

# Fuerzas de contacto entre mano y objeto en el agarre cilíndrico: comparación de dos técnicas de medición

**A. Pérez González, M. Jurado Tovar, J.L. Sancho Bru**

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

---

*En este trabajo se comparan dos sistemas comerciales diferentes de instrumentación de la mano (Grip y Finger TPS) para la medición de las fuerzas de contacto en la misma durante el agarre de objetos. En particular, se cuantifica la exactitud y repetibilidad de ambos sistemas y se analiza su facilidad y comodidad de uso para el estudio en laboratorio de agarres de potencia cilíndricos. Por otra parte, se comparan los resultados obtenidos con ambos sistemas en un experimento de agarre y elevación de un cilindro de diámetro 75 mm y masa 1.5 kg. En la comparación de la exactitud, repetibilidad, deriva e histéresis de ambos sensores el sistema Grip ha presentado mejores resultados, siendo destacable la elevada magnitud de los errores por deriva del sensor obtenidos con el sistema Finger TPS. En cualquier caso, ambos sistemas se han mostrado válidos para el estudio dinámico de agarres de potencia cilíndricos de corta duración, presentando resultados similares en las curvas de evolución de la fuerza de agarre durante la elevación de un cilindro. Considerando globalmente la precisión, la comodidad de uso y la facilidad de calibración, el sistema Grip parece más recomendable que el Finger TPS.*

---

## 1. INTRODUCCIÓN

La mano humana es uno de los sistemas mecánicos más complejos y versátiles que existen. La capacidad de la mano humana para agarrar y manipular objetos de lo más variados no ha sido igualada hasta la fecha por ningún dispositivo fabricado por el hombre. Aunque diversos investigadores han estudiado de forma parcial distintos aspectos del agarre humano desde el punto de vista neurofisiológico y biomecánico, hasta la fecha no se ha realizado una caracterización exhaustiva del funcionamiento de la mano humana durante el agarre y la manipulación de objetos de la vida diaria. Existen diversas clasificaciones de los tipos de agarre humano en la bibliografía [1-3] pero se basan principalmente en la observación. La caracterización biomecánica del agarre supone la determinación de las diferentes variables cinemáticas y dinámicas que afectan a las distintas fases del agarre: transporte, formación del agarre y manipulación, así como su relación con las características antropométricas del sujeto y las propias del objeto manipulado y la tarea de manipulación. Durante las fases de contacto entre mano y objeto, un parámetro clave para esta caracterización es la presión de contacto y las zonas de contacto en las diferentes partes de la mano. Esta información, aparte de su interés desde el punto de vista ergonómico, también es necesaria como dato de entrada en modelos biomecánicos de la mano para el estudio de los esfuerzos musculares implicados en el agarre.

En la literatura existen trabajos que analizan las fuerzas de contacto en los dedos durante la realización de agarres bidigitales [4,5] o multidigitales [6,7] pero que involucran únicamente agarre con las falanges distales (agarres tipo pinza). Los sistemas de medida empleados en estos trabajos son dispositivos incluidos en el propio objeto agarrado, que están diseñados específicamente para medir la fuerza total en una serie de sensores sobre los que apoyan los dedos durante el agarre. En otros trabajos se estudia el agarre en pinza con sensores de presión colocados sobre los dedos principales [8], lo que permite analizar el agarre en objetos variados. Sin embargo, este tipo de montajes no permite estudiar el agarre cilíndrico o agarres más complejos con zonas de contacto en partes de la mano diferentes de las falanges distales. Para el estudio de la distribución de presiones en agarres complejos debe recurrirse al uso de sensores de presión en forma de láminas flexibles de pequeño

espesor, bien colocados en el objeto [9] o en la mano, abarcando diversas zonas de la misma [10]. Esta última opción es preferible si se quiere analizar el agarre de objetos variados, ya que no requiere la sensorización de cada objeto. No obstante la adaptación de los sensores a la mano tampoco resulta fácil y, aunque existen diferentes sistemas en el mercado (Pliance Hand de Novel, Grip de Tekscan Inc., Finger TPS de Pressure Profile Systems), ningún sistema actual resulta suficientemente cómodo y práctico para esta aplicación. Por otra parte, dado que se trata de equipos relativamente recientes, no existen demasiadas referencias en la literatura que analicen su funcionamiento y comparen sus posibilidades para el estudio del agarre humano. Komi *et al.* [11] comparan la exactitud y repetibilidad de tres sistemas diferentes, dos de ellos se colocan sobre la mano (Flexiforce de Tekscan Inc. y QTC de Peratech Ltd.) y un tercero pensado para colocar sobre el objeto (F-scan 9811 de Tekscan Inc.), así como su validez para el uso en investigaciones prácticas, analizando el agarre de un palo de golf durante el golpeo.

El agarre de potencia cilíndrico [2] es uno de los más empleados durante la realización de actividades de la vida diaria como coger una botella para servir agua o agarrar el volante de un vehículo durante su conducción. Se trata de un agarre con contacto en una superficie elevada de la mano y con el que pueden conseguirse fuerzas elevadas de agarre. Dada su importancia, la caracterización biomecánica de este agarre es de gran interés, ya que la funcionalidad de la mano humana radica en que dicho agarre pueda ser realizado. Así, es de interés en diversos ámbitos, como el desarrollo de prótesis de mano, la planificación quirúrgica de la mano o en el diseño ergonómico de productos [12,13].

En este trabajo se comparan dos sistemas comerciales diferentes para la medición de las fuerzas de contacto entre mano y objeto pensados para ser colocados sobre la mano. Se compara la exactitud y repetibilidad de ambos sistemas y se analiza su facilidad y comodidad de uso para el estudio en laboratorio de agarres cilíndricos. Por otra parte, se comparan los resultados obtenidos con ambos sistemas en un experimento de agarre y elevación de un cilindro de diámetro 75 mm y masa 1.5 kg.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Descripción de los sistemas de medida

En este trabajo se emplearon dos sistemas diferentes basados en el uso de sensores de presión para la medición de las fuerzas de contacto entre mano y objeto durante el agarre: el sistema Grip (Tekscan Inc.) y el FingerTPS (Pressure Profile Systems).

El sistema Grip se basa en el uso del sensor 4256E de dicha empresa (figura 1a). Este sensor está pensado para ser unido a un guante o ser pegado directamente a la mano del usuario, quedando montado tal como se observa en la figura 1b. Consta de 18 zonas sensibles con un total de 349 elementos sensores individuales cuadrados, con una densidad aproximada de unos 6 elementos sensores por  $\text{cm}^2$ , abarcando las principales zonas de contacto de la mano con los objetos durante el agarre. El principio de funcionamiento del sensor es resistivo y su espesor aproximado es 0.1 mm. La frecuencia máxima de adquisición es de 750 Hz y la presión máxima de medida es de 517 kPa, pudiendo seleccionarse la sensibilidad del sensor a través del software de adquisición, para niveles de presión máxima de 517, 345, 172 y 86 kPa. El sensor se conecta a un *hub* de dos entradas (permitiendo la conexión de un sensor adicional) que se fija al brazo y que transfiere la información al ordenador a través de un puerto USB.

El sistema Finger TPS se compone de 8 zonas sensitivas montadas sobre soportes de tela para su fijación a la mano (figura 2), 5 de las cuales miden las fuerzas de contacto en las falanges distales, dos en las falanges proximales de los dedos índice y corazón y una colocada sobre la palma. Cada zona sensible se compone de un elemento sensor con forma aproximadamente elíptica compuesto de diversos elementos sensibles, aunque el sistema únicamente proporciona información de la fuerza total en cada sensor. El principio de funcionamiento del sensor es capacitivo y su espesor final es de unos 2 a 3 mm. La frecuencia máxima de adquisición es de 40 Hz. Los sensores se conectan a un *hub* que se

fija sobre el brazo y que transfiere la información al ordenador vía *wireless* o bien mediante un cable USB.

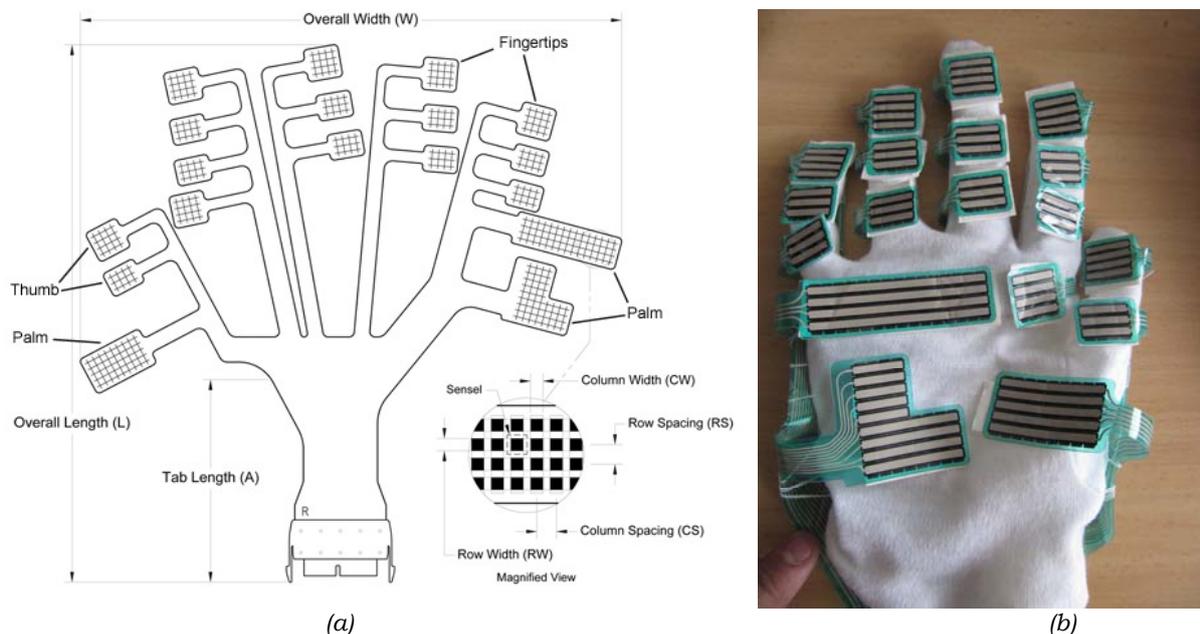


Figura 1. Sensor Grip 4256E



Figura 2. Finger TPS

## 2.2. Ensayos de exactitud, precisión, histéresis y deriva

Con el fin de conocer el comportamiento de los sensores de cada sistema de medida se plantearon dos experimentos controlados que permiten comprobar los niveles de exactitud, precisión, histéresis y deriva sobre una zona sensible concreta con uno y otro sistema. Para ello se seleccionó la falange distal del dedo medio (matriz de 4x4 elementos sensibles en sistema Grip y sensor específico en el sistema Finger TPS). Para ambos ensayos se usó un aparato manual para ensayos de compresión (Mecmesin AFG 500N) que permite la aplicación de un desplazamiento controlado del aplicador y la medida simultánea de la fuerza realizada. La exactitud de medida de fuerza de este sistema es de  $\pm 0.5$  N y los datos obtenidos con el mismo se tomaron como valor de referencia exacto en la comparación de los sensores. Para realizar los experimentos en condiciones similares a las del uso final del sensor, se usó un dedo artificial que se obtuvo rellenando de arena un guante de látex. Sobre este dedo artificial se colocó el sensor y se aplicó sobre el mismo una serie de fuerzas controladas con el equipo de ensayo, al tiempo que se realizaba la adquisición con el sistema de medida propio del sensor.

Durante el primer experimento la fuerza de compresión se fue variando con escalones de 0 a 22 N, primero subiendo y a continuación bajando. Los incrementos entre escalones fueron de 0.5 N, 1 N y 2N dependiendo del nivel de fuerza (crecientes para mayores fuerzas). El tiempo empleado entre escalones consecutivos fue de unos 10-15 segundos. Este ensayo se repitió tres veces para cada sensor, en la misma sesión, para analizar la repetibilidad de los resultados. La comparación entre las medidas realizadas durante la subida de fuerza y las realizadas durante la bajada en estos mismos ensayos permite analizar la histéresis del sensor.

Previamente a la realización de los ensayos los equipos se calibran siguiendo las instrucciones del fabricante. En el caso del equipo Finger TPS se utiliza una célula de carga suministrada con el equipo que se conecta directamente al ordenador vía USB. El software de adquisición pide la aplicación de una fuerza sobre el sensor con cada una de las zonas sensibles, estableciendo con ellos la calibración. El valor de fuerza de referencia aplicada durante la calibración puede seleccionarse, pero el fabricante recomienda un valor en torno a 3 lb-f (unos 13 N), no siendo fácil emplear valores mayores ya que el sistema exige el uso de la misma fuerza para todas las zonas sensibles, resultando complicada la calibración con valores más elevados. En nuestros experimentos se usó este valor de fuerza para la calibración. En el caso del equipo Grip la calibración se realiza presionando el sensor con una fuerza conocida que se suministra al software de medida, midiéndose esa fuerza con un sistema neumático suministrado con el equipo o bien por presión directa sobre una báscula. En este trabajo se empleó una báscula, ya que el otro sistema sólo puede emplearse con el sensor apoyado en una superficie plana, por lo que no resulta realista para cuando se tiene el guante montado sobre una mano. La calibración se realizó con una medida de fuerza de 35 N, ligeramente superior al valor máximo de fuerza en los experimentos.

Se utilizaron las siguientes expresiones para calcular, respectivamente, los valores de los errores de exactitud, repetibilidad e histéresis de cada sensor.

$$\varepsilon_{\text{exac}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |F_{\text{ref}_i} - F_{\text{sen}_i}| \quad (1)$$

$$\varepsilon_{\text{rep}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (F_{\text{sen}_j} - \bar{F}_{\text{sen}_j})^2}{m(m-1)}} \quad (2)$$

$$\varepsilon_{\text{his}} = \max(|F_{\text{sen}_i_{\text{sub}}} - F_{\text{sen}_i_{\text{baj}}}|) \quad (3)$$

donde  $i=1\dots n$  en la ecuación 1 representa cada una de las medidas realizadas en una misma repetición a un nivel diferente de fuerza,  $j=1,2,\dots,m$  en la ecuación 2 representa cada una de las repeticiones realizadas a un mismo nivel de fuerza. Los subíndices *ref* y *sen* empleados en las ecuaciones indican que las fuerzas corresponden al valor de referencia y al del sensor, respectivamente. Para el cálculo del error de histéresis (Ec. 3) se comparan los valores de fuerza obtenidos en el sensor en un mismo nivel de fuerza, para la subida (*sub*) y la bajada (*baj*), para una misma repetición del ensayo.

Para analizar la deriva de los sensores se realizó un segundo experimento, usando el mismo aparato que en el primero. En este caso se aplicó una carga sobre el sensor de 35 N durante 62 segundos, registrándose el valor medido por el sensor durante todo el tiempo. El error de deriva se calculó para tres instantes correspondientes a  $t=1, 10$  y  $60$  segundos desde el inicio, usando la ecuación 4.

$$\varepsilon_{der} = \frac{F_{sen\_t} - F_{sen\_t=0}}{F_{sen\_t=0}} \quad (4)$$

donde  $F_{sen\_t}$  corresponde al valor medido por el sensor en el instante  $t$  y  $F_{sen\_t=0}$  al valor medido por el sensor en el instante inicial. El experimento se repitió tres veces para obtener el valor promedio y la desviación de la deriva.

### 2.3. Comparación de medidas sobre un agarre de potencia cilíndrico

Con el fin de comparar el uso de ambos sistemas en condiciones de agarre reales se realizó un experimento consistente en el agarre y levantamiento de un bote cilíndrico. Para ello se seleccionó un sujeto varón de 22 años e índice de masa corporal 23.85, sin patologías conocidas en manos ni brazos. Para el experimento el sujeto, convenientemente instrumentado en su mano derecha con uno de los sistemas de medida, se situó sentado en una silla, frente a una mesa, de modo que sus codos quedaran a la altura de la mesa. Sobre la mesa se apoyó un bote cilíndrico de plástico relleno de arena, de diámetro 75 mm y altura 215 mm, con un peso de 1.554 kg. El bote se apoyó sobre la base, con su eje en vertical y situado a una distancia aproximada de 15 cm del borde de la mesa. El experimento consistía en, partiendo con la mano derecha suspendida en el aire, agarrar el bote y elevarlo de la mesa una distancia de unos 20 cm, bajándolo de nuevo hasta apoyarlo nuevamente en la mesa, a una velocidad normal. El tiempo total para dicha tarea osciló en torno a los 3 segundos. El experimento se repitió tres veces seguidas utilizando cada uno de los dos sistemas de medida, Grip y Finger TPS. La frecuencia de adquisición con el sistema Grip fue de 50 Hz y con el sistema Finger TPS de 41.6 Hz.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Exactitud, precisión, histéresis y deriva

La figura 3a muestra los resultados obtenidos en el primer experimento, para comprobar la exactitud, precisión e histéresis del sistema. Las curvas muestran la comparación entre la fuerza de referencia medida con el equipo Mecmesin y la fuerza media para las tres repeticiones indicada por los sensores Grip y Finger TPS durante las diferentes medidas con fuerza de referencia de subida y posteriormente de bajada. La figura 3b muestra los mismos resultados representados frente a la fuerza de referencia, observándose la curva de histéresis de cada sensor.

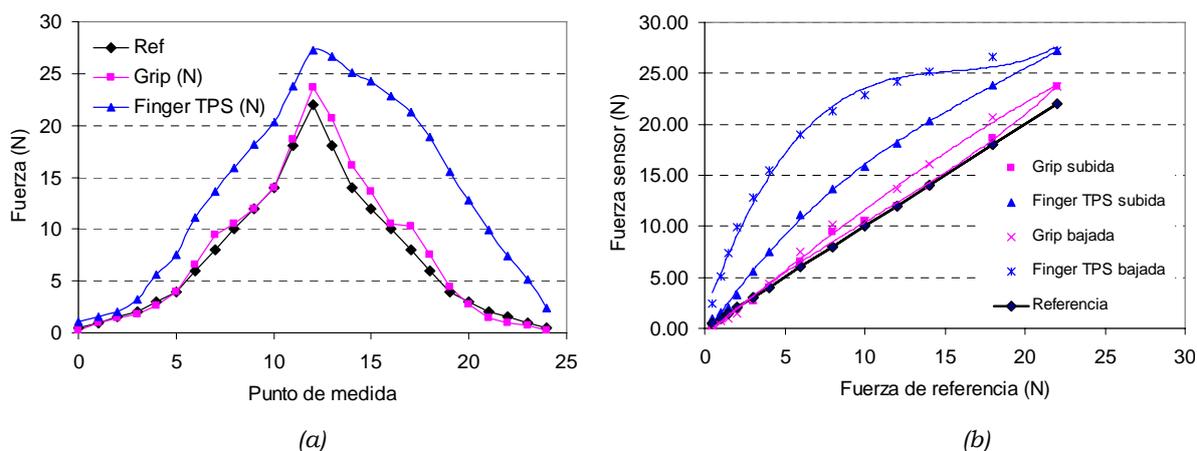


Figura 3. Comparación de resultados entre ambos sensores (valores medios)

En la figura 4 se muestran las curvas de respuesta de cada sensor en función del tiempo, correspondientes al segundo experimento. Se puede comprobar la deriva de cada sensor durante un minuto.

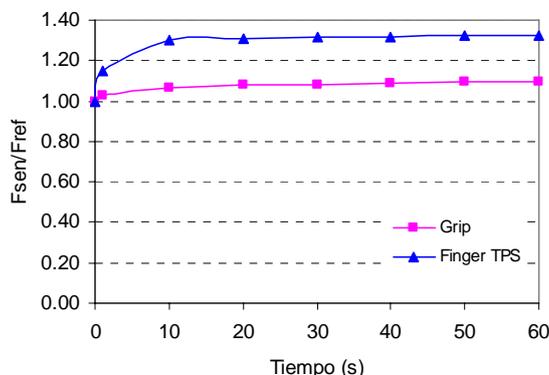


Figura 4. Deriva de los sensores durante un minuto

En la tabla 1 se resumen los resultados de los errores de exactitud, repetibilidad, histéresis y deriva.

	Grip	Finger TPS
Error de exactitud, $\epsilon_{exac}$ (N)	0.86	6.49
Error de repetibilidad, $\epsilon_{rep}$ (N)	0.23	0.80
Error histéresis, $\epsilon_{his}$ (N)	2.28	8.71
Error deriva (t=1s), $\epsilon_{der}$	2.5%	15.2%
Error deriva (t=10 s), $\epsilon_{der}$	6.4%	30.2%
Error deriva (t=60 s), $\epsilon_{der}$	9.9%	32.5%

Tabla 1. Errores promedio de cada sistema

### 3.2. Comparación en agarre de potencia cilíndrico

La figura 5 muestra los resultados de fuerza total durante el experimento de elevar un bote cilíndrico de peso 1.5 kg, para cada una de las tres repeticiones realizadas y el valor promedio, con cada uno de los equipos de medida. La fuerza total representada corresponde a la suma de fuerza en todos los sensores de cada sistema. Para compensar las diferencias en la duración de cada repetición, la escala de tiempos se ha normalizado, tomando como origen y fin de tiempos los instantes en los que se pasaba por un cierto umbral de fuerza, fijado en 0.5 N.

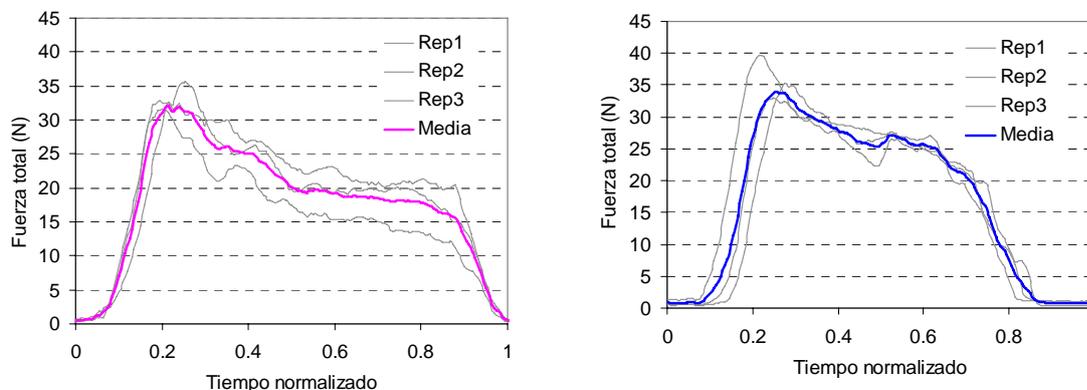


Figura 5. Fuerza en el experimento de levantar un bote cilíndrico con sistema Grip (a) y Finger TPS (b)

#### 4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se ha comparado dos sistemas para la medida de las presiones de contacto entre la mano y el objeto durante la realización de agarres. Los experimentos controlados realizados sobre uno de las zonas sensibles, en concreto sobre el extremo distal del dedo medio, indican que el sistema Grip presenta resultados mucho mejores que los del Finger TPS. Los resultados obtenidos con el sistema Grip son sensiblemente similares a los medidos con el dinamómetro calibrado del sistema Mecmesin empleado para los ensayos, con un error de exactitud medio y repetibilidad inferiores a 0.5 N. En cambio, el sistema Finger TPS presenta errores medios de exactitud de más de 6 N. La repetibilidad de ambos sistemas es aceptable dentro de los márgenes de error esperables para este tipo de experimentos, aunque también ligeramente mejor la del sistema Grip. El experimento realizado indica una histéresis apreciable en ambos sistemas, con medidas más altas en la bajada de fuerza que en la subida, aunque también los resultados vuelven a ser mucho mejores en el sistema Grip. Por otra parte, el ensayo de deriva indica que en ambos sistemas la respuesta estática es creciente con el tiempo, sobre todo antes de los 10 segundos, pudiendo presentarse errores de hasta el 10% en el sistema Grip y más del 30% en el sistema Finger TPS. Este error puede tener menos importancia durante la realización de ensayos dinámicos, pero debe tenerse en cuenta. De hecho, puede ser el causante del elevado error de exactitud e histéresis observado en el sistema Finger TPS, ya que la señal de respuesta del sensor podría haber ido creciendo durante el ensayo.

Por otra parte, se compararon ambos sistemas durante la realización de una tarea de agarre real, en concreto la elevación de un bote cilíndrico de 75 mm de diámetro y 1.5 kg de peso. En este caso se emplearon todos los sensores de cada sistema. Los resultados obtenidos por ambos sistemas son similares tanto en la forma de las curvas como en los valores de fuerza total de agarre (suma de fuerzas en todos los sensores). La forma de las curvas de fuerza de agarre total concuerda con datos previos de la bibliografía para tareas de levantamiento de objetos [4, 5], observándose una subida inicial correspondiente al incremento de fuerza normal necesaria para vencer el peso del objeto y acelerarlo. El pico máximo de fuerza se produce al final de la elevación del objeto. Posteriormente, durante el mantenimiento del objeto a la máxima elevación, se produce una reducción de la fuerza de agarre, como consecuencia de la desaparición de la fuerza de inercia. Durante el descenso del objeto la fuerza de agarre se mantiene aproximadamente constante, y en la fase final se produce de nuevo un descenso brusco de la misma durante la desaparición del contacto con el objeto una vez apoyado de nuevo en la mesa. La magnitud de la fuerza normal pico con ambos sistemas se sitúa cerca de los 35 N. Este valor depende del coeficiente de fricción entre el objeto y las zonas de contacto de los sensores. En nuestros resultados, la relación entre la fuerza de agarre máxima y peso elevado se sitúa cercana a 3. Cadoret y Smith [5] para un agarre bidigital obtuvieron valores de fuerza de agarre máxima entre 5 N y 11 N para elevar una carga de 2 N, dependiendo de la textura y coeficiente de rozamiento de la superficie, con unas curvas de evaluación de la fuerza de agarre muy similares a las obtenidas en nuestro experimento. En cualquier caso, la similitud en los valores de fuerza de agarre obtenida con ambos sistemas debe tomarse con precaución, ya que el coeficiente de rozamiento de ambos sistemas con el objeto no es necesariamente el mismo y, por otra parte, el número de zonas sensibles en el sensor Grip es mayor que en el sistema Finger TPS, siendo difícil establecer la influencia exacta de estos efectos en los resultados. No obstante, el hecho de que la forma de las curvas sea tan semejante indica que ambos sistemas son adecuados para medir correctamente la evolución de la fuerza de agarre y por tanto para comparar el agarre en diferentes condiciones en una misma sesión experimental.

Desde el punto de vista práctico, ambos sistemas presentan sus inconvenientes de uso. Por una parte, el sistema Grip requiere una adaptación del mismo a un guante, mediante cosido y pegado, para que su uso sea práctico, ya que colocarlo en cada experimento sobre la mano directamente resulta tedioso y complejo. La calibración del sistema es sencilla presionando con todo el sensor ya colocado en la mano sobre una báscula, aunque el procedimiento se presta a errores si el operador y sujeto no son cuidadosos, ya que es preciso tomar la medida con el equipo a la vez que se mantiene una fuerza constante de presión sobre la

báscula. Por su parte el sistema Finger TPS resulta más cómodo de colocar pero su calibración es mucho más compleja, ya que requiere la calibración independiente de cada sensor en un orden predeterminado por el software y con una fuerza igual en todos ellos, y presenta un comportamiento errático y poco predecible en muchos casos. Además el sistema presenta el inconveniente, frente al Grip, de una menor cantidad de zonas sensibles sobre la mano.

## 5. CONCLUSIONES

En este trabajo se han comparado dos sistemas comerciales para la medida de las presiones de contacto entre la mano y el objeto durante el estudio de agarres: sistema Grip de Tekscan y sistema Finger TPS de Pressure Profile. En la comparación de la exactitud, repetibilidad, deriva e histéresis de ambos sensores el sistema Grip ha presentado mejores resultados. El sistema Finger TPS presenta una deriva muy elevada que puede haber condicionado los resultados en la comparación. En el análisis de ambos sistemas en un agarre cilíndrico real se ha comprobado que los resultados obtenidos con ambos sistemas son similares y válidos para el estudio comparativo de agarres dinámicos. Desde el punto de vista de su utilización práctica ambos sistemas son mejorables. Aunque el sistema Finger TPS resulta más sencillo de colocar, la complejidad de calibración y el menor número de zonas sensibles, junto con la deriva indicada del sensor, hacen que el uso del sistema Grip resulte globalmente una mejor opción.

## 6. REFERENCIAS

- [1] Napier, J. R., *The Prehensile Movements of the Human Hand*, J Bone Joint Surg, 38 (2008) B(4) pp. 902.
- [2] Cutkosky, M.R., and Howe, R.D., *Human Grasp Choice and Robotic Grasp Analysis*, en *Dexterous Robot Hands*, Springer-Verlag, New-York, pp. 5-31, Chap. 1. (1990).
- [3] Iberall, T. *Human Prehension and Dexterous Robot Hands*, The International Journal of Robotics Research, 16(3) (1997), pp. 285.
- [4] Edin, B. B., Westling, G., and Johansson, R. S., *Independent Control of Human Finger-Tip Forces at Individual Digits during Precision Lifting*, The Journal of Physiology, 450 (1992), pp. 547-564.
- [5] Cadoret, G., and Smith, A. M., *Friction, Not Texture, Dictates Grip Forces used during Object Manipulation*, Journal of Neurophysiology, 75(5), (1996), pp. 1963-1969.
- [6] Aoki, T., Niu, X., Latash, M. L., *Effects of Friction at the Digit-Object Interface on the Digit Forces in Multi-Finger Prehension*, Experimental Brain Research, 172(4), (2006), pp. 425-438.
- [7] Budgeon, M. K., Latash, M. L., and Zatsiorsky, V. M., *Digit Force Adjustments during Finger addition/removal in Multi-Digit Prehension*, Experimental Brain Research, 189(3), (2008), pp. 345.
- [8] Hermsdorfer, J., Li, Y., Randerath, J., *Anticipatory Scaling of Grip Forces when Lifting Objects of Everyday Life*, Experimental Brain Research. Experimentelle Hirnforschung. Experimentation Cerebrale, 212(1), (2011), pp. 19-31.
- [9] Dong, R. G., Wu, J. Z., Welcome, D. E., *A New Approach to Characterize Grip Force Applied to a Cylindrical Handle*, Medical Engineering & Physics, 30(1), (2008), pp. 20-33.
- [10] Faria, D. R., Martins, R., Lobo, J., *Extracting Data from Human Manipulation of Objects Towards Improving Autonomous Robotic Grasping*, Rob Auton Syst, 60(3), (2012), pp. 396-410.
- [11] Komi, E. R., Roberts, J. R., and Rothberg, S. J., *Evaluation of Thin, Flexible Sensors for Time-Resolved Grip Force Measurement*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 221(12), (2007), pp. 1687-1699.

- [12] Kargov, A., Pylatiuk, C., Martin, J., *A Comparison of the Grip Force Distribution in Natural Hands and in Prosthetic Hands*, Disability and Rehabilitation, 26(12), (2004), pp. 705-711.
- [13] Endo, Y., Kanai, S., Kishinami, T., *Virtual grasping assessment using 3D digital hand model*, 10th Annual Applied Ergonomics Conference: Celebrating the Past - Shaping the Future. Dallas, TX, (2007).