

# Diseño y Construcción de un Guante de Datos mediante Sensores de Flexibilidad y Acelerómetro

Miguel A. Arenas<sup>1</sup>, Jose M. Palomares<sup>1</sup>, Loïc Girard<sup>2</sup>, Joaquin Olivares<sup>1</sup>, Jose M. Castillo-Secilla<sup>1</sup>

*Resumen*— En este artículo se muestra un guante de datos diseñado a partir de sensores de flexibilidad construidos ad hoc para este prototipo y un acelerómetro. Este guante de datos se ha construido con un sistema de comunicación inalámbrico que facilita en gran modo su ergonomía y facilidad de uso. Se ha realizado una optimización en el tamaño de los datos enviados para poder mantener una tasa de comunicaciones elevada, para lo cual, se ha reducido el número de bits del acelerómetro que hay que enviar, con una reducción en la precisión muy baja. Se presentan los resultados de una investigación en sensores aplicables a los movimientos de los dedos y la mano, y la posibilidad de adquisición y envío inalámbrico a un sistema de procesamiento.

*Palabras clave*— Computación Vestible, Sistemas Empotrados, Microcontroladores, Sensores Flexibles.

## I. INTRODUCCIÓN

La computación vestible es uno de los nuevos objetivos de aplicación de los sistemas empotrados. Dentro de la computación vestible, este artículo se centra en el estudio y diseño de un guante con un conjunto de sensores para la captura de los movimientos realizados por una mano y su posterior representación virtual[1]. Para ello, se utilizan sensores de flexibilidad en los dedos y un acelerómetro que indica la posición real de la mano con respecto al plano horizontal del suelo.

Estos nuevos sistemas computacionales son aplicables a multitud de problemas reales, como la monitorización de constantes vitales con sensores acoplados a la ropa, la prevención de accidentes o caídas domésticas de personas mayores. Otras aplicaciones posibles para este prototipo son la cuantificación de la progresión en la rehabilitación terapéutica o de fisioterapia, ya que se pueden medir las mejoras de los pacientes de forma numérica. El estudio se centra en los sensores aplicables a la mano, junto con la captación y el procesamiento de datos de los movimientos realizados por la mano[2].

En este artículo se lleva a cabo una revisión de los antecedentes en este campo, así como las diversas posibilidades de aplicación. Se parte de la construcción de unos sensores de flexibilidad a partir de materiales simples y el análisis de su respuesta. Tras ello, se realiza el estudio de los diversos sistemas de co-

municación inalámbrica existentes para determinar el más adecuado para este proyecto y se realiza la adaptación de los datos a las restricciones que impone el sistema elegido. Tras ello, se describirá el microcontrolador o plataforma hardware que se utiliza para la obtención de los datos. A continuación, se expondrá el desarrollo de una aplicación informática que muestre los resultados obtenidos con la captación de datos provenientes de los sensores. Se continúa con el análisis de los resultados en base a los sensores de flexión diseñados, con respecto al guante de datos y en relación al software que representa el movimiento 3D asociado al guante de datos. Para finalizar se exponen las conclusiones principales asociadas a esta investigación.

## II. REVISIÓN TECNOLÓGICA

Los sistemas de captación de datos aplicados a la mano se llevan utilizando desde hace varias décadas. En 1989, Nintendo lanzó al mercado el guante Nintendo Power Glove [3], el cual llevaba en su interior unos sensores de flexibilidad. Aunque su funcionamiento era muy preciso, tenía el gran inconveniente de que iba conectado a través del puerto serie con un cable y no tuvo mucho éxito. Otro guante de captación de datos más moderno es Aceleglove [4], que funciona a partir de un conjunto de seis acelerómetros, situados en la punta de los dedos y en la parte central de la mano. Éste también presenta el inconveniente de la conexión por cable, aunque utiliza el puerto USB en lugar del puerto serie.

Para la comunicación inalámbrica existen distintas tecnologías de comunicación, entre las más utilizadas en este ámbito se encuentran Wifi, Bluetooth, Zigbee y Radio-Frecuencia. Todas ellas podrían ser aplicables a este desarrollo, por lo que serán estudiadas, eliminando la posibilidad de Radio-Frecuencia ya que presenta graves problemas de seguridad, al no implementar control de errores en el envío.

## III. DISEÑO HARDWARE

En esta sección se describirán los componentes que se han utilizado para desarrollar el prototipo de guante de datos que se ha construido en este trabajo.

### A. Sensores de Flexibilidad

Los sensores de flexibilidad son elementos electrónicos que permiten determinar el grado de flexión de un material. Uno de los mecanismos para determinar el grado de flexión de un dispositivo es a

<sup>1</sup>Dpto. Arquitectura de Computadores, Electrónica y Tecnología Electrónica, Univ. de Córdoba, e-mail: i42arlom@uco.es, jmpalomares@uco.es, olivares@uco.es, jmcastillo@uco.es

<sup>2</sup>Dpto. Informatique, Institut Universitaire de Technologie de La Rochelle, e-mail: l.girard0@laposte.net

partir de cambios en la resistividad asociada a dicho elemento. Existen sensores comerciales que realizan este cometido con una precisión bastante aceptable [5]. Estos sensores aumentan su resistividad conforme aumenta el ángulo de flexión, con valores nominales de  $20K\Omega$  en reposo hasta  $40K\Omega$  con flexiones de  $180^\circ$ . Sin embargo, se comercializan únicamente en dos tamaños (2.2 y 4.5 pulgadas) y con precios relativos bastante elevados para el material que utilizan. En España se comercializan por  $12,60\text{€}$  cada unidad.

Para la construcción de los sensores de flexibilidad se utilizan dos láminas de cobre, con una fina película de polímero semiconductor Velostat de 3M [6]. Éste es un material conductor flexible que disminuye su resistencia eléctrica al ser presionado por las láminas de cobre. Todo el conjunto se aísla con un tubo termorretráctil que da consistencia al montaje. En la Fig. 1 se puede ver el esquema de montaje del sensor. Esta composición tiene un precio aproximado de  $0,75\text{€}$  por unidad, por lo que la reducción de precio con respecto a los sensores comerciales es muy apreciable.

Para construir el sensor se han seguido los siguientes pasos: Primero se han cortado 2 láminas de cobre exactamente iguales, en este caso de  $90\text{mm}$  de longitud por  $8\text{mm}$  de ancho, 1 lámina de Velostat de tamaño  $2\text{mm}$  mayor de largo y ancho que el cobre para que sobresalga ligeramente por los bordes. A cada lámina de cobre se le ha soldado en la cara exterior un cable flexible. A continuación, se superponen las 3 láminas dejando el cobre en el exterior. Estas láminas se fijan con cinta adhesiva de forma que no se toquen las láminas de cobre directamente. Por último, se introducen las tres láminas fijadas en un tubo termorretráctil de forma que las láminas queden cubiertas por dicho termorretráctil y salgan los cables por uno de los extremos. Para finalizar, se calienta ligeramente el tubo termorretráctil lo justo para que disminuya su tamaño un poco aunque sin llegar a bloquear completamente las láminas, ya que es necesario que se muevan al flexionar el sensor. Los dos cables externos se conectan a la resistencia para formar el divisor de tensión y poder medir los valores.

El desarrollo se ha realizado de manera manual, por lo que cada sensor tiene características similares aunque no son exactamente iguales. La principal diferencia entre cada sensor construido es el valor de resistencia en la posición no doblada, que ha variado entre  $3.1K\Omega$  y  $20K\Omega$ . Este comportamiento es analizado con mayor profundidad en la Sec. V-A. Al contrario que con los sensores comerciales, que aumentan su resistividad conforme aumenta el ángulo de flexión, los sensores construidos disminuyen la resistividad al incrementarse la flexión.

El sensor se conecta al micro-controlador encargado del procesamiento de la información utilizando un divisor de tensión con una resistencia de  $10K\Omega$ , gracias al cual se puede leer el valor analógico de la caída de tensión, deduciendo matemáticamente el valor de

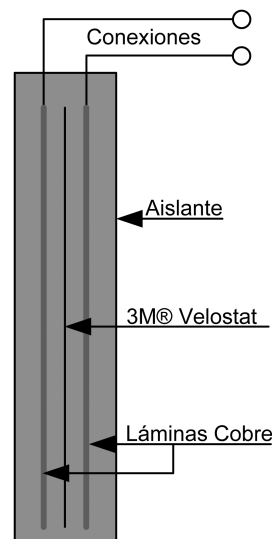


Fig. 1. Esquema de montaje del sensor de flexibilidad

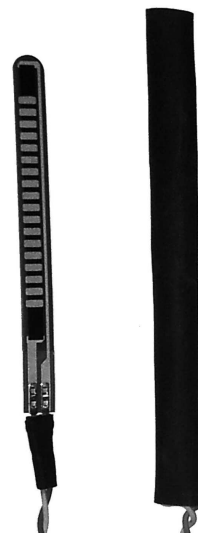


Fig. 2. Sensores comercial y construido, respectivamente

resistividad.

En la Fig. 2 se pueden ver tanto el sensor comercial de 2.2 pulgadas a la izquierda y uno de los sensores construidos manualmente de 9 cm. a la derecha. Como puede observarse, el sensor construido es más grande que el comercial, aunque sería posible construirlo más pequeño si se dispone de elementos de corte y fabricación de mayor precisión.

### B. Acelerómetro

El acelerómetro es un dispositivo que se encarga de medir el grado de aceleración aplicado y mediante un procesamiento adicional se puede obtener la posición relativa del mismo con respecto al plano horizontal de tierra. En este prototipo se ha seleccionado el Freescale MMA8452Q [7] como acelerómetro digital de 3 ejes, el cual se comunica con el controlador a través del Bus  $I^2C$  a  $800\text{Mhz}$ . que permite obtener valores de aceleración a una frecuencia muy elevada, muy superior a la frecuencia mínima requerida para determinar la posición de la mano con suficien-

te precisión. El MMA8452Q se puede configurar por software para cambiarle el fondo de escala, que para esta aplicación, dado que no vamos a necesitar detectar con precisión aceleraciones muy bruscas, se ha configurado para medir desde  $-2g$  a  $+2g$ .

### C. Comunicación Inalámbrica

En el desarrollo de este trabajo, se han probado distintas alternativas existentes en la actualidad para realizar conexiones inalámbricas en redes de área personal (PAN)[8].

Comparando las tecnologías inalámbricas más habituales [9], [10], se decide seleccionar la comunicación por Zigbee [11], por su bajo consumo y ancho de banda suficiente para el tipo de aplicaciones que se pueden desarrollar con el guante. También presenta una cobertura bastante amplia, de unos 100 metros en espacios abiertos y 30 metros en espacios cerrados, en cualquier caso resulta suficiente para las aplicaciones asociadas al uso del guante. Una ventaja que proporciona Zigbee es la posibilidad de incorporar un gran número de nodos a la red, permitiendo aplicaciones escalables.

Cómo módulo Zigbee se ha utilizado el módem comercializado por Digi [12], que permite comunicarlo directamente con el controlador Arduino Fio explicado en el siguiente apartado, e incluso utilizando la API disponible se pueden utilizar distintos lenguajes de programación en cada nodo y que se comuniquen entre ellos.

#### C.1 Ajuste de datos para las comunicaciones

Para optimizar las comunicaciones, se ha planificado un ajuste de la información obtenida por los sensores, permitiendo enviar toda la información en paquetes de datos de tan solo 5 Bytes. Los 2 primeros Bytes se han dedicado al envío de los datos de cada uno de los cinco sensores de flexibilidad, para lo que se han utilizado 3 bits por sensor, ya que con 8 valores se puede almacenar la posición de un dedo con precisión suficiente. El bit 16 no se ha utilizado, para poder alinear al inicio del tercer Byte los datos del acelerómetro. Este dispositivo proporciona los valores de aceleración en cada eje utilizando un valor entero de 12 bits para un rango  $[-2g, +2g]$ . El valor real asociado a dicho valor entero se puede obtener aplicando la ecuación (1).

$$v_g = \frac{v_{ent}}{1024} \quad (1)$$

Para las aplicaciones que permiten determinar la posición de la mano, no es necesaria una resolución tan elevada, por lo que se realiza un procesamiento para almacenar los valores en 8 bits por eje y en un rango más reducido  $[-1g, +1g]$ . Como cada eje tiene un movimiento posible de  $\pi$  radianes, usando 256 valores tenemos una precisión de 0.0127 radianes, o lo que es lo mismo 0.703 grados. Se ha decidido que es suficiente esta precisión. El procesamiento realizado para reducir el número de bits es el siguiente:

1. Obtener el valor en punto flotante de aceleración aplicando la ecuación (1).

TABLA I  
TABLA DE DISTRIBUCIÓN DE LOS 5 BYTES DE PAYLOAD USADOS EN ZIGBEE

USO:	Dedos	Vacio	Eje X	Eje Y	Eje Z
BITS:	15	1	8	8	8

2. Saturar los valores inferiores a  $-1g$  y los superiores a  $+1g$ .
3. Sumar 1 para reescalar los valores a  $[0, +2g]$ .
4. Multiplicar por 127, para un rango  $[0, 255]$ .
5. Truncar el resultado eliminando los decimales.

La pérdida de precisión que conlleva es muy reducida. A continuación, a modo de ejemplo, se muestra el error que se obtiene al cuantizar dos mediciones reales del acelerómetro. Las dos medidas son 9 para el eje X y 500 para el eje Y, según devuelve el acelerómetro su valor entero de 12 bits. Al aplicar los pasos descritos anteriormente, se obtiene la reducción a valores de 8 bits, 128 y 189, respectivamente.

$$v_y^{12bits} = 500 \rightarrow \frac{500}{1024} = 0.48828g \rightarrow 189.0117 \quad (2)$$

$$v_x^{12bits} = 9 \rightarrow \frac{9}{1024} = 0.00879g \rightarrow 128.1162 \quad (3)$$

Para comprobar el error que se ha incluido al realizar la reducción de bits, se realiza el procedimiento inverso:

$$v_y^{8bits} = 189 \rightarrow \frac{189}{127} - 1 = 0.48819g \rightarrow 499.9055 \quad (4)$$

$$v_x^{8bits} = 128 \rightarrow \frac{128}{127} - 1 = 0.00787g \rightarrow 8.0630 \quad (5)$$

Se puede observar el pequeño error que se produce al calcular el procedimiento inverso. En este ejemplo, los valores tienen un error de 0.937 y 0,0945, respectivamente. En cualquier caso, el error tiene sentido calcularlo en función del ángulo que ambos vectores proporcionan:

$$\alpha^{12bits} = \arctan\left(\frac{0.48828}{0.00879}\right) = 88.97^\circ \quad (6)$$

$$\alpha^{8bits} = \arctan\left(\frac{0.48819}{0.00787}\right) = 89.08^\circ \quad (7)$$

Como puede observarse, el error es inferior a  $0.11^\circ$ , lo cual hace que de manera práctica sea interesante su aplicación para la optimización del contenido del paquete de comunicaciones, ya que la pérdida de precisión es baja frente a una reducción de 36 bits a 24 bits (reducción en tamaño del 33%).

Todos estos valores se incluyen en el payload [13] de la trama Zigbee. En la Tabla I se puede ver la distribución de los datos en dicho payload. Una vez recibidos los datos en el PC receptor se realizan las operaciones inversas para tener de nuevo valores de  $-1g$  a  $+1g$  para poder procesarlos y realizar los movimientos necesarios.

### D. Microcontrolador Arduino FIO

Para este estudio se ha seleccionado la plataforma de desarrollo de hardware libre Arduino [14] en su

versión FIO. Este sistema nos permite desarrollar el sistema de captación de datos de manera fácil y con unas altas prestaciones, ya que la velocidad de procesamiento del controlador es suficiente para controlar el guante y sus sensores. Otra ventaja de esta plataforma es la posibilidad de conectar el módem de Digi directamente, al incorporar un zócalo para el Zigbee. Además, Arduino FIO incorpora una batería LiPo y permite su carga directa desde el conector mini USB.

Adicionalmente, este controlador presenta un consumo muy reducido, que se traduce en una gran autonomía. Como se ha comentado con anterioridad, este sistema incorpora una batería LiPo con una capacidad de  $1000mA$  y una tensión de  $3.7V$ . Gracias a dicha batería, es capaz de tener activo y a pleno funcionamiento el sistema más de 24 horas ininterrumpidas. Si se articulasen mecanismos para detectar la parada del guante, podrían desactivarse los sensores y poner el sistema en modo de bajo consumo, con lo que la autonomía del sistema podría ser mucho mayor. Otra ventaja que presenta Arduino son sus librerías, que incluyen todo lo necesario para acceder al Bus  $I^2C$  y al módulo Zigbee, por lo que se facilita en gran medida la programación del microcontrolador.

Los sensores de flexibilidad se conectan a las entradas analógicas de Arduino FIO, para que se mida la caída de tensión en el sensor. Dado que el conversor Analógico/Digital de Arduino FIO tiene una resolución de 10 bits entre 0 y  $3.3V$ , tenemos disponibles  $2^{10} = 1024$  valores posibles, con un rango mínimo de 0.0032 Voltios/valor.

#### E. Integración en el Guante

La integración de los sensores de flexibilidad en el guante, es uno de los problemas más importantes en este estudio ya que para obtener unos buenos resultados, los sensores deben estar fijados al guante con fuerza, pero no resultar molestos para la persona. Tras una serie de pruebas ubicando los sensores en distintas partes de la mano, se obtuvieron los mejores resultados situando éstos bajo los dedos de forma que al cerrar los dedos se presionen y se produzca la flexión de los sensores.

El acelerómetro se coloca en la parte anterior de la mano, en la parte central de la misma de forma que los movimientos sean lo más uniformes posibles, y quede cercano al controlador para disminuir la longitud de los cables.

El controlador y el módulo Zigbee se colocan en la parte anterior de la mano para que no impida la realización de movimientos ni resulte pesado para la persona. Esta parte no se puede ocultar ya que debe quedar accesible para el encendido y apagado del mismo. También resulta necesario tener acceso al conector miniUSB que permite cargar el sistema. La batería se oculta en el interior del guante dentro de un elástico, por lo que no resulta molesto para el usuario.

Se ha determinado que el peso total del sistema es de aproximadamente 100 gramos, sin incluir el peso

del guante. Es posible reducir algo el peso total en función del cableado utilizado y del grosor y longitud de los sensores flexibles que se utilicen.

## IV. APLICACIÓN SOFTWARE

Para poder realizar las mediciones y almacenar los valores, se ha desarrollado una aplicación software para PC. Ésta se comunica a través del USB del PC con un módulo Zigbee configurado como coordinador. El módem Zigbee utiliza comunicación serie e incorpora un conversor USB que permite conectarlo a ordenadores modernos.

Para realizar la aplicación se ha decidido utilizar Java, ya que es un lenguaje multiplataforma y tiene las librerías necesarias para comunicarse con Zigbee y representar los datos de forma gráfica de manera fácil. En este proyecto se ha utilizado Java3D para representar una mano que realice los movimientos captados por los sensores.

Los sensores de flexibilidad se han representado en los dedos con 8 posibles posiciones, ubicando el dedo en la posición recibida del guante en cada momento. El acelerómetro se representa rotando se forma adecuada la mano atendiendo a los datos recibidos de los sensores. Como los sensores nos miden la aceleración con respecto a la gravedad de la tierra en  $g$  y no la posición de la mano, se ha realizado una transformación de los valores de aceleración en  $g$  a movimientos angulares medidos en radianes de  $[-\pi, +\pi]$ .

Para la animación con Java 3D se ha creado una clase que extiende "javax.media.j3d.Behavior" y utilizando los métodos clases "Transform3D" y "TransformGroup", se realizan las rotaciones y traslaciones necesarias para animar la mano dentro del entorno Java.

En la Fig. 3 se puede ver la aplicación desarrollada para este proyecto. En la parte central, se puede ver una mano que simula los movimientos del guante de manera fiable. En la parte inferior, se muestran los valores numéricos obtenidos de los sensores, donde X,Y,Z muestran los ángulos en radianes de la mano con respecto a cada uno de los 3 ejes principales. Mientras que D1 a D5 representa el grado de flexión de cada uno de los 5 dedos de la mano (donde 0 es sin flexión y 7 sería una flexión de  $180^\circ$ ).

## V. RESULTADOS OBTENIDOS

Este proyecto ha proporcionado unos resultados muy satisfactorios en la captación de movimientos humanos a partir de unos sensores fabricados con materiales simples, por lo que se podría ampliar a más partes del cuerpo y crear una red de sensores que capturaran de manera precisa todos los movimientos del cuerpo, utilizando tecnologías eTextiles para comunicar los dispositivos.

### A. Sensores de flexibilidad

Como se ha indicado en la Sec. III-A, los sensores contruidos presentan diferencias en la resistividad base, es decir con el sensor sin flexionar. Estas diferencias provienen de las pequeñas ondulaciones que

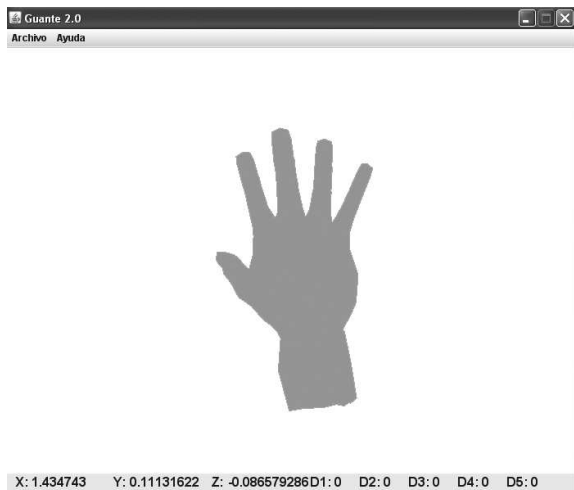


Fig. 3. Captura de pantalla de la aplicación Java

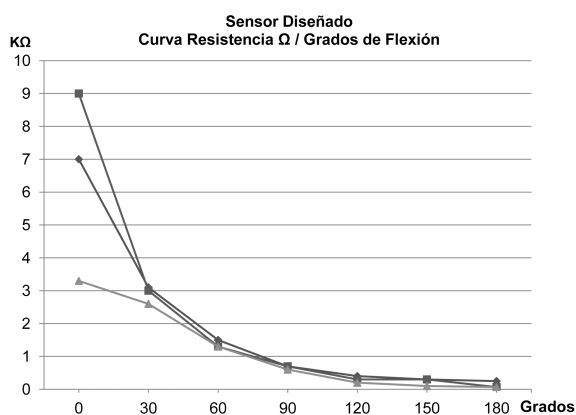


Fig. 4. Curva Resistencia - Flexión del sensor

aparecen entre las láminas de cobre en reposo (sin doblar el sensor), que pueden separar o unir ambas láminas en mayor o menor medida, dependiendo esto exclusivamente del proceso de construcción y montaje de cada uno de los sensores en particular. En cualquier caso, las pruebas realizadas para ver los valores de resistencia resultantes al flexionar los sensores muestran un comportamiento casi lineal en flexiones entre los  $30^\circ$  y los  $120^\circ$ , como se puede observar en la Fig. 4. En dicha figura se han representado tres sensores diferentes y se observa cómo todos ellos tienen un comportamiento casi idéntico en dicho rango. Hay que apreciar que, a pesar de que la construcción de estos sensores no es mediante procedimientos industriales ni automatizados, sino de manera manual uno a uno, los resultados son reproducibles en una gran parte del rango de funcionamiento de los sensores.

Se han llevado a cabo pruebas experimentales gracias a las cuales se han obtenido los valores de tensión para los distintos valores de flexión del sensor. Estas pruebas han consistido en la conexión de cada uno de los sensores construidos a un divisor de tensión y éste a un multímetro de precisión. El sensor se ha colocado sobre un transportador de ángulos completo. Se ha colocado la base del sensor sobre los  $0^\circ$  y se ha ido doblando el sensor por su parte media sosteniendo ligeramente la base del sensor (para evitar

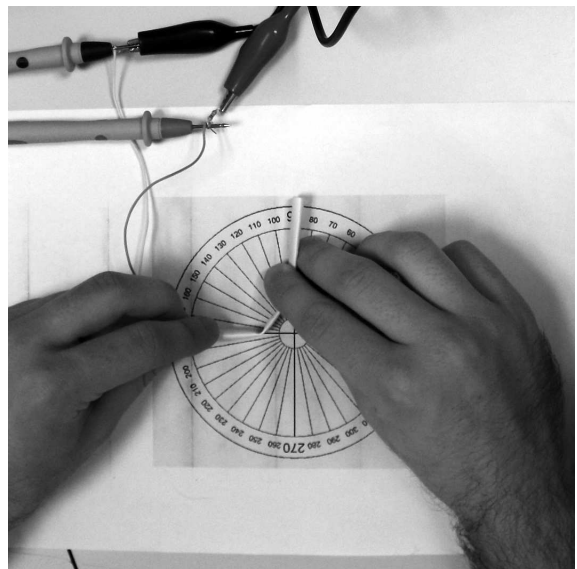


Fig. 5. Imagen de pruebas de flexión del sensor

que se moviese de la posición base de  $0^\circ$ , pero sin presionarlo, ya que podría influir en la variación de la resistividad medida). Se han medido los ángulos de flexión de  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $150^\circ$  y  $180^\circ$ . Este procedimiento se ha repetido en varias ocasiones tomando el valor medio hasta que el error entre medidas era inferior al 1%. En la Fig. 5 se muestra una imagen de dicho experimento.

Los sensores de flexibilidad estudiados en este proyecto han generado unos resultados muy satisfactorios ya que responden a la flexión realizada en los mismos variando linealmente su resistencia en un rango amplio de su funcionamiento. Este sensor puede resultar muy útil para diversas aplicaciones en robótica e industria para detectar posiciones u objetos en movimiento.

### B. Guante de datos

El guante de datos ha sufrido un proceso evolutivo de posicionamiento de los diferentes sensores y elementos hasta alcanzar una configuración ergonómica y de fácil adaptabilidad para los usuarios, según han considerado varios individuos externos a este trabajo. La posición de los sensores de flexibilidad en la parte inferior de los dedos permite aplicar mayor fuerza sobre el sensor que si éstos se encontraran en la parte superior de cada dedo. Por tanto, el usuario puede flexionarlos de manera más fácil y la respuesta es más precisa. A su vez, el acelerómetro colocado en la base de las falanges de los dedos centrales proporciona un resultado de mayor estabilidad que si se colocase en la parte inferior de la palma o en la muñeca. Por último, la colocación de la batería en la zona del muñeca o antebrazo facilita la movilidad plena de la mano, ya que oculta el elemento más pesado en una zona inmóvil en cuanto a la representación tridimensional del movimiento de la mano. En la Fig. 6 se puede ver el resultado de este estudio, un guante de captación de datos montado con los componentes descritos anteriormente.

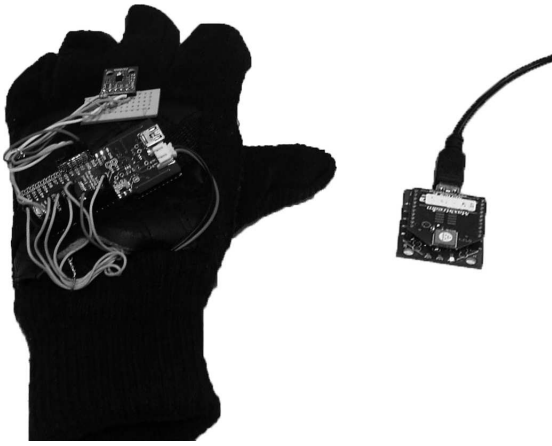


Fig. 6. Prototipo guante de datos y terminal de recepción de datos inalámbricos



Fig. 7. Resultado final del estudio, guante de datos y aplicación en funcionamiento

### C. Aplicación software de mano virtual 3D

En la Fig. 7 se muestra un usuario utilizando la aplicación, se puede ver que la mano virtual sigue los movimientos de la mano del usuario en tiempo real. Esta primera aplicación ha permitido comprobar el correcto funcionamiento del sistema, además la tasa de respuesta es muy elevada, con retardos entre movimientos reales y movimientos virtuales prácticamente inapreciables por los usuarios.

## VI. CONCLUSIONES

Como conclusión principal se ha de indicar que el proyecto ha cumplido con creces las previsiones, en cuanto a la comunicación inalámbrica planteada en el inicio. También hay que indicar se han logrado alcanzar distancias mayores entre el guante y el receptor de las esperadas sin encontrar errores en la transmisión. Por otra parte, al reducir la trama Zigbee al mínimo, se pueden enviar a mucha velocidad, por lo que es posible la actualización de los datos a mucha frecuencia. En este prototipo se envían los datos cada 40ms sin saturar el canal de transmisión.

Al transformar los valores obtenidos del acelerómetro al espacio tridimensional, se han encontrado problemas para representar los giros que se realizan en el plano definido por vector normal a la fuerza de la gravedad, ya que como no varía la fuerza de la grave-

dad en los ejes al realizar esa rotación, no es posible su detección con los sensores. Esto se podría solucionar con un compás magnético digital que proporcionara la posición absoluta con respecto al polo norte magnético. Otra opción es cambiar el acelerómetro por un sistema inercial que incluye: giróscopo, brújula magnética y acelerómetro. Este dispositivo genera valores para cada uno de los 3 ejes de los 3 dispositivos, obteniendo 9 valores que permiten una captura con mayor precisión de los movimientos de la mano, incluyendo giros horizontales que no son captados utilizando únicamente el acelerómetro.

Tras realizar el desarrollo del prototipo se descubren nuevas posibles aplicaciones como la utilización por gimnastas para captar los avances en entrenamientos y para cuantificar el proceso de rehabilitación de lesiones deportivas. Otra aplicación podría ser ayuda a la mejora de la movilidad de personas de la tercera edad, ya que podría mostrar los avances en terapias de gimnasia terapéutica de re-educación postular.

## AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido financiado parcialmente por la Universidad de Córdoba a través del Proyecto de Innovación Docente 115010/2011.

## REFERENCIAS

- [1] Juan Pablo Wach, Vision-Based Hand-Gesture Applications. *Comm. ACM* 02/2011 Vol.54(2):60-71
- [2] Jean-Paul Gourre, Explicit and implicit animation with fuzzy constraints of a versatile multi-body system for virtual hand surgery. *Comp. Anim. Virt. Worlds* 2011
- [3] Artículo de Wikipedia sobre Nintendo PowerGlove, [http://en.wikipedia.org/wiki/Nintendo\\_Power\\_Glove](http://en.wikipedia.org/wiki/Nintendo_Power_Glove)
- [4] Página web del guante captación de datos Aceleglove, <http://www.aceleglove.com>
- [5] Rebecca Bray, Sensor Workshop at ITP: Reports/Flex <http://itp.nyu.edu/physcomp/sensors/Reports.Flex>
- [6] Página web Guante Polímero Resistivo Velostat 3M, [http://www.3m.com/catalog/uk/en002/electronics\\_mfg/static\\_control\\_packaging/node\\_GS4GR0LVV3gs/root\\_K3BHN8005gv/vroot\\_5KR9K2C2KZge/bgel\\_LMDH1643JXb1/gvel\\_JQGPTT9723gl/theme\\_uk\\_staticcontrolpackaging\\_3\\_0/command\\_AbcPageHandler/output\\_html](http://www.3m.com/catalog/uk/en002/electronics_mfg/static_control_packaging/node_GS4GR0LVV3gs/root_K3BHN8005gv/vroot_5KR9K2C2KZge/bgel_LMDH1643JXb1/gvel_JQGPTT9723gl/theme_uk_staticcontrolpackaging_3_0/command_AbcPageHandler/output_html)
- [7] Datasheet Página Web de Freescale, Fabricante del Acelerómetro <http://dl.nm9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Sensors/Accelerometers/MMA8452Q.pdf>
- [8] IEEE 802.15 Working Group for WPAN <http://www.ieee802.org/15>
- [9] Patrick Kinney, ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works *Chair of IEEE 802.15.4 Task Group*
- [10] Guy, W, How ZigBee compares *Sensors (Peterborough, NH)*, ISSN: 07469462, Newnes, 2008.
- [11] Drew Gislason, ZigBee Applications *Zigbee Wireless Networking*, ISBN: 978-0-7506-8597-9, Newnes, 2008.
- [12] Datasheet Modulo Zigbee Xbee de Digi [http://www.digi.com/pdf/ds\\_xbeemultipointmodules.pdf](http://www.digi.com/pdf/ds_xbeemultipointmodules.pdf)
- [13] Accelerometer-based fall detection using optimized ZigBee data streaming, *IEEE Int. Works. Adv. Sens. Interf.* 2009, Vol. 41(11):703-710, ISSN: 0026-2692
- [14] Pagina Web Arduino FIO, <http://arduino.cc/es/Main/ArduinoBoardFio/>