

# Fuerza de contacto entre mano y mango en el transporte de peso

**M. Vergara, J.L. Sancho-Bru, C. Laviña Mora, V. Gracia Ibáñez, A. Pérez González**

*Dpto. de Ingeniería Mecánica y Construcción. Universitat Jaume I*  
vergara@emc.uji.es

---

*La distribución de fuerzas en la mano es un factor importante en el diseño de mangos de objetos que han de ser transportados. Se han hecho múltiples estudios sobre distribución de fuerzas en los dedos con el objetivo de estudiar los diámetros de mangos que maximizan la fuerza de la mano o para medir el efecto de la fuerza de agarre en la transmisión de vibraciones al conjunto mano-brazo. Sin embargo, existen pocos estudios que analicen el efecto de la forma del mango en las fuerzas que aparecen en la mano para mangos de transporte. En este trabajo se presentan los resultados de un estudio en el que se ha medido la fuerza de contacto que aparece en la interfase mano-mango con varias formas de mangos simulando una acción de transporte de peso. La medición se ha hecho con un sistema específico para medir distribución de fuerzas en la mano (Finger TPS) que incluye sensores distribuidos en las falanges distales de los cinco dedos, en las falanges proximales de los dedos índice y corazón y en la palma. Una vez calibrado el sistema para cada sujeto participante se ha procedido a registrar la fuerza media que aparece en cada zona al transportar dos pesos diferentes (1 y 5 kg) con cuatro mangos de madera diseñados específicamente con diámetros muy similares y formas longitudinales diferentes. Los resultados muestran que el pulgar realiza poca fuerza independientemente del tipo de mango y peso, y que los distintos mangos afectan de forma significativa en la distribución de fuerzas entre dedos.*

---

## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los factores que afectan a la comodidad de los mangos es la presión pico que aparece entre el mango y la mano [1]. En evaluación ergonómica de mangos es habitual preguntar sobre la sensación subjetiva de presión [2-4] ya que la distribución precisa de presiones sobre la mano es difícil de medir. Existen sensores de reducido tamaño que permiten medir la distribución de presiones mano-mango [5] pero en la práctica son difíciles de aplicar en mangos reales y su aplicación hasta la fecha se ha limitado a objetos cilíndricos. Una aproximación a estos datos es medir la distribución de fuerzas entre los diferentes dedos o zonas de la mano con sensores de mayores dimensiones. En objetos que han de ser transportados esta distribución de fuerzas es un factor importante en el diseño de mangos. Se ha demostrado que existe correlación entre las fuerzas ejercidas por cada dedo y la sensación de comodidad y que la presión en la palma es la que más afecta al confort [6].

Por otra parte, se han hecho múltiples estudios sobre distribución de fuerzas en los dedos con el objetivo de estudiar el efecto del diámetro de los mangos en la fuerza de agarre de la mano [7- 10]. Estos estudios se aplican a mangos con forma cilíndrica recta y a agarres en los que se pide ejercer la máxima fuerza de agarre o se agarran cilindros de diferente peso en posición vertical. Los resultados muestran que existe un diámetro óptimo del mango para ejercer fuerza. Hall [10] indica que ese diámetro está entre 30 y 40 mm, mientras que Kong y Lowe [7] lo relacionan con el tamaño de mano: indican que existe una relación proporcional entre la longitud de mano y el diámetro de mango preferido. Respecto a la distribución de fuerzas entre los diferentes dedos para agarres de cilindros en posición vertical los resultados de Li [8] indican que el pulgar es el que más fuerza hace (50%), seguido de los dedos índice y corazón con un 15% de fuerza aproximado. Además las fuerzas de estos dedos se concentran en la zona de la base de los nudillos y la yema del índice [9].

Otros estudios sobre distribución de fuerzas en los dedos están orientados a medir el efecto de la fuerza de agarre en la transmisión de vibraciones al conjunto mano-brazo [11]. En la transmisión de vibraciones un factor importante es el acoplamiento entre mano y mango que se puede medir a través de la distribución de presiones. La norma ISO 15230 [12] especifica una forma de medir este acoplamiento de fuerzas de una forma relativamente simple, sin la necesidad de medir presiones, tan solo la fuerza de agarre en una determinada dirección. Varios estudios investigan sobre la relación entre las fuerzas de contacto (presión en la interfase) y la fuerza de agarre [13-15] intentando justificar o cuestionar dicha norma.

Sin embargo, pese a que la medida de las presiones en la mano se ha estudiado con diferentes objetivos, existen pocos estudios que estudien el efecto de la forma del mango en las fuerzas que aparecen en la mano y ninguno de ellos para mangos de transporte. Kong et al [16] miden la presión en las tres falanges de los cuatro dedos en 10 mangos (con varios diámetros y dos formas: recto con sección ovalada, y ovalado con sección circular) mientras los sujetos desarrollan su máxima fuerza de agarre. Wu y Dong [17] utilizan un modelo de elementos finitos para simular el efecto de la curvatura de la sección transversal del mango en la presión en la piel del dedo.

En este trabajo se presentan los resultados de un estudio en el que se ha medido la fuerza de contacto que aparece en la interfase mano-mango en distintas zonas del contacto con varias formas de mangos simulando una acción de transporte de peso y con varios pesos diferentes.

## 2. MATERIAL Y MÉTODO

Para medir la fuerza de contacto en la interfase mano-mango se ha utilizado un sistema específico de medición de distribución de fuerzas en la mano (Finger TPS) que incluye sensores distribuidos en las falanges distales de los cinco dedos, en las falanges proximales de los dedos índice y corazón y en la palma (figura 1).

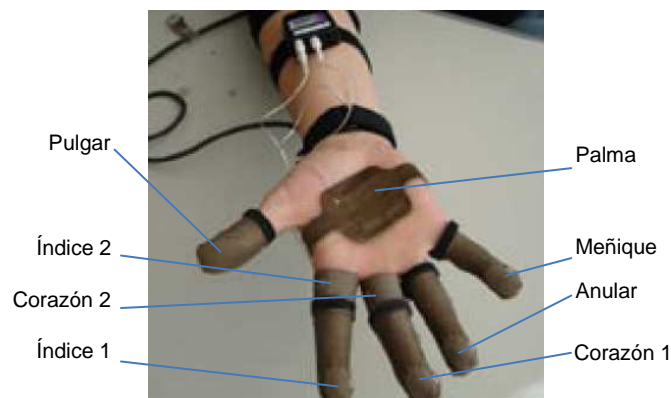


Figura 1. Sistema Finger TPS montado en la mano

En el experimento han participado 6 sujetos (3 hombres y 3 mujeres), de edades comprendidas entre 22 y 34 años, todos diestros. Se eligieron de forma que fuesen representativos de los tamaños de manos pequeño, medio y grande de cada género. La media y desviación típica de la longitud de la mano de los participantes fue de 179mm y 16mm; respectivamente, y del ancho de la mano (a nivel de nudillos sin pulgar) de 81mm y 7mm. Por lo que se puede considerar que los tamaños son representativos de la población.

El procedimiento de medición ha consistido en lo siguiente. En primer lugar una vez colocado el equipamiento sobre la mano del sujeto se calibra el sistema según indicaciones del fabricante para evitar errores debidos a la colocación del mismo, diferencias entre sujetos, etc. Esto se hace en cada sesión de medida.

Una vez calibrado el sistema para cada sujeto participante se registra la fuerza que aparece en cada zona al transportar dos pesos diferentes (1 y 5 kg) con cuatro mangos de madera

diseñados específicamente. Los mangos tienen diámetros muy similares (de 23 a 29 mm) y formas longitudinales diferentes (figura 2). Su sección transversal es cilíndrica en todos los casos y lo que cambia es su sección longitudinal: en el 1 es recta, en el 2 es elíptica y con forma para alojar los dedos, en el 3 es elíptica y en el 4 es arqueada. Todos tienen una ranura longitudinal sobre la que se introduce una bolsa con el peso controlado (figura 3).

El sujeto se encuentra de pie con el peso descansando en el suelo a su derecha. A continuación sujeta la bolsa con el mango correspondiente y la transporta para dejarla sobre una superficie horizontal situada a 2 metros por delante de él. Este proceso se repite 4 veces con cada mango.

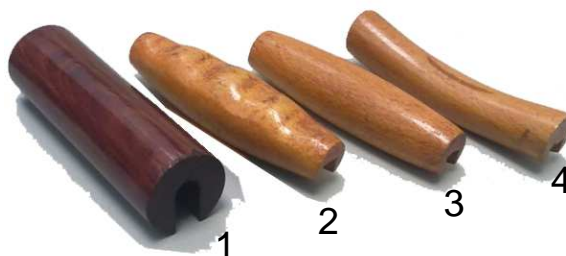


Figura 2. Mangos utilizados en el ensayo. En la fotografía aparecen orientados de forma que se ve en la parte superior la forma de contacto con la mano y en la parte inferior la ranura para ubicar la bolsa con el peso.



Figura 3. Sujeto realizando el ensayo

Los resultados que se presentan en este trabajo hacen referencia a la fuerza media registrada en cada zona durante la acción de transporte, es decir, no se contempla el transitorio inicial de coger el mango y el final de dejarlo sobre la superficie. Dependiendo del sujeto y la repetición la duración de la acción de transporte ha sido entre 3 y 6 segundos. Se han realizado diferentes ANOVAs para comprobar el efecto de los diferentes factores (peso y mango).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 muestra los valores medios de fuerza registrada en cada zona, distinguiendo entre pesos y mangos. Además de los 8 sensores registrados mostrados en la figura 1 se han incluido otras zonas como sumas de algunos de los sensores: *Yemas* es la suma de los valores registrados en los cuatro sensores de las yemas, *Nudillos* es la suma de los valores de los 2 sensores colocados cerca de los nudillos y *Mano* es la suma de los 8 sensores.

La figura 4 muestra diagramas de caja para los valores de fuerza registrada en cuatro zonas, dos correspondientes a los sensores originales (Palma y Pulgar) y otras dos de valores agrupados indicados anteriormente (*Yemas* y *Nudillos*), distinguiendo también entre pesos y mangos. En esta gráfica se puede observar que la dispersión de las medidas en algunas zonas es considerable. La figura 5 hace lo mismo pero para los sensores originales de los nudillos y las yemas.

	PESO =1kg					PESO =5kg				
	M 1	M 2	M 3	M 4	Todos	M 1	M 2	M 3	M 4	Todos
Índice_1	2,4	2,1	2,3	2,5	2,3	5,7	5,0	6,3	5,2	5,5
Corazón_1	1,8	1,3	1,5	1,8	1,6	4,7	3,3	3,8	3,5	3,8
Anular	1,5	1,7	1,1	1,7	1,5	1,8	1,8	2,2	2,5	2,1
Meñique	1,5	1,3	1,0	2,0	1,5	1,8	1,6	1,4	2,1	1,7
Yemas *	7,2	6,5	6,0	8,0	6,9	14,1	11,6	13,6	13,3	13,2
Índice_2	10,9	8,7	10,7	15,0	11,3	23,4	19,8	25,1	31,6	25,0
Corazón_2	7,6	7,7	9,8	10,1	8,8	27,0	26,4	25,0	18,7	24,3
Nudillos *	18,5	16,3	20,6	25,1	20,1	50,4	46,2	50,1	50,4	49,3
Pulgar	1,6	1,1	1,5	,9	1,3	1,6	2,2	2,3	1,6	1,9
Palma	3,3	3,7	4,0	5,5	4,1	15,5	15,3	18,8	22,0	17,9
Mano *	30,6	27,5	32,0	39,6	32,4	81,6	75,3	84,8	87,3	82,3

Tabla 1. Promedios de fuerza registrada en N en cada zona. Las zonas marcadas con \* son las sumas de diferentes zonas

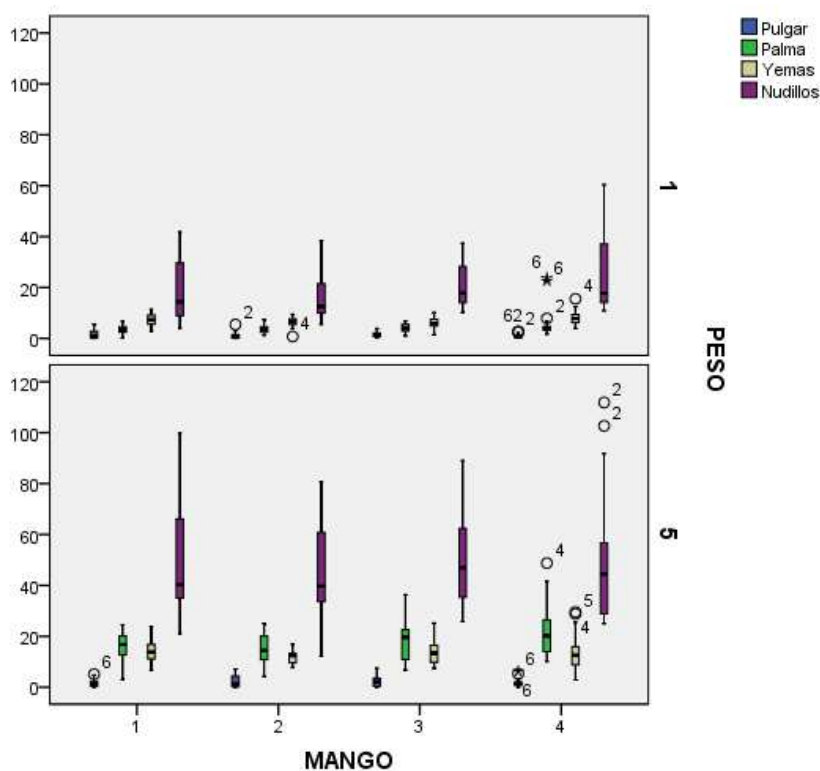


Figura 4. Diagrama de cajas para los valores de fuerza en las 4 zonas, distinguiendo entre peso y mango. El número del etiquetado de casos extremos representa el código asignado al sujeto.

Un primer resultado destacable que se observa con claridad es que el pulgar realiza poca fuerza, independientemente del tipo de mango y peso transportado: presenta los valores más pequeños registrados y no cambia significativamente al agarrar 5 kg. Algo similar les ocurre a las yemas del dedo meñique y anular. Sin embargo, y aunque la contribución de las yemas de los dedos índice y corazón no es tampoco muy grande, parece que contribuyen más, especialmente cuando el peso es mayor.

La zona que más peso soporta son los nudillos. De hecho, cuando el peso es poco, es casi la única zona que muestra valores realmente considerables. Teniendo en cuenta que sólo se ha podido registrar la fuerza en dos de los nudillos (índice y corazón), este resultado es aún más relevante. Es de esperar que los valores de fuerza totales en todos los nudillos sean aún mayores. Respecto a la distribución entre las dos zonas registradas, índice y corazón, no

parece haber diferencias apreciables. El índice parece hacer algo más fuerza cuando el peso es menor, pero al aumentar el peso depende del mango.

Por último, la palma y las yemas parece que únicamente colaboran cuando el peso es elevado. La palma multiplica por más de 4 la fuerza de contacto al cambiar el peso y las yemas en conjunto multiplican casi por 2 la fuerza.

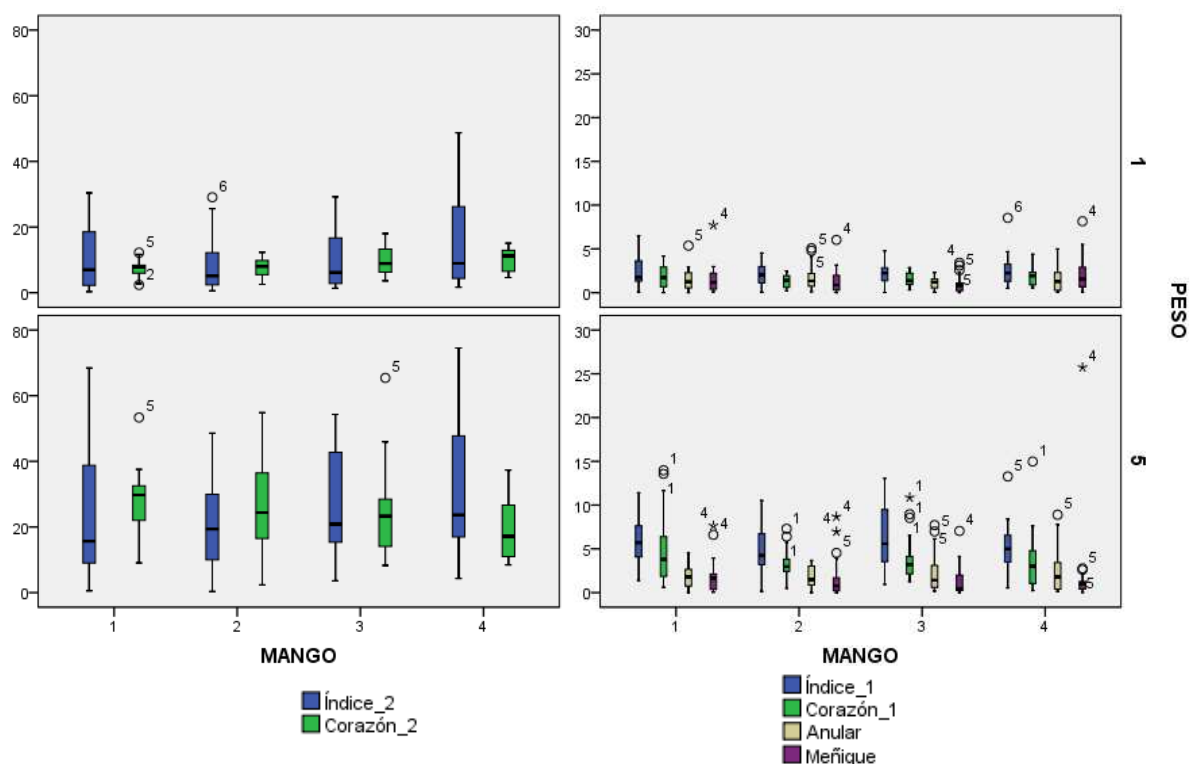


Figura 5. Diagramas de cajas para los valores de fuerza en las dos zonas de los nudillos y las cuatro yemas, distinguiendo entre peso y mango. El número del etiquetado de casos extremos representa el código asignado al sujeto. Nótese la diferencia de escala entre las gráficas de la derecha y las de la izquierda.

Para comprobar en qué casos estas diferencias que se aprecian entre los valores medios son estadísticamente significativas se han realizado varios ANOVAs. Las variables dependientes en los ANOVAs han sido las fuerzas registradas en cada zona, individuales o agrupadas según las mismas agrupaciones de la tabla 1. Las variables independientes han sido el peso, el mango y el sujeto, éste último para contabilizar el efecto del tamaño de mano, además de si tiene una forma particular de soportar el peso.

La tabla 2 muestra un resumen de los resultados de los ANOVAs realizados para cada una de las variables dependientes. En todos se han utilizado como factores el peso, el mango y el sujeto y todas sus interacciones de segundo orden.

Para todas las zonas el factor SUJETO es significativo así como su interacción con los otros dos factores (salvo para la interacción SUJETO\*MANGO). Esto indica que la distribución de fuerzas de contacto en los diferentes sujetos es muy diferente, y que además cambia de forma diferente en cada sujeto con el peso, e incluso con cada mango (a excepción del meñique, aunque la fuerza es pequeña aquí).

Por otra parte, el factor PESO, como era de esperar, afecta significativamente en los valores de fuerza registrados en cada zona, también salvo en el meñique, que no parece tener influencia. De hecho en el meñique el único factor del que depende la fuerza registrada es el SUJETO y la interacción SUJETO\*PESO. Es decir ni la forma del mango y ni siquiera el diferente peso utilizado parecen afectar de forma significativa a la fuerza ejercida por la yema del dedo meñique. Por otra parte esta fuerza es pequeña, al igual que ocurre con la fuerza del pulgar,

sin embargo a diferencia de aquel, en el pulgar sí que parece influir al menos el factor PESO. De hecho en la fuerza del pulgar, lo único que no influye es el factor MANGO y la interacción MANGO\*PESO. Es decir, aunque los valores de fuerza registrados en el pulgar son también pequeños, sí que existen diferencias significativas entre sujetos y pesos, y el mango parece afectar a la forma en que los sujetos utilizan el pulgar para sujetar el mango. Todo esto parece indicar que el pulgar interviene poco en el agarre de gancho para transportar objetos y que el meñique no interviene (al menos la punta de los dedos).

En lo que respecta al factor MANGO afecta a la fuerza registrada en todas las zonas salvo para el pulgar y las yemas del índice y del meñique.

	SUJETO	MANGO	PESO	MANGO*PESO	SUJETO*MANGO	SUJETO*PESO
Índice_1	<b>0,00</b>	0,17	<b>0,00</b>	0,23	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
Corazón_1	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	0,09	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
Anular	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
Meñique	<b>0,00</b>	0,19	0,39	0,98	0,60	<b>0,02</b>
Yemas	<b>0,00</b>	<b>0,04</b>	<b>0,00</b>	0,16	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
Índice_2	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,04</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
Corazón_2	<b>0,00</b>	<b>0,04</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
Nudillos	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	0,28	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
Pulgar	<b>0,00</b>	0,12	<b>0,00</b>	0,14	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
Palma	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
Mano	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	0,51	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

Tabla 2. Nivel de significación de cada factor y de sus interacciones en el modelo lineal (ANOVA) para cada variable independiente. Los factores que presentan diferencias estadísticamente significativas (< 0.05) están en negrita.

La tabla 3 muestra un resumen de los resultados de análisis post-hoc para el factor mango en aquellas zonas en las que ha resultado ser significativo. Con esto se pretende comprobar entre qué parejas de mangos existen diferencias estadísticamente significativas. Aunque para las yemas y la zona de nudillos del dedo corazón han resultado a nivel global que sí existen diferencias significativas, la prueba de Tukey no ha registrado diferencias entre pares de mangos, y es por esto por lo que no se muestran. La tabla muestra con una X en la casilla las parejas de mangos (identificados como M1, M2, M3 y M4) entre las que sí existen diferencias significativas para la fuerza registrada en cada zona.

	M 1						M 2						M 3						M 4					
	C1	A	I2	N	P	M	C1	A	I2	N	P	M	C1	A	I2	N	P	M	C1	A	I2	N	P	M
M 1	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X	X	-	X	X
M 2	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	X	-	-	X	X	X	X
M 3	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	X	-
M 4	-	X	X	-	X	X	-	-	X	X	X	X	-	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 3. Parejas de mangos entre los que existen diferencias significativas en el valor de fuerza registrado para las siguientes zonas: C1: Corazón\_1; A: Anular; I2: Índice 2; N: Nudillos; P: Palma; M: toda la mano

De la tabla se deduce que la forma de los mangos afecta a las fuerzas registradas en algunas zonas, ya que existen diferencias en la fuerza media entre todas las parejas de mangos. En la zona de las yemas (corazón y anular) las diferencias entre mangos son menores que en los nudillos y la palma corroborando lo que ya se observaba a nivel global (tabla 2). Los mangos más similares entre sí son el 1 y el 3 ya que presentan menos diferencias entre ellos. Por otro lado el mango 4 es el que presenta un mayor número de diferencias con el resto de mangos, similar al número que presenta el 2.

La forma curvada del mango 4 hace que la zona de los nudillos, en especial el índice, se vea significativamente más cargada (tablas 1 y 3). Este resultado podría esperarse lógicamente por su forma cóncava de contacto con la mano. Sin embargo, también presenta diferencias significativas en la palma con el resto de mangos y también con valores más altos. Este resultado no es tan esperable a simple vista por la forma del mango: se esperaría más fuerza en la palma en un mango convexo como el tipo 2 y 3 que con un mango cóncavo como el 4. Esto puede deberse a que por ser más incómodo de agarrar al no adaptarse a la forma cóncava de la zona de los nudillos de la mano los sujetos hagan más fuerza para sujetarlo, también con la zona de la palma.

Se tiende a pensar que un mango con la forma marcada de los dedos (como el 2) es más ergonómico porque se adaptará más a la mano. Las recomendaciones ergonómicas a este respecto son, sin embargo, contrarias a esta afirmación [18] por dos motivos: las formas muy pronunciadas de los dedos obligan a agarrar el mango en una determinada postura que puede resultar forzada para algunos tamaños de mano y las formas salientes pueden generar picos de presión en la zona de contacto. Los mangos 2 y 3 de este estudio sólo difieren en que el 2 tiene la forma marcada de los dedos. En aquellas zonas donde se encuentran diferencias significativas en las fuerzas registradas entre estos dos mangos, la fuerza de contacto es siempre mayor para el mango 3 que para el 2, es decir, al contrario del fundamento de la recomendación ergonómica. Si bien es cierto que las hendiduras del mango 2 no son excesivamente marcadas, sino que son bastante suaves, y tampoco hemos registrado si la postura ha sido forzada o no.

Por último, es necesario indicar que el estudio realizado tiene una limitación importante: no se ha registrado la fuerza en nudillos de anular y meñique. Los sensores utilizados son muy grandes para colocar dos en estos dedos más pequeños, además de que el sistema tiene una capacidad máxima de registro de 8 sensores. Una posible solución podría ser, una vez comprobado que las yemas del anular y el meñique no colaboran mucho, repetir el experimento colocando sensores de nudillos en lugar de sensores de yema en estos dedos.

#### **4. CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS**

Se ha utilizado un método para estimar la distribución de fuerzas entre las diferentes zonas de la mano en el transporte de peso con diferentes mangos. Se ha podido constatar que el pulgar realiza poca fuerza, independientemente del tipo de mango y peso transportado. Algo similar a lo que ocurre con las yemas de los dedos meñique y anular. Sin embargo, y aunque la contribución de las yemas de los dedos índice y corazón no es tampoco muy grande, parece que contribuyen más, especialmente cuando el peso es mayor. La zona que más peso soporta son los nudillos. De hecho, cuando el peso es poco, es casi la única zona que muestra valores realmente considerables. La zona del nudillo del índice parece hacer algo más fuerza cuando el peso es menor, pero al aumentar el peso depende del mango.

Los distintos mangos afectan de forma significativa en la distribución de fuerzas entre dedos y también en la fuerza total, a igualdad de peso. Aunque no es definitivo, ya que en este estudio no se ha podido registrar la fuerza en las zonas de nudillos del meñique y del anular, se puede concluir que los mangos con forma longitudinal convexa en el contacto con la mano (tipo del mango 4 de este experimento) parecen requerir más fuerza que las formas planas o cóncavas (resto de mangos).

Una vez comprobado que la forma del mango afecta a la distribución de fuerzas, en futuros trabajos se podría investigar cuál es la forma que introduce una mejor distribución. Por otra parte, los mangos utilizados han sido todos de madera para evitar el efecto del material. En trabajos futuros, se podría investigar el efecto de los posibles materiales o recubrimientos con diferente rigidez.

#### **5. AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen la financiación de la Fundació Caixa-Castelló y la Universitat Jaume I a través del proyecto P1-1B2009-40 y del Ministerio de Ciencia e Innovación y de FEDER, a través del proyecto DPI2010-18177, en los que se enmarca parcialmente la investigación.

## 6. REFERENCIAS

- [1] L.F.M. Kuijt-Evers, L. Groenesteijn, M.P. de Looze, P. Vink. *Identifying factors of comfort in using hand tools*. Applied Ergonomics 35 (2004) 453–458
- [2] L.F.M. Kuijt-Evers, T. Bosch, M.A. Huysmans, M.P. de Looze, P. Vink. *Association between objective and subjective measurements of comfort and discomfort in hand tools*. Applied Ergonomics 38 (2007) 643–654
- [3] U. Matern, P. Waller. *Instruments for minimally invasive surgery. Principles of ergonomic handles*. SurgEndosc (1999)13:174–182
- [4] D. Buchel, R. Marvik, B. Hallabrin, U. Matern. *Ergonomics of disposable handles for minimally invasive surgery*. Surg Endosc (2010) 24:992–1004
- [5] D. F. Kutz, A. Wölfel, T. Meindl, D. Timmann and F.P. Kolb. *Spatio-Temporal Human Grip Force Analysis via Sensor Arrays*. Sensors 2009, 9, 6330-6345
- [6] Y.K. Kong, D.M. Kim, K.S. Lee, M.C. Jung. *Comparison of comfort, discomfort, and continuum ratings of force levels and hand regions during gripping exertions*. Applied Ergonomics 43 (2012) 283-289
- [7] Y.-K. Kong, B.D. Lowe. *Optimal cylindrical handle diameter for grip force tasks*, International Journal of Industrial Ergonomics, 35 (2005), 495-507.
- [8] Z.M. Li. *Inter-digit co-ordination and object-digit interaction when holding an object with five digits*. ERGONOMICS, 2002, VOL. 45, NO. 6, 425-440
- [9] J.H. Lee, Y.S. Lee, S.H. Park, M.C. Park, B.K. Yoo, S.M. In. *A Study on the Human Grip Force Distribution on the Cylindrical Handle by Intelligent Force Glove(I-Force Glove)*. International Conference on Control, Automation and Systems 2008, Oct. 14-17, 2008 in COEX, Seoul, Korea
- [10] C. Hall. *External pressure at the hand during object handling and work with tools*. International Journal of Industrial Ergonomics 20 (1997) 191-206
- [11] G. Björing, L. Johansson, G.M. Hägg. *Surface pressure in the hand when holding a drilling machine under different drilling conditions*. International Journal of Industrial Ergonomics, 29 (2002), 255–261
- [12] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION/ISO, 2007, Standard 15230 – *Definition and Guidelines for the Measurement of the Coupling Forces for Operators Exposed to Hand-Arm-Vibration*
- [13] D. Welcome, S. Rakheja, R. Dong, J.Z. Wu, A.W. Schopper. *An investigation on the relationship between grip, push and contact forces applied to a tool handle*. International Journal of Industrial Ergonomics 34 (2004) 507–518
- [14] N.J. Seo, T.J. Armstrong, J.A. Ashton-Miller, D.B. Chaffin. *The effect of torque direction and cylindrical handle diameter on the coupling between the hand and a cylindrical handle*. Journal of Biomechanics 40 (2007) 3236–3243
- [15] P. Lemerle, A. Klinger, A. Cristalli, M. Geude. *Application of pressure mapping techniques to measure push and gripping forces with precision*. Ergonomics, Vol. 51, No. 2, February 2008, 168–191
- [16] Y.K. Kong, A. Freivalds, S.E. Kim. *Evaluation of handles in a maximum gripping task*. Ergonomics, 47 (2004), 1350-1364
- [17] J Z Wu and R G Dong. *Analysis of the contact interactions between fingertips and objects with different surface curvatures*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine 2005 219:89
- [18] A. Mital, A. Kilbom. *Design, Selection and Use of Hand Tools to Alleviate Trauma of the Upper Extremities: Part I-Guidelines for the Practitioner*. International Journal of Industrial Ergonomics 1992a, (10) 1-5