lo que brevemente se definirán las posiciones del pedal que sirvieron como pilar del estudio.

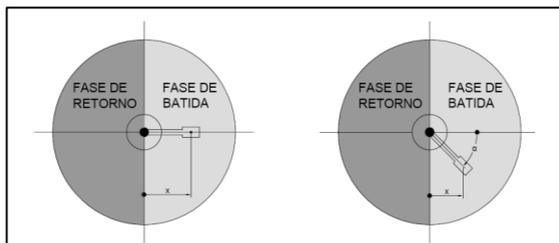
Se definirán las posiciones y ángulos causales de las mismas basados la posición del pedal a través de la circunferencia que este

describe al rotar sobre el eje de la biela. A continuación, se muestra una imagen con solo algunos de los elementos físicos que intervienen en esta parte del sistema, es decir el pedal y eje de pedalier (destacando que existen otros elementos como la biela, platos, entre otros pero que a fines de descripción del movimiento no se precisan).



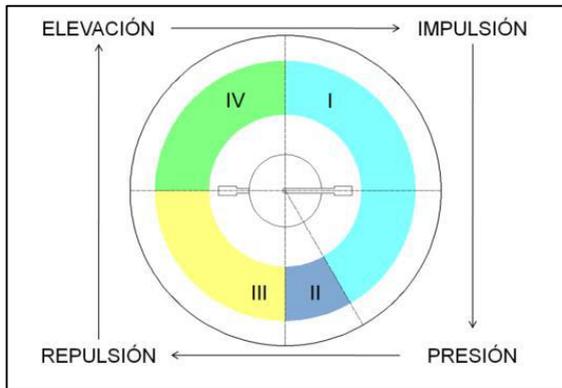
**Figura 16.** Movimiento descrito por el pedal de la bicicleta alrededor del eje de pedalier

En este mismo sentido, a través de los  $360^\circ$  que describe la circunferencia del pedal, pueden definirse primeramente dos zonas de  $180^\circ$ ; una zona de "Fase de batida" y otra zona de "Fase de retorno" [4]. En la imagen siguiente puede verse estas zonas bien definidas.



**Figura 17.** Diferentes fases del pedaleo

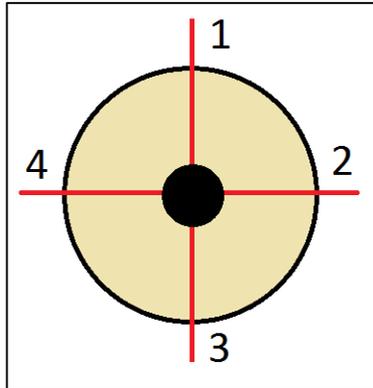
Y si miramos más a profundidad como transcurren estas dos fases, entonces se tendría que descomponer a cuatro fases: impulsión, presión, repulsión y elevación. En la imagen siguiente puede verse claramente estas cuatro fases durante el movimiento circular de pedaleo.



**Figura 18.** Fases de un ciclo de pedaleo

Diciendo esto, se definirán por lo tanto cuatro momentos durante el movimiento circular de la acción de pedaleo para realizar las mediciones para análisis cinemático estas posiciones son: 1- posición más elevada ( $\approx$ máxima flexión de rodilla), 2- posición más adelantada, 3- posición más baja ( $\approx$ máxima extensión de rodilla), y 4- posición más retrasada; aunque bien en la información recaudada resaltan la importancia de tres posiciones (1,2,3).

En la siguiente imagen se ven las posiciones durante el movimiento circular que servirán de referencia para las mediciones respectivas.



**Figura 19.** Posiciones referenciales para realizar las mediciones

De los resultados obtenidos con el diseño de experimento, se utilizarán tres (3) configuraciones para realizarle el estudio de la cinemática. Las configuraciones elegidas fueron:

- a) La que arrojó menores RPM
- b) La que arrojó mayores RPM
- c) La que arrojó las 2da's mayores RPM

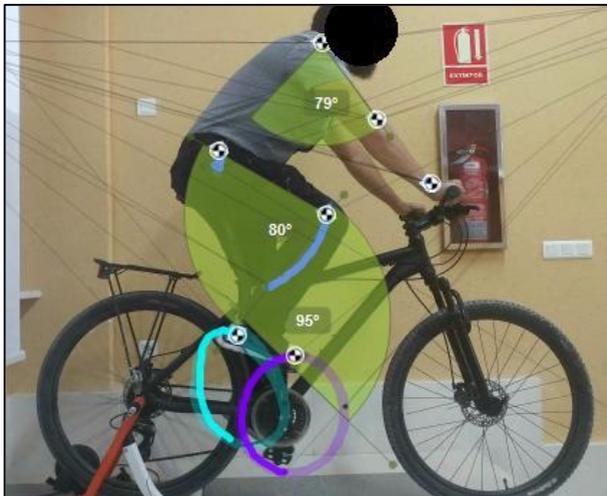
A su vez, se utilizarán tres articulaciones como origen de sistema de referencia, estas articulaciones (partes de cuerpo) son: Rodilla, tobillo y hombro. La medición angular de la articulación de la rodilla se hará en relación a la cadera y el tobillo; la medición angular para el hombro, se hará en relación con el codo y la cadera; mientras que la medición angular para el tobillo, se hará en relación con la rodilla y el eje del pedal es decir sobre el metatarso. De igual forma se evaluará el desempeño o movimiento longitudinal vertical que tiene la cadera a lo largo del ciclo (desplazamiento total)

### Realización de las mediciones en las posiciones descritas

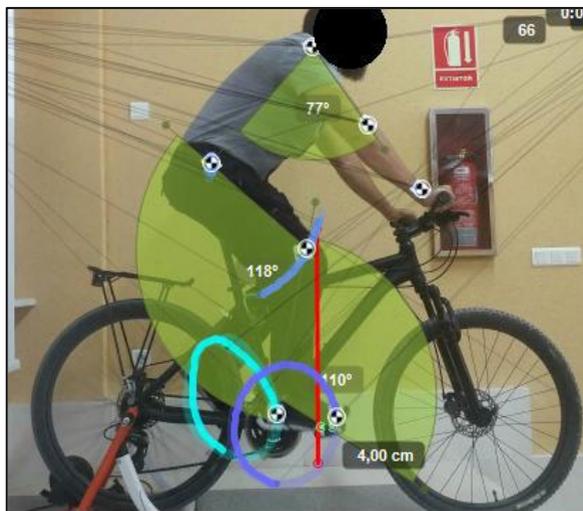
Se realizarán las mediciones cinemáticas de las posiciones descritas anteriormente junto con los sistemas de referencia para las medidas y con las configuraciones (ajuste biomecánico de la bicicleta) especificadas también anteriormente.

### Configuración 1 (menores RPM)

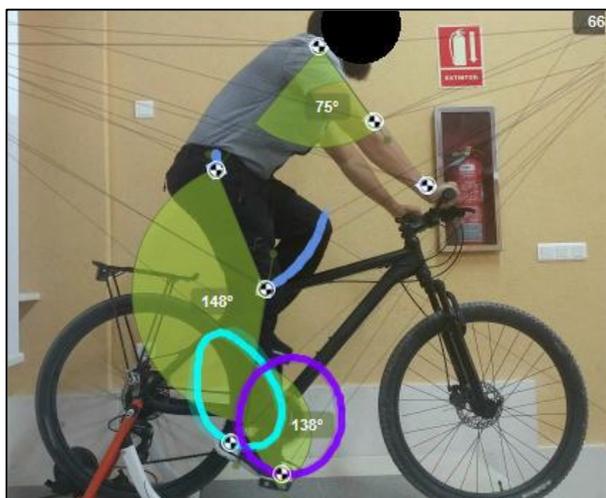
La configuración 1, como ya se ha visto, fue la que arrojó menor valor de RPM en los resultados del diseño de experimento realizado, ahora se procederá a realizar las mediciones angulares y longitudinales con respecto a los sistemas de referencia descritos anteriormente y según las posiciones de los pedales durante la fase de pedaleo también determinadas anteriormente. Para esto, se mostrarán las imágenes de las mediciones y luego de estas se realiza un cuadro de resultados para sintetizar la información.



**Figura 20.** Posición 1 de la Configuración 1



**Figura 21.** Posición 2 de la Configuración 1



**Figura 22.** Posición 3 de la Configuración 1



**Figura 23.** Posición 4 de la Configuración 1



**Figura 24.** Desplazamiento máximo del marcador de la cadera en "Y" (configuración 1)

**Tabla 2.** Mediciones de análisis de la cinemática con la configuración 1

<b>Configuración 1</b>				
<b>SIST. DE REFERENCIA</b>	<b>POSICIÓN 1</b>	<b>POSICIÓN 2</b>	<b>POSICIÓN 3</b>	<b>POSICIÓN 4</b>
RODILLA (°)	80	119	148	93
HOMBRO(°)	79	77	75	73
TOBILLO(°)	95	110	138	118
DESPLAZAMIENTO TOTAL DEL MARCADOR DE LA CADERA EN "Y" (cm)				<b>8</b>

**Configuración 2 (mayores RPM)**

La configuración 2, como ya se vio, fue la que arrojó el mayor valor de RPM en los resultados del diseño de experimento realizado, ahora se procederá a realizar las mediciones angulares y longitudinales con respecto a los sistemas de referencia descritos anteriormente y según las posiciones de los pedales durante la fase de pedaleo también determinadas anteriormente. Para esto, se mostrarán las imágenes de las mediciones y luego de estas se realiza un cuadro de resultados para sintetizar la información.



**Figura 25.** Posición 1 de la Configuración 2



**Figura 26.** Posición 2 de la Configuración 2



**Figura 27.** Posición 3 de la Configuración 2



**Figura 28.** Posición 4 de la Configuración 2



**Figura 29.** Desplazamiento máximo del marcador de la cadera en "Y" (configuración 2).

**Tabla 3.** Mediciones de análisis de la cinemática con la configuración 2

<b>Configuración 2</b>				
<b>SIST. DE REFERENCIA</b>	<b>POSICIÓN 1</b>	<b>POSICIÓN 2</b>	<b>POSICIÓN 3</b>	<b>POSICIÓN 4</b>
RODILLA (°)	71	111	133	85
HOMBRO(°)	80	76	74	75
TOBILLO(°)	95	112	132	113
DESPLAZAMIENTO TOTAL DEL MARCADOR DE LA CADERA EN "Y" (cm)				<b>4,7</b>

### Configuración 3 (2da mayor en RPM)

La configuración 3, como se ha mencionado antes, fue la segunda configuración con mayor resultado en rpm en el diseño de experimento realizado, ahora se procederá a realizar la mediciones angulares y longitudinales con respecto a los sistemas de referencia descritos anteriormente y según las posiciones de los pedales durante la fase de pedaleo también determinadas anteriormente. Para esto, se mostrarán las imágenes de las mediciones y luego de estas se realiza un cuadro de resultados para sintetizar la información.



**Figura 30.** Posición 1 de la Configuración 3.



**Figura 31.** Posición 2 de la Configuración 3



**Figura 32.** Posición 3 de la Configuración 3



**Figura 33.** Posición 4 de la Configuración 3



**Figura 34.** Desplazamiento máximo del marcador de la cadera en "Y" (configuración 3)

**Tabla 4.** Mediciones de análisis de la cinemática con la configuración 3

<b>Configuración 3</b>				
<b>SIST. DE REFERENCIA</b>	<b>POSICIÓN 1</b>	<b>POSICIÓN 2</b>	<b>POSICIÓN 3</b>	<b>POSICIÓN 4</b>
RODILLA (°)	77	118	140	92
HOMBRO(°)	81	80	80	82
TOBILLO(°)	116	122	147	140
DESPLAZAMIENTO TOTAL DEL MARCADOR DE LA CADERA EN "Y" (cm)				<b>3,9</b>

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta parte del estudio, se analizarán los resultados obtenidos tanto en el diseño de experimento (rpm máximas alcanzadas según las distintas configuraciones establecidas) con los resultados del análisis de la cinemática de la acción de pedalear, estableciendo una correlación entre los resultados para cada configuración analizada, contrastándola claro está, con los valores o mejor dicho rango de valores que en el estado de arte se han encontrado como adecuados según la posición en la fase de pedaleo. A su vez en caso de existir, se enfatizará en las peculiaridades apreciadas en cada configuración.

### Configuración 1

La configuración 1, fue la configuración que arrojó los menores valores de rpm alcanzadas (320), con la altura de sillín de 75 cm y con el máximo desplazamiento hacia adelante del sillín; se analizarán las medidas obtenidas en el análisis de la cinemática de esta acción.

En la posición número 1 del pedal, en donde se dice que se considera como la posición donde más flexionada está la rodilla, las fuentes consultadas establecen que el ángulo en esta posición no

deberá ser menor que  $70^\circ$  ya que de lo contrario se estaría sometiendo la articulación a grandes fuerzas de cizallamiento, y podría traer como consecuencia molestias en la cadera y espalda baja; en nuestro caso, el valor arrojado fue de  $80^\circ$  por lo que se considera que es adecuada la posición de la articulación en este momento de la acción, aunque no se ha encontrado un valor que suponga un tope para una máxima diferencia.

En la posición número 2 se observa que no existe una correcta alineación con respecto al eje vertical entre la rodilla y el punto de apoyo en el pedal, es decir en el metatarso. En este punto el ángulo de la rodilla (con respecto a la cadera y el tobillo) ha pasado de  $80^\circ$  a  $119^\circ$ , y tiene un desfase angular de  $\approx 5^\circ$  que corresponden a  $\approx 4$  cm. Por lo que esta regla no se cumple, aunque es de resaltar que esta falta de alineación de 4 cm ocurre en cierta forma de manera positiva (la rodilla por detrás del metatarso), ya que cuando el desfase ocurre de la forma contraria (es decir la rodilla por delante del metatarso) se considera altamente negativo y con repercusiones a la articulación.

En la posición número 3 del pedal, que en este caso se considera como la posición donde hay mayor extensión de la rodilla, y punto donde el par ejercido es menor (debido a la ausencia de momento), las fuentes consultadas establecen que para los varones los valores son generalmente de  $141^\circ$ , con pequeñas variaciones y que ciertamente existirán personas que con valores poco más inferiores a este puedan sentirse más cómodas. En nuestro caso la medida para esta posición fue de  $148^\circ$ , un poco por encima de los valores estipulados y destacando que como se dijo, ciertas personas suelen sentirse más cómodas con valores inferiores mas no superiores al recomendado.

En la posición número 4, el ángulo alcanzado fue de  $93^\circ$ . Se enumera este valor, pero las fuentes consultadas no ofrecen una referencia en cuanto a rangos aceptables para esta posición, pero se especula que entre mayor (versus la posición 1) sea este valor, será mejor ya que se aleja del valor en el que se pudieran

experimentar grandes fuerzas de cizalladura en la rodilla que en este caso fue  $80^\circ$  (siendo que a menos de  $70^\circ$  ya se empezarían a presentar este tipo de esfuerzos).

En cuanto al ángulo formado por el marcador del hombro (como sistema de referencia) con respecto al marcador del codo y la cadera, las fuentes consultadas estiman que un rango angular adecuado para esta medida es de entre  $85-90^\circ$  durante todo el recorrido; en nuestro caso este valor fue de  $76^\circ$  como media entre las cuatro posiciones, ciertamente por debajo de los valores recomendados.

Y con respecto al ángulo o mejor dicho a la variación del ángulo en el marcador del tobillo (como sistema de referencia) con respecto a la rodilla y metatarso, las fuentes consultadas determinan como adecuado que esta articulación experimente una variación entre  $15-20^\circ$  típicamente para los ciclistas; en nuestro caso esta variación fue de  $43^\circ$ . Otras fuentes inclusive indican que usualmente se suele inferir que un rango de movimiento en la articulación del tobillo mayor a  $20^\circ$  es indicativo que el sillín está muy elevado, de igual forma se dice que si el rango es inferior a  $15^\circ$  es un indicativo que el sillín está muy bajo. En vista de esto podríamos decir que, según el rango angular alcanzado el asiento estaría excesivamente elevado (coincide al ser la configuración con mayor distancia de altura), más sin embargo también hay que recordar que también irá en función de la fidelidad del movimiento y de la persona a la que se le realiza la medición pudiendo influir costumbres propias del sujeto.

De igual forma se midió el rango de desviación del marcador de la cadera en el eje "Y", sirviendo para establecer una relación entre el aporte que realizan otros músculos y partes del cuerpo que se involucran para realizar la acción además de los que normalmente actúan versus la desviación obtenida. Diciendo que, a mayor desviación en este marcador, mayor es el aporte de partes de la anatomía que no deberían estar interviniendo de esta manera, por lo que sería indicativo de un sillín muy elevado. Esto simplemente servirá de comparación entre las distintas configuraciones

realizadas, y ver cuál de ellas realiza el movimiento con menor desplazamiento de este marcador, siendo deseable el valor más bajo. En esta configuración el valor de desplazamiento para el marcador de la cadera en el eje "Y" fue de 8 cm. Una medida bastante elevada, que más que aporte de grupos musculares, podría interpretarse como los movimientos adicionales que realiza esta parte corporal (cadera) para intentar alcanzar y mantener el pie en el pedal durante toda la fase del pedaleo.

## **Configuración 2**

Siguiendo con la configuración 2, que arrojó los valores máximos de rpm alcanzadas (630), con la altura de sillín de 70 cm y con el máximo desplazamiento hacia atrás del sillín; se analizarán las medidas obtenidas en el análisis de la cinemática de esta acción.

En la posición número 1 del pedal, en donde se dice que se considera como la posición donde más flexionada está la rodilla, las fuentes consultadas establecen que el ángulo en esta posición no deberá ser menor que  $70^\circ$  ya que de lo contrario se estaría sometiendo la articulación a grandes fuerzas de cizallamiento, y podría traer como consecuencia molestias en la cadera y espalda baja; en nuestro caso, el valor arrojado fue de  $71^\circ$  por lo que se considera que es adecuada la posición de la articulación en este momento de la acción.

En la posición número 2 se observa que existe una correcta alineación con respecto al eje vertical entre la rodilla y el punto de apoyo en el pedal, es decir en el metatarso. En este punto el ángulo de la rodilla (con respecto a la cadera y el tobillo) ha pasado de  $111^\circ$ .

En la posición número 3 del pedal, que en este caso se considera como la posición donde hay mayor extensión de la rodilla, y punto donde el par ejercido es menor (debido a la ausencia de momento), las fuentes consultadas establecen que para los varones los valores son generalmente de  $141^\circ$ , con pequeñas variaciones y

que ciertamente existirán personas que con valores poco más inferiores a este puedan sentirse más cómodas. En nuestro caso la medida para esta posición fue de  $133^\circ$ , un poco por debajo de lo recomendado, más sin embargo puede considerarse que es una pequeña diferencia.

En la posición número 4, el ángulo alcanzado fue de  $85^\circ$ . Se enumera este valor, pero las fuentes consultadas no ofrecen una referencia en cuanto a rangos aceptables para esta posición, pero se especula que entre mayor (versus la posición 1) sea este valor, será mejor ya que se aleja del valor en el que se pudieran experimentar grandes fuerzas de cizalladura en la rodilla que en este caso fue  $71^\circ$  (siendo que a menos de  $70^\circ$  ya se empezarían a presentar este tipo de esfuerzos).

En cuanto al ángulo formado por el marcador del hombro (como sistema de referencia) con respecto al marcador del codo y la cadera, las fuentes consultadas estiman que un rango angular adecuado para esta medida es de entre  $85-90^\circ$  durante todo el recorrido; en nuestro caso este valor fue de  $76^\circ$  como media entre las cuatro posiciones.

Y con respecto al ángulo o mejor dicho a la variación del ángulo en el marcador del tobillo (como sistema de referencia) con respecto a la rodilla y metatarso, las fuentes consultadas determinan como adecuado que esta articulación experimente una variación entre  $15-20^\circ$  típicamente para los ciclistas; en nuestro caso esta variación fue de  $37^\circ$ . Otras fuentes inclusive indican que usualmente se suele inferir que un rango de movimiento en la articulación del tobillo mayor a  $20^\circ$  es indicativo que el sillín está muy elevado, de igual forma se dice que si el rango es inferior a  $15^\circ$  es un indicativo de que el sillín está muy bajo. En vista de esto podríamos decir que, según el rango angular alcanzado, el asiento estaría muy elevado, más sin embargo también hay que recordar que también irá en función de la fidelidad del movimiento y de la persona a la que se le realiza la medición pudiendo influir costumbres propias del sujeto.

De igual forma se midió el rango de desviación del marcador de la cadera en el eje "Y", sirviendo para establecer una relación entre el aporte que realizan otros músculos y partes del cuerpo que se involucran para realizar la acción además de los que normalmente actúan versus la desviación obtenida. Diciendo que, a mayor desviación en este marcador, mayor es el aporte de partes de la anatomía que no deberían estar interviniendo de esta manera, por lo que sería indicativo de un sillín muy elevado. Esto simplemente servirá de comparación entre las distintas configuraciones realizadas, y ver cuál de ellas realiza el movimiento con menor desplazamiento de este marcador, siendo deseable el valor más bajo. En esta configuración el valor de desplazamiento para el marcador de la cadera en el eje "Y" fue de 4,7 cm.

### **Configuración 3**

Por último, tenemos la configuración 3, que arrojó el segundo valor máximo de rpm alcanzadas (570), con la altura de sillín de 67,5 cm y con el máximo desplazamiento hacia atrás del sillín; se analizarán las medidas obtenidas en el análisis de la cinemática de esta acción.

En la posición número 1 del pedal, en donde se dice que se considera como la posición donde más flexionada está la rodilla, las fuentes consultadas establecen que el ángulo en esta posición no deberá ser menor que  $70^\circ$  ya que de lo contrario se estaría sometiendo la articulación a grandes fuerzas de cizallamiento, y podría traer como consecuencia molestias en la cadera y espalda baja; en nuestro caso, el valor arrojado fue de  $77^\circ$  por lo que se considera que es adecuada la posición de la articulación en este momento de la acción, aún más que la configuración 2, ya que se aleja más del ángulo a partir del cual se corre el riesgo de someterla a grandes esfuerzos de cizalla, aunque un poco menos que la configuración 1.

En la posición número 2 se observa que no existe una correcta alineación con respecto al eje vertical entre la rodilla y el punto de

apoyo en el pedal, es decir en el metatarso. En este punto el ángulo de la rodilla (con respecto a la cadera y el tobillo) ha pasado de  $77^\circ$  a  $118^\circ$ , y tiene un desfase angular de  $\approx 5^\circ$  que corresponden a  $\approx 4,4$  cm. Por lo que esta regla no se cumple, aunque es de resaltar que esta falta de alineación de  $\approx 4,4$  cm ocurre en cierta forma de manera positiva (la rodilla por detrás del metatarso), ya que cuando el desfase ocurre de la forma contraria (es decir la rodilla por delante del metatarso) se considera altamente negativo y con repercusiones a la articulación.

En la posición número 3 del pedal, que en este caso se considera como la posición donde hay mayor extensión de la rodilla, y punto donde el par ejercido es menor (debido a la ausencia de momento), las fuentes consultadas establecen que para los varones los valores son generalmente de  $141^\circ$ , con pequeñas variaciones y que ciertamente existirán personas que con valores poco más inferiores a este puedan sentirse más cómodas. En nuestro caso la medida para esta posición fue de  $140^\circ$ , justo en el valor recomendado.

En la posición número 4, el ángulo alcanzado fue de  $92^\circ$ . Se enumera este valor, pero las fuentes consultadas no ofrecen una referencia en cuanto a rangos aceptables para esta posición, pero se especula que entre mayor (versus la posición 1) sea este valor, será mejor ya que se aleja del valor en el que se pudieran experimentar grandes fuerzas de cizalladura en la rodilla que en este caso fue  $77^\circ$  (siendo que a menos de  $70^\circ$  ya se empezarían a presentar este tipo de esfuerzos). Comparándolo con el resultado de la misma medición, pero con la configuración 2, que fue de  $85^\circ$ , hay un incremento de  $7^\circ$  a favor.

En cuanto al ángulo formado por el marcador del hombro (como sistema de referencia) con respecto al marcador del codo y la cadera, las fuentes consultadas estiman que un rango angular adecuado para esta medida es de entre  $85-90^\circ$  durante todo el recorrido; en nuestro caso este valor fue de  $80^\circ$  como media entre

las cuatro posiciones. Mejorando la misma medida con respecto a la configuración 2 (mayores rpm) en  $\approx + 3,5^\circ$ .

Y con respecto al ángulo o mejor dicho a la variación del ángulo en el marcador del tobillo (como sistema de referencia) con respecto a la rodilla y metatarso, las fuentes consultadas determinan como adecuado que esta articulación experimente una variación entre  $15 - 20^\circ$  típicamente para los ciclistas; en nuestro caso esta variación fue de  $31^\circ$ . Otras fuentes inclusive indican que usualmente se suele inferir que un rango de movimiento en la articulación del tobillo mayor a  $20^\circ$  es indicativo que el sillín está muy elevado, de igual forma se dice que si el rango es inferior a  $15^\circ$  es un indicativo que el sillín está muy bajo. En vista de esto podríamos decir que, según el rango angular alcanzado, el asiento estaría muy elevado, pero si se hace la comparación con la misma medida para la configuración 2 que fue de  $37^\circ$  se han ganado  $- 6^\circ$ , más sin embargo también hay que recordar que también irá en función de la fidelidad del movimiento y de la persona a la que se le realiza la medición pudiendo influir costumbres propias del sujeto.

De igual forma se midió el rango de desviación del marcador de la cadera en el eje "Y", sirviendo para establecer una relación entre el aporte que realizan otros músculos y partes del cuerpo que se involucran para realizar la acción además de los que normalmente actúan versus la desviación obtenida. Diciendo que, a mayor desviación en este marcador, mayor es el aporte de partes de la anatomía que no deberían estar interviniendo de esta manera, por lo que sería indicativo de un sillín muy elevado. Esto simplemente servirá de comparación entre las distintas configuraciones realizadas, y ver cuál de ellas realiza el movimiento con menor desplazamiento de este marcador, siendo deseable el valor más bajo. En esta configuración el valor de desplazamiento para el marcador de la cadera en el eje "Y" fue de 3,9 cm. Menor que el desplazamiento experimentado con la configuración 2; con lo que se podría inferir que existen menor intervención de esta parte

corporal (cadera) y demás grupos musculares involucrados (no regulares a ejercer la contribución) al movimiento de pedaleo.

## **CONCLUSIONES**

Como se ha podido comprobar a lo largo de este estudio, con un poco de información acertada y algunos elementos que no necesariamente tienen que ser de alta tecnología, se pueden realizar experimentos con relaciones entre las rpm desarrolladas versus la configuración de adaptación biomecánica de la bicicleta al usuario. Este análisis de experimento se realizó empleando un tacómetro analógico y un soporte de rodillo para bicicleta para medir las rpm que desarrollaba el usuario sobre una bicicleta MT. Mientras que, para realizar el diseño de experimento, se recurrió al uso del programa STATGRAPHICS®, que nos permitió establecer en este caso una variable respuesta "rpm" y dos factores "Altura del sillín" y "Desplazamiento horizontal del sillín". Como pudimos ver obtuvimos tres configuraciones significativas, una que nos arrojó más rpm, otra que nos arrojó el menor rpm y por último la segunda en mayor rpm. También nos permitió determinar que la altura del sillín era el factor que más influía en la obtención de mayor o menor rpm, mientras que el desplazamiento horizontal completamente hacia atrás del sillín, era como mejor contribuía ese factor en el desarrollo de mayores rpm. Ambos factores como se vio, eran significativos para la salida de la variable deseada, ya que su valor P fue de 0,03 y 0,02.

Seguidamente pudimos comprobar cómo la información recopilada y analizada en el estado de arte, nos serviría para realizar y comprobar las mediciones hechas en el análisis de la cinemática de esta acción de pedaleo; contando con el programa KINOVEA®, se pudieron descomponer las imágenes en "Frames" y nos ubicamos precisamente en los momentos deseados para realizar las mediciones pertinentes; de igual forma, pudimos exportar los datos

para realizar análisis de desplazamientos de la articulación de la rodilla, velocidades de desplazamiento (que finalmente no fueron utilizados) entre otros datos útiles para el estudio. Para esto como se pudo ver en ese capítulo, se tomaron las tres configuraciones elegidas tras el análisis del experimento realizado, y se establecieron 4 momentos específicos de la acción de pedalear para tomar medidas en los sistemas de referencia elegidos (rodilla, hombro y tobillo).

Finalmente, luego de realizar el análisis de la información que arrojó el estudio de la cinemática del movimiento de pedaleo, y contrastándola con los resultados de los experimentos, pudimos determinar varias cuestiones, como:

La configuración que menor rpm arrojó (320), es decir la configuración que presentó el más alto valor para la flexión máxima de la rodilla con  $80^\circ$ , por encima del límite inferior en  $10^\circ$  (sobre  $70^\circ$ ), siendo que por debajo de  $70^\circ$  pueden presentarse ciertos problemas, por lo que se llega al máximo permisible. Sin embargo, no se cumple la condición de que la rodilla y el metatarso se alineen verticalmente en la posición 2, puesto que existe un incremento de  $\approx 5^\circ$  que representan  $\approx 4$  cm, pero como se vio, esta diferencia entre las verticales ocurre de cierta forma "positivamente" ya que la rodilla se encuentra por detrás del metatarso, siendo que el caso contrario si sería desfavorable, de igual forma sucedió con la configuración 3. En este mismo sentido, en cuanto a la extensión máxima de la rodilla (posición 3) el valor obtenido de  $148^\circ$  es un poco por encima del valor recomendado (para la media) para los hombres que es de  $141^\circ \pm 1$ , por lo que habría que definir hasta que ángulo es aceptable por el límite superior. El ángulo formado en el hombro como sistema de referencia con respecto al codo y la cadera fue de  $76^\circ$ , siendo lo recomendado entre  $85^\circ$ - $90^\circ$ , con lo que se dice que se está por debajo del rango recomendado. La variación angular del tobillo con respecto a la rodilla y el metatarso, fue de  $43^\circ$  (no se usaron zapatilla con agarre), debiendo estar entre  $15^\circ$ - $20^\circ$ , pudiéndose decir que el sillín estaba muy alto, en esta ocasión puede

relacionarse de esta manera debido a que es el valor más alto obtenido entre las configuraciones y a su vez, es la configuración con la mayor distancia de altura de sillín. Una particularidad fue que la desviación máxima de la cadera con esta configuración fue de 8 cm (en "Y"), siendo el valor más alto obtenido entre las demás configuraciones, por tanto, se puede concluir que intervienen partes del cuerpo que normalmente no deberían o por lo menos en otra magnitud, en este caso se dice que más que para aportar grupos musculares para otorgar mayor fuerza, estos movimientos adicionales se deben al intento por alcanzar y mantener el pie en el pedal durante toda la fase del pedaleo, lo que puede traer serie consecuencias y molestias para el usuario.

La configuración que mayor rpm arrojó (630 RPM), el valor de la flexión máxima de la rodilla un poco por encima del límite inferior, en  $1^\circ$  más (sobre  $70^\circ$ ), siendo que por debajo de  $70^\circ$  pueden presentarse ciertos problemas; mientras que se cumple cabalmente el que la rodilla y el metatarso se alineen verticalmente en la posición 2. En este mismo sentido, en cuanto a la extensión máxima de la rodilla (posición 3) el valor obtenido de  $133^\circ$  está por debajo del valor recomendado (para la media) para los hombres que es de  $141^\circ$ , por lo que no se estaría aprovechando correctamente el movimiento a pesar de haber arrojado los mayores rpm. El ángulo formado en el hombro como sistema de referencia con respecto al codo y la cadera fue de  $76^\circ$  (al igual que la configuración 1), siendo lo recomendado entre  $85^\circ$ - $90^\circ$ , con lo que se dice que se estaba un poco por debajo del rango recomendado. La variación angular del tobillo con respecto a la rodilla y el metatarso, fue de  $37^\circ$  (no se usaron zapatilla con agarre), debiendo estar entre  $15^\circ$ - $20^\circ$ , pudiéndose decir que el sillín estaba muy alto; pero como pudimos ver, no siempre esta variación del ángulo responde a esta suposición. Una particularidad fue que la desviación máxima de la cadera fue de 4,7 cm (en "Y"), por tanto, se dice que intervienen de forma inadecuada partes del cuerpo que normalmente no deberían (o por lo menos en otra magnitud), por lo que se dice que la

contribución de la cadera (entre otros) en esta configuración es en parte casual de que se experimente un mayor valor de rpm.

La configuración que arrojó el segundo mayor valor de rpm (570), presentó el valor de la flexión máxima de la rodilla por encima del límite inferior, en  $7^\circ$  más (sobre  $70^\circ$ ), siendo que por debajo de  $70^\circ$  pueden presentarse ciertos problema, por lo que se considera que en esta posición la configuración 3 tiene un mejor desempeño en comparación a la configuración 2; pero a diferencia de la configuración 2 en la posición 2, no se cumple cabalmente el que la rodilla y el metatarso se alineen verticalmente, existiendo un incremento de  $\approx 5^\circ$  que significan  $\approx 4,4$  cm, pero como se vio, esta diferencia entre las verticales ocurre de cierta forma "positivamente" ya que la rodilla se encuentra por detrás del metatarso, siendo que el caso contrario si sería desfavorable, de la misma forma como ocurrió en la configuración 1. En este mismo sentido, en cuanto a la extensión máxima de la rodilla (posición 3) el valor obtenido de  $140^\circ$  está justo en el valor recomendado (para la media) para los hombres que es de  $141^\circ \pm 1$ , por lo que se estaría aprovechando correctamente el movimiento. El ángulo formado en el hombro como sistema de referencia con respecto al codo y la cadera fue de  $80^\circ$ , siendo lo recomendado entre  $85^\circ$ - $90^\circ$ , con lo que se dice que se estaba un poco por debajo del rango recomendado, pero mejor aún que en la configuración 2 en  $\approx + 3,5^\circ$ . La variación angular del tobillo con respecto a la rodilla y el metatarso, fue de  $31^\circ$  (no se usaron zapatilla con agarre), debiendo estar entre  $15^\circ$ - $20^\circ$ , pudiéndose decir que el sillín estaba muy alto; pero como pudimos ver, no siempre esta variación del ángulo responde a esta suposición, aunque en este caso bajó con respecto a la configuración 2 luego de bajar el asiento en 2,5 cm. Una particularidad fue que la desviación máxima de la cadera con esta configuración fue de 3,9 cm, reduciendo el valor con respecto a la configuración 2, por tanto, intervienen en menor medida partes del cuerpo que normalmente no deberían o por lo menos en otra magnitud, por lo que se dice que la contribución de la cadera en menor medida que en la

configuración 2 (entre otros) es en parte casual de que se experimente valor de rpm levemente menor.

En vista de estos resultados, se puede decir que el ajustar antropométricamente una bicicleta a un usuario, depende de una importante cantidad de factores que deben controlarse debidamente, ya que el simple hecho de variar una medida unos pocos centímetros en la dirección equivocada, puede acarrear serias dolencias o malestares al usuario. También destacar que las medidas realizadas pueden estar influenciadas por hábitos propios del sujeto debido a que las mediciones se hacen dinámicamente. A pesar de no haber analizados cuantitativamente las fuerzas que intervienen en la acción, se pudieron llegar a conclusiones o mejor dicho a aproximaciones que permitieron intuir las contribuciones de las mismas para con los resultados de los distintos experimentos.

## REFERENCIAS

- [1] Gutierrez, M., *Revista Motricidad.*, 1, 77-94 (1994).
- [2] LaFortune, M.A, *Cycling from a biomechanical perspective. Sport Sciences Medicine.* 2, 8-10 (1986).
- [3] Sáez, M.A., *Ergonomía de la bicicleta de montaña. Solo Bici, Grupo Alesport*, (2008).
- [4] Fernández Camps, A., *Ingeniería de la bicicleta*. Madrid: Esteyco (2010).



## **“Caracterización de PVC con nanocargas de carbono”**

**M.D. Samper<sup>(1)\*</sup>, D. Garcia-Garcia<sup>(1)</sup>, M. Aldas,<sup>(1,2)</sup>,  
A. Carbonell-Verdu<sup>(1)</sup>; J.M. Ferri <sup>(1)</sup>**

*(1) Instituto de Tecnología de Materiales (ITM), Universitat Politècnica de València  
Plaza Ferrándiz y Carbonell, 1 03801 Alcoy (Alicante)*

*(2) Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología, Facultad de Ingeniería  
Química y Agroindustria, Escuela Politécnica Nacional, Quito 170517, Ecuador.*

### **RESUMEN**

---

*En el presente trabajo se ha evaluado la influencia de diversas nanocargas de carbono, en particular nanofibras de carbono (CNF) y nanotubos de carbono (CNT), en las propiedades térmicas, mecánicas y eléctricas del policloruro de vinilo (PVC), las diferentes muestras fueron obtenidas mediante extrusión a diferentes velocidades. Los resultados indican que este material se ve influenciado por la velocidad de extrusión y que los mejores resultados de resistencia a tracción se consiguen a una extrusión de 40 rpm y con una carga de un 1% de CNT. La adición de las nanocargas de carbono no afecta significativamente las propiedades térmicas ni eléctricas del PVC.*

---

---

\* Contacto: M.D. Samper; Tel. 966528434; e-mail: masammad@upvnet.upv.es

## **INTRODUCCIÓN**

En los últimos años ha existido un interés creciente por encontrar materiales conductores capaces de mejorar la capacidad de disipación de cargas electrostáticas en materiales aislantes. El hecho de que los materiales poliméricos, son por si mismos aislantes, no conducen la electricidad y por tanto acumulan cargas electroestáticas supone un inconveniente en cuanto a su utilización en diferentes aplicaciones. En la actualidad existen diferentes opciones para obtener polímeros conductores; desde el uso de polímeros inherentemente conductores hasta aditivos conductores. El uso de materiales con una alta área específica como las nanocargas, nanofibras, nanotubos permite trabajar a bajas concentraciones, y puede proporcionar alta conductividad eléctrica al compuesto.

Existen diversos estudios para la incorporación de nanocargas en diversas matrices poliméricas, hay que destacar que el efecto de refuerzo de estas cargas es más importante en polímeros semicristalinos como el Polipropileno (PP) y la poliamida (PA) que en polímeros amorfos como el poliestireno(PS), el policarbonato (PC) o el PVC [1, 2].

Unas de las matrices poliméricas más estudiadas en este campo son las de Polipropileno. En dichos estudios se han realizado composites de PP con nanofibra de carbono (CNF), en algunos casos se ha aplicado tratamiento de plasma de oxígeno en las nanofibras para mejorar la adhesión y también se han intentado alinear las nanofibras, suspendiéndolas en el flujo polimérico durante el proceso de extrusión [3-6].

También se han realizado estudios utilizando policarbonato como matriz y añadiendo nanotubos de carbono de pared simple (SWNTs) o nanotubos de pared múltiple (MWCNT). La introducción de estas cargas se realizó por extrusión en el caso de los MWCNT y los composites PC/SWNTs se realizaron impregnando los SWNTs en una solución de policarbonato [7, 8].

El objetivo del presente estudio fue investigar el potencial de los nanotubos y nanofibras de carbono como refuerzo y mejora de propiedades mecánicas y eléctricas en matrices de policloruro de vinilo (PVC). Se espera que el proceso de extrusión mejore la alineación de las nanocargas en el interior de la matriz

## **EXPERIMENTAL**

### **Preparación de muestras**

Para realizar los nanocompuestos se ha utilizado como matriz PVC gris IF-604/7037 RM2 suministrado por la empresa SYGSA, Compuestos y Granzas S.A. (Navarra, España) y las nanocargas utilizadas fueron nanofibras de carbono (CNF) suministradas por Grupo Antolin-Irausa, S.A. y nanotubos de carbono multicapa (CNT) suministradas por Nanocyl S.A.

Se realizaron nanocomposites de PVC con un 1% y 3% de CNF y de CNT; para introducir las nanocargas en la matriz se realizó una mezclado manual previo a la extrusión para obtener una mejor dispersión, todas las muestras fueron extruidas entre 170 y 180 °C y por último se conformaron en forma de perfil rectangular a diferentes velocidades de extrusión, 20, 30 y 40 rpm.

### **Caracterización mecánica**

Las propiedades mecánicas de las muestras fueron evaluadas usando una máquina universal de ensayos mecánicos, ELIB 30 de Ibertest (S.A.E. Ibertest, Madris, España). Los ensayos de tracción se realizaron con una célula de carga de 5 KN y una velocidad de 20 mm/min.

### **Caracterización térmica**

Las curvas DSC fueron obtenidas usando Mettler-Toledo 821 DSC (Mettler-Toledo Inc., Schwerzenbach, Switzerland) a 10 °C/min

con atmósfera de nitrógeno (60 ml/min). El peso de las muestras era aproximadamente de 9 mg.

Los diferentes TGA fueron realizados usando Mettler-Toledo TGA/SDTA 851 (Mettler-Toledo Inc., Schwerzenbach, Switzerland) con una temperatura inicial de 30 °C y una temperatura final de 700°C usando una velocidad de calentamiento de 20 °C/min, en atmósfera de nitrógeno (60 ml/min).

### **Caracterización eléctrica**

Por último, la caracterización eléctrica se realizó con el equipo HIRESTA-UP MCP-HT450 de Mitsubishi Chemical Analytech

## **RESULTADOS**

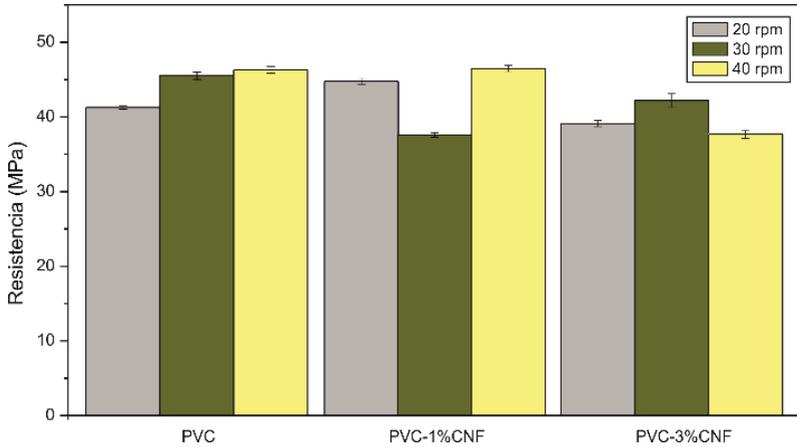
Mediante DSC se ha estudiado las características térmicas del nanocompuestos de PVC con CNF y CNT, los ensayos obtenidos no muestran diferencias entre el PVC y los nanocompuestos, ya que todos tienen una temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) comprendida entre 76 y 78 °C.

Mediante TGA se ha estudiado la degradación de los diferentes compuestos, en la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos, se puede apreciar que la descomposición de los nanocompuestos de PVC se dividen en dos etapas, la primera etapa se atribuye a la deshidrocloración de la cadena polimérica y la segunda etapa implica la combustión del polímero residual en forma de  $\text{CO}_2$  [9]. Este comportamiento es similar en todos los compuestos sin encontrar diferencias significativas entre ellos, ya que en la primera etapa de descomposición el porcentaje de pérdida de masa está entre el 56 y 58% y se inicia en torno a 290 °C y finaliza alrededor de 340 °C y en la segunda etapa de descomposición el porcentaje de pérdida de masa está en torno al 22%, se inicia alrededor de 450 °C y finaliza a 499 °C.

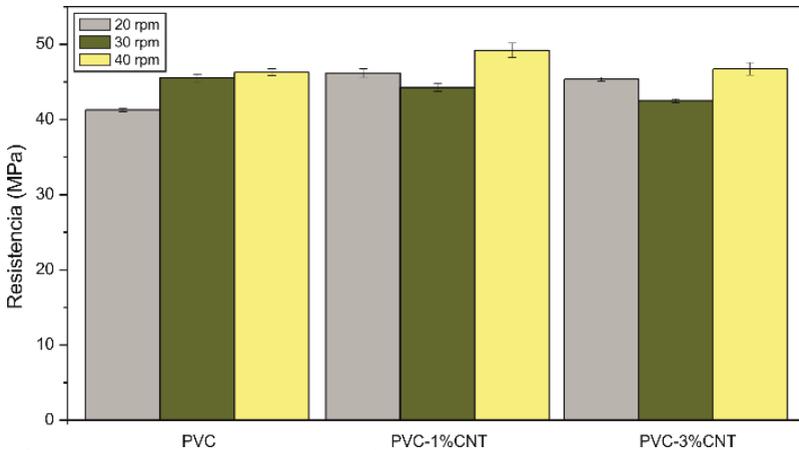
**Tabla 1.** Resultados del análisis termogravimétrico.

Muestra	Primera pérdida de masa			Segunda pérdida de masa		
	Onset (°C)	Endset (°C)	Pérdida de masa (%)	Onset (°C)	Endset (°C)	Pérdida de masa (%)
PVC	297,6	340,6	58,0	448,5	497,6	23,8
PVC-1%CNF	294,3	337,9	57,5	451,1	498,1	22,2
PVC-3%CNF	290,8	345,7	56,3	437,1	499,6	21,6
PVC-1%CNT	295,6	347,4	57,9	439,3	503,4	22,2
PVC-3%CNT	294,0	345,6	54,8	441,5	505,5	20,4

La resistencia a tracción de los diferentes nanocompuestos de PVC-CNF se puede observar en la figura 1 y en la figura 2 la resistencia a tracción de los nanocompuestos PVC-CNT. Se puede apreciar que la variación de la velocidad de extrusión afecta a las propiedades del material final, además también se puede observar que el efecto refuerzo que generan las nanocargas de carbono también se ve influido por la velocidad de extrusión. En el caso de los nanocompuestos realizados con nanofibras de carbono se aprecia que el efecto refuerzo solo se aprecia con un 1% de CNF y que la muestra realizada a 40 rpm es la que mejor resistencia a tracción presenta, 46,5 MPa. Los nanocompuestos formados por PVC y 3% de CNF son las muestras con peores valores de resistencia, entre 37,7 y 42,2 MPa.



**Figura 1.** Resistencia a tracción de los compuestos PVC-CNF a diferentes velocidades de extrusión.



**Figura 2.** Resistencia a tracción de los compuestos PVC-CNT a diferentes velocidades de extrusión.

En el caso de las muestras realizadas con PVC y CNT se observa que los mejores valores de resistencia se consiguen con un 1% de CNT, tal y como ocurría en el caso de las muestras reforzadas con

CNF, además, hay que destacar que la muestra realizada a 40 rpm es la que mejor resistencia a tracción presenta, 49,2 MPa. La adición de un 3% de CNT también mejora esta propiedad respecto al PVC pero los valores obtenidos son inferiores a los que presentan los nanocompuestos PVC con un 1% de CNT.

La caracterización eléctrica de las diferentes compuestos se puede observar en la tabla 2, se puede apreciar que todos los valores obtenidos no disminuyen de orden de magnitud y que todos se consideran aislantes, tal y como le ocurre a Faruk O. et al con compuestos realizados con PVC y CNT[10], por tanto la adición nanocargas de carbono al PVC no modifican las propiedades eléctricas de los compuestos, ni si quiera se consigue disipación de carga.

**Tabla 2.** Resultados de la caracterización eléctrica superficial de los nanocompuestos de PVC.

<b>Muestra</b>	<b>Resistencia superficial (<math>\Omega</math>) POL. POSITIVA</b>	<b>Resistividad superficial (<math>\Omega m</math>) POL. POSITIVA</b>	<b>Resistencia superficial (<math>\Omega</math>) POL. NEGATIVA</b>	<b>Resistividad superficial (<math>\Omega m</math>) POL. NEGATIVA</b>
PVC-1%CNF-1	$3,00 \times 10^{10}$	$3,86 \times 10^{12}$	$6,20 \times 10^{10}$	$7,98 \times 10^{12}$
PVC-1%CNF-2	$5,20 \times 10^{10}$	$6,69 \times 10^{12}$	$5,30 \times 10^{10}$	$6,82 \times 10^{12}$
PVC-3%CNF-1	$8,00 \times 10^{13}$	$2,00 \times 10^{14}$	$5,88 \times 10^{13}$	$1,49 \times 10^{14}$
PVC-3%CNF-2	$2,86 \times 10^{13}$	$7,14 \times 10^{13}$	$3,01 \times 10^{13}$	$7,58 \times 10^{13}$
PVC-1%CNT-1	$3,50 \times 10^{10}$	$4,51 \times 10^{12}$	$3,30 \times 10^{10}$	$2,96 \times 10^{12}$
PVC-1%CNT-2	$3,00 \times 10^{10}$	$3,86 \times 10^{12}$	$3,70 \times 10^{10}$	$4,76 \times 10^{12}$
PVC-3%CNT-1	$6,25 \times 10^{13}$	$1,56 \times 10^{14}$	$5,13 \times 10^{13}$	$1,28 \times 10^{14}$
PVC-3%CNT-2	$3,51 \times 10^{13}$	$8,77 \times 10^{13}$	$4,17 \times 10^{13}$	$1,04 \times 10^{14}$

## CONCLUSIONES

La caracterización térmica no muestra diferencias significativas entre los nanocompuestos, y por tanto la estabilidad térmica y la conductividad térmica no se ven afectados por la presencia de las nanocargas de carbono en matrices de PVC.

Al realizar la caracterización mecánica a tracción de los perfiles realizados a diferentes velocidades se aprecia que la velocidad de extrusión afecta a las propiedades mecánicas de los nanocompuestos y las muestras que presentan mejores características son las realizadas con un 1% de CNF y CNT a 40 rpm.

En cuanto a la caracterización eléctrica, la adición de nanocargas a la matriz de PVC no mejora su comportamiento eléctrico.

## REFERENCIAS

- [1] Yamashita, Y., et al. KOBUNSHI RONBUNSHU, 63:9, 593-600 (2006).
- [2] Shieh, Y.-T., K.-C. Hsieh, and C.-C. Cheng. Polymer Degradation and Stability, 144:221-230 (2017).
- [3] Chatterjee, A. and B. Deopura. Journal of applied polymer science, 100:5, 3574-3578 (2006).
- [4] Chirila, V., et al. Journal of Thermoplastic Composite Materials, 20:3, 277-289 (2007).
- [5] Kumar, S., et al. Polymer, 43:5, 1701-1703 (2002).
- [6] Kuriger, R.J., et al. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 33:1, 53-62 (2002).
- [7] Chen, L., X.-J. Pang, and Z.-L. Yu. Materials Science and Engineering: A, 457:1, 287-291 (2007).
- [8] Wang, S., et al. Nanotechnology, 18:9, 095708 (2007).
- [9] Pan, Y.-T. and D.-Y. Wang. Rsc Advances, 5:35, 27837-27843 (2015).
- [10] Faruk, O. and L.M. Matuana. Journal of Vinyl & Additive Technology, 14:2, 60-64 (2008).





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

Ingeniería y Tecnología

