

SENSor Foto-Eléctrico Aplicado al Movimiento de los Dedos de las Manos *Photo-Electric Sensor Applied to Hand Fingers Movement*

Jaime Leybón Ibarra¹, María del Rocío Ramírez Barba², Verónica Taboada Picazo³.

Instituto Nacional de Rehabilitación, División de Investigación Básica y Aplicada, Departamento de Neurometría
Calz. México-Xochimilco #289, Col. Arenal de Guadalupe, Del. Tlalpan, C. P. 14389, México D.F.
jaleybon@hotmail.com¹, rociogramirez@hotmail.com², vtpicazo@yahoo.com.mx³

Artículo recibido en Mayo 16, 2005; aceptado en Agosto 25, 2006

Resumen

Se presenta el desarrollo y aplicación de un guante instrumentado con dispositivos foto-eléctricos para diferenciar cuatro posiciones durante el movimiento flexor de los dedos de las manos, distinguiendo los queiremas que un signante realiza al comunicarse por medio de la lengua de señas mexicana (LSM).

Palabras Claves. Guante instrumentado, dispositivos foto-eléctricos, queiremas, lengua de señas mexicana.

Abstract

It is presented the development and application of an instrumented glove with photo-electric devices to detect four finger positions during a flexion movement to differentiate the deaf person hand positions (queiremas) that uses the mexican sign language (MSL) to communicate.

Keywords: Instrumented glove, photoelectric device, queiremas (hand shape), Mexican sign language.

1 Introducción

De acuerdo con la consulta hecha al sitio WEB del INEGI en junio del 2006 (www.inegi.gob.mx), aparecen publicados los resultados del XII Censo general de población y vivienda del año 2000, en los cuales se incluye la estadística del total de la población mexicana con discapacidades (1.84%), dentro de las que se contempla la auditiva con 0.29% de la población; es decir, 281,793 personas con sordera, de los que 155,814 son varones y 125,979 son mujeres (figura 1).

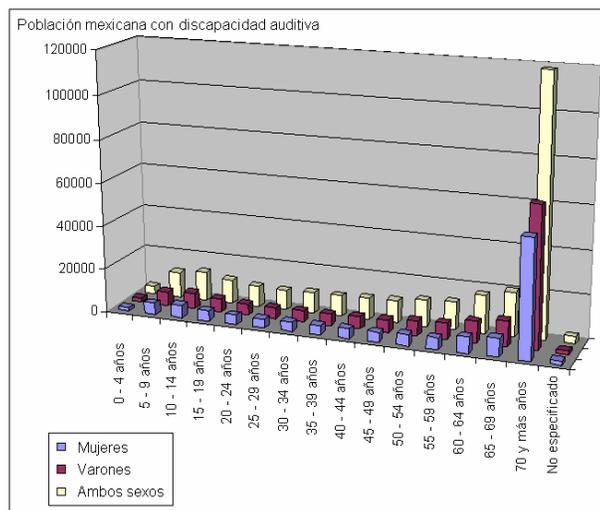


Fig. 1. Comparación de discapacitados auditivos de acuerdo a resultados del INEGI.

La persona con discapacidad auditiva, ha descubierto y desarrollado otras formas de expresión del lenguaje en su vida cotidiana, como lo es el caso particular del lenguaje de señas propio para cada nación. “Lenguaje” es un concepto más amplio que la palabra hablada; abarca distintos canales para comunicarnos (los sentidos, el cuerpo, los gestos, el movimiento, la mirada, las expresiones artísticas, la escritura, las señales, los signos, etc.). La persona oyente, reduce estas otras posibilidades de lenguaje y no utiliza en todo su potencial estos canales, a excepción de ambientes particulares como en el deporte, uso militar, navegación, etc.

Las lenguas de signos son lenguas naturales que tienen gramáticas independientes de las lenguas orales. Esto ha sido demostrado por numerosos investigadores como Stokoe (1960), ya que se desarrollan de manera innata en el tiempo en una comunidad de usuarios (México). Se adquiere siguiendo los procesos normales de adquisición cuando los niños han sido naturalmente expuestos a la lengua, tienen una organización gramatical que sigue los principios de otras lenguas humanas, pero que sin embargo, presenta patrones de organización únicos para cada lengua de signos (Pietrosemoli Lourdes, 1989). “La lengua de signos es una lengua visual, gestual basada en el movimiento de las manos, los ojos, la boca, la cara y el cuerpo. El lenguaje de signos es una respuesta creativa de los sordos ante la experiencia de una **sordera profunda (hipoacusia profunda)**, es independiente de cualquier lenguaje oral (lengua hispana). Brinda a las personas sordas la oportunidad de expresarse o comunicarse, desarrollando totalmente su potencial en una forma en que el lenguaje oral no se lo permite” (Federación Mundial de Sordos, 1993).

La Federación Mundial de Sordos en el apartado 2 del artículo 2 de sus estatutos menciona que el término “sordo” se refiere a cualquier persona con pérdida auditiva, especialmente a quienes utilizan la lengua de signos como primera lengua (González y Labra, 2006).

En los países subdesarrollados es mínimo el porcentaje de la población que conoce o practica una lengua de señas, y particularmente en México, el interés que esto ha despertado por defender los derechos de los sordos ante una sociedad normoyente (sentido auditivo sano) permanece plasmado desde noviembre del 2001 al presentarse ante el Pleno de la República una iniciativa de la Ley Federal de la Cultura del Sordo, publicada en la Gaceta Parlamentaria y cuya aprobación en las Cámaras de Diputados y Senadores con la respectiva publicación en el Diario Oficial de la Federación permanecen pendientes. En la sinopsis de esta iniciativa, se expresa que el elemento principal de comunicación para un sordo y para defender sus derechos culturales y lingüísticos es el uso de la LSM, por tal motivo, se consideró necesario plantear el desarrollo de la primera etapa (que convierta en señales eléctricas la signación de queiremas) de un instrumento que funja como traductor de las señas por las que se comunica un sordo respetando los parámetros formativos quinésicos de la LSM (Rodríguez, 1992):

Queirema. Forma o configuración de la mano.

Toponema. Lugar de articulación o espacio donde se articula el signo.

Kinema. Movimiento de la mano.

Kineprosema. Dirección del movimiento de la mano.

Queirotropema. Orientación de la mano.

Prosoponema. Expresión de la cara. Esta tiene una función distintiva y comunicativa gramatical.

Los primeros guantes electrónicos se crearon con la intención de reducir las limitantes que los elementos periféricos de las computadoras imponían en el uso de las manos; y la comercialización del VPL DataGlove y del Mattel Power Glove marcaron la pauta para la investigación y desarrollo de proyectos usando guantes electrónicos como interfaces para uso de la computadora o como dispositivos controlados por la computadora; sin embargo, el desarrollo de esta tecnología permitió darles aplicación en lenguaje de señas aunque sus principales usos se dirigen a la telemanipulación, realidad virtual, medicina, visualización científica, titiriteros, música y videojuegos (Sturman and Zeltzer, 1994; Dipietro, Sabatini, Dario, 2003):

Los primeros desarrollos buscaban determinar la orientación de la mano y movimiento al apuntar hacia objetos desplegados sobre una pared (lo que vendría siendo “Toponemas, kinema, kineprosema y queirotropema” en la LSM). Esto se hacía con el video de múltiples cámaras y el análisis de siluetas (Myron Krueger) o marcadores reflejantes de luz infrarroja (Selspot, Op-Eye, Optotrak, Elite y Vicon), dando problemas en la velocidad, nitidez y la obstrucción entre los mismos dedos en ciertos ángulos. Otra técnica inicial de registro de movimientos de la mano empleaban elementos magnéticos muy precisos (Polhemus y Ascensión Technologies) pero sensibles a objetos metálicos cercanos que

provocaban distorsión del campo y generaban errores. Los guantes que manejaban sonido de alta frecuencia en triangulación (Logitech y Mattel Power Glove) también eran muy precisos, pero deficientes ante rebotes acústicos por las paredes y objetos cercanos. DeFanti y Sandin (1977) diseñaron el primer guante ligero y barato, basados en la idea de Rich Sayre, el cual usaba tubos flexibles (no fibra óptica) con una fuente de luz en un extremo y una fotocelda en el otro, lo que generó un método efectivo de control multidimensional. En 1983 Gary Grimes de Bell Telephone Laboratories desarrollo el primer guante para manejar lenguaje de señas con sensores de tacto (figura 2a), pliegue e inercia colocados para reconocer el alfabeto signado usando solo una mano por los sordos en Estados Unidos Americanos (reconocía 80 combinaciones para imprimir 96 caracteres ASCII y nunca se comercializó). En 1985 fue retomado por J. A. Hall (MIT Media Lab) para deletrear con los dedos. En 1987, Thomas Zimmerman y colaboradores desarrollaron el DataGlove (figura 2b) con sensores de fibra óptica en 10 articulaciones de los dedos y seis grados de libertad de la posición de la mano y orientación (elementos magnéticos); necesitaba una calibración para cada usuario y algunos modelos incluían sensores para movimientos de abducción; no es muy preciso en manipulación fina o reconocimiento de señas. Sydney Fels lo aplicó en 1990 con un sintetizador de voz para interpretar movimiento de las manos, reconociendo 66 posiciones de los dedos y 6 movimientos de las manos para dar una combinación de 203 palabras en un lenguaje propio. Takahashi y Kishino de ART Research Labs en Japón utilizaron en 1991 éste diseño y pudieron diferenciar 30 de sus 46 signos “kana”. El guante Dexterous HandMaster es el más completo para movimientos de flexión de los dedos pero es voluminoso (figura 2c), inicialmente fue diseñado para controlar la mano robot UTA/MIT y ha resultado ser una herramienta útil en análisis clínico. Utiliza sensores de efecto Hall para medir con exactitud la flexión de las tres articulaciones de los dedos, la abducción y el movimiento complejo del pulgar. No registra la orientación de la mano, pero se puede complementar con un sistema de registro tridimensional. El CyberGlove (figura 2d) fue desarrollado por James Kramer (1989) para traducir el lenguaje de señas americano al idioma inglés utilizando galgas extensiométricas; es muy estable y ofrece buena resolución, pudiendo controlar por software el rango de conversión analógico/digital. En el 2001, Patterson presenta su guante traductor de la lengua de señas americana (LSA) usando 10 sensores resistivos flexibles (figura 2e). En el 2002, Hernández, Kyriakopoulos y Lindeman presentan la aplicación del AcceleGlove (desarrollado en el 2000) como una interfase para escribir en un teclado virtual mediante el reconocimiento de 26 señas de LSA; utiliza 6 acelerómetros de doble eje, uno en cada dedo y sobre la parte posterior de la palma de la mano, midiendo la posición angular absoluta (figura 2f).

2 Metodología

Teniendo en cuenta la biomecánica de la mano y la capacidad de contar con una amplia configuración por el movimiento de los dedos al comunicarse con la LSM (queirema), se desarrolló un dispositivo foto-eléctrico cuyo principio de funcionamiento se asemeja al de la fibra óptica (Alonso y Finn, 1998), y se basa en la percepción de un haz de luz emitido por una fuente luminosa constante. Esta idea de utilizar luz como el elemento que contiene información y que se transporta en un medio (aire), surge de las experiencias que tienen algunos investigadores en el tema de sensores de posición, como lo son Morey, Meltz y Glenn (1989) y Weiss (2005) y de los primeros guantes instrumentados (DeFanti y Sandin, 1977). Esta luz se transmite dentro de un volumen de superficie cilíndrico elástico cerrado que responderá a los movimientos de flexión de los dedos; por lo que las variaciones en longitud, diámetro y posición del transmisor/receptor modularán la intensidad de la luz percibida en el elemento receptor (Chow, Wong y Tsang, 2004).

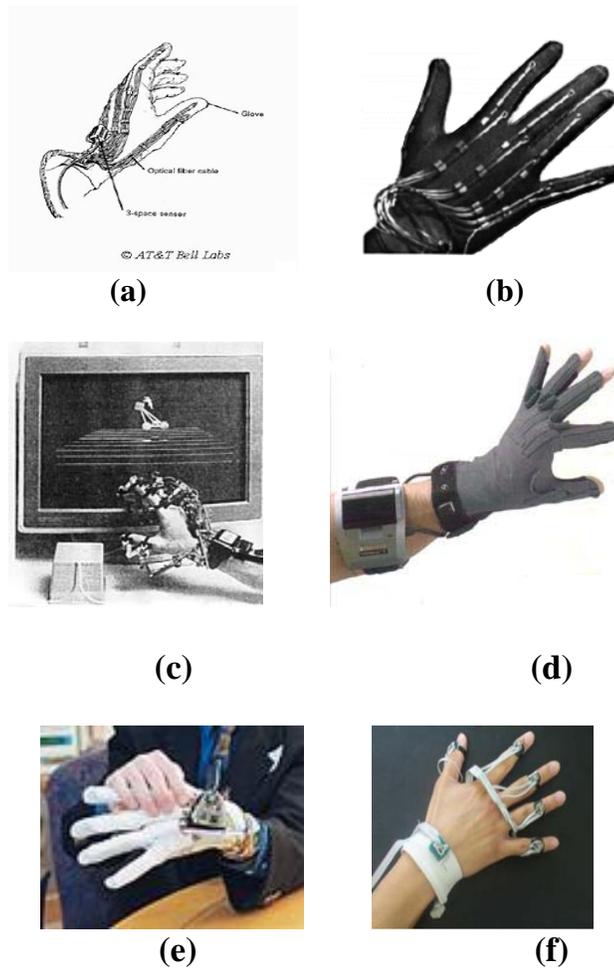


Fig. 2. (a) Desarrollo de Grimes, (b) DataGlove, (c) Dexterous HandMAster, (d) Cyberglove, (e), Desarrollo de Patterson, (f) AcceleGlove.

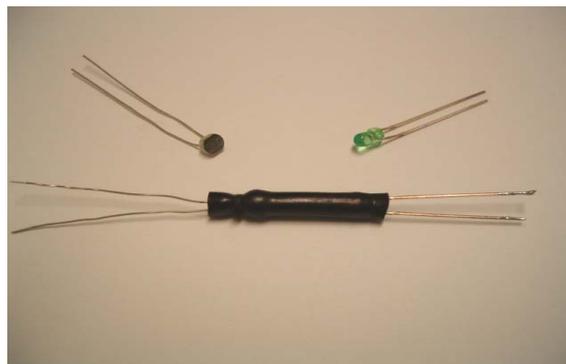


Fig. 3. Dispositivo fotoeléctrico elástico.

Las paredes del ducto elástico, recubierto exteriormente por pintura negra, restringen el ángulo de radiación del emisor de luz y evitan la fuga de luz hacia el medio externo, así como del medio hacia el dispositivo. También permiten que el haz se concentre en dirección lineal al receptor. Los elementos utilizados en el arreglo del dispositivo son una fotorresistencia 9P5-A de 10 MΩ y un diodo emisor de luz verde (E3/VER-C de 3mm) de 520 nm (figura 3). Se optó por esta longitud de onda por estar en el rango de respuesta de la fotorresistencia.

La siguiente tabla muestra una comparación del nivel de resistencia eléctrica presente en la fotorresistencia ante la percepción de luz de diferente longitud de onda dentro del ducto elástico:

Tabla 1

Longitud de onda del LED	Fotorresistencia
0 nm	500 kΩ
rojo (700 nm)	15 kΩ
amarillo (587 nm)	4 kΩ
verde (520 nm)	3 kΩ

Tabla 1. Respuesta de la fotorresistencia ante diferentes longitudes de onda de diodos emisores de luz a 1.5 cm de distancia y cubiertos por el ducto elástico.

En la LSM existen 45 queiremas de la mano base incluyendo la representación manual del alfabeto mexicano (dactilología, figura 4), algunos ideogramas (representación de una idea o palabra) y algunos números (Rodríguez, 1992; Faurot et al, 2000; Fleischmann, 2000).

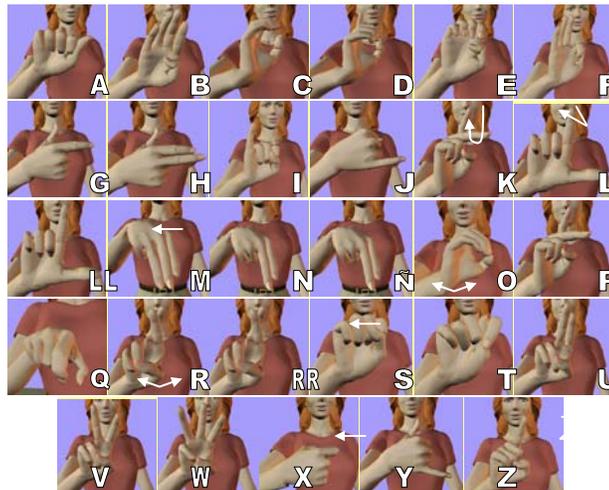


Fig 4. Dactilología de la LSM.

Se ha tomado la dactilología para valorar el dispositivo por es suficiente para determinar que en el rango de movimiento de la flexión se reconocen únicamente tres posiciones principales más la extensión (figura 5):

- Posición lineal del dedo, en donde las falanges involucradas en una articulación no presentan ángulo de desviación entre sí.
- Posición de primera semi-flexión del dedo.
- Posición de segunda semi-flexión del dedo.

- Posición de flexión total, en donde las falanges alcanzan su máximo grado de giro permitido por la articulación que las une (90°).

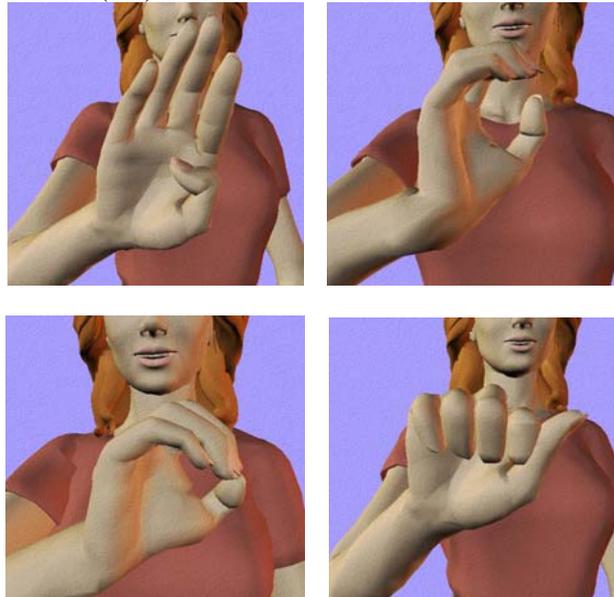


Fig. 5. Posiciones de interés en la flexión de los dedos de la mano en dactilología.

En la articulación, al efectuar un movimiento de flexión, se presenta una elongación de la piel (Hun J, Miyata N, Kouchi M, Mochimaru M and Lee K. 2005) que es notoria si se consideran dos marcas de referencia, tal como se muestra en la figura 6.

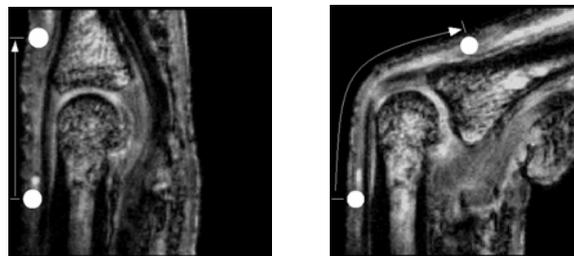


Fig. 6. Biomecánica de la flexión de los dedos.

Este movimiento que implica un cambio en la dirección del haz de luz recibido y el aumento en la distancia que el haz recorre, obligan al dispositivo a aumentar el 46.6 % de su longitud en reposo, considerando que para cumplir con su función, la distancia entre el transmisor y receptor de luz es de 1 cm, o de 1.5 cm dependiendo del dedo al que se refiera. Cada extremo del dispositivo está adherido a una superficie rígida independiente, mismas que se separan en el punto medio de la articulación con el propósito de evitar que el estiramiento del ducto elástico modifique la posición del dispositivo transmisor y receptor; además de facilitar el bloqueo absoluto del haz de luz al efectuar una flexión total (figura 7).

Los dispositivos han sido colocados sobre un guante a la altura de las articulaciones de los dedos, siendo necesario un escalón que corrija la diferencia de nivel entre las falanges por la anatomía de la mano (figura 8).

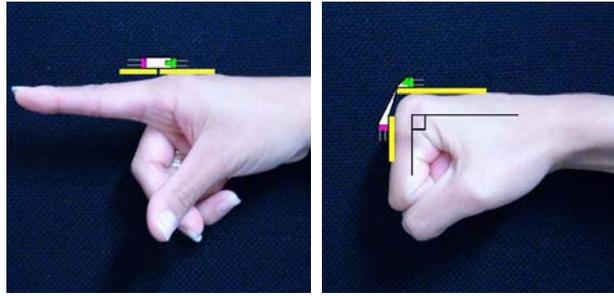


Fig. 7. Colocación del dispositivo sobre la articulación.

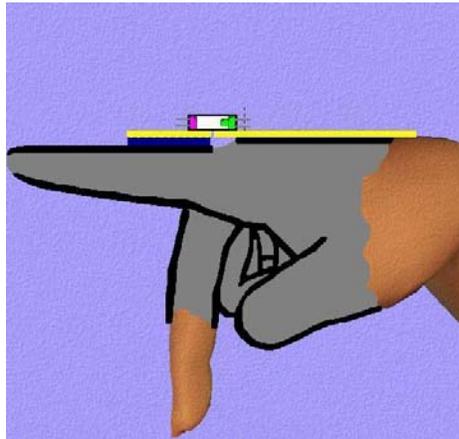


Fig. 8. Corrección anatómica del dispositivo sobre un guante.

El guante está hecho de tela de lycra, y en su mayor parte está recubierto por vinil que es un material no elástico y permite fijar los dispositivos. La lycra está expuesta en los costados de los dedos y en la parte dorsal de la falange proximal. En ésta área se adhiere el escalón que corrige la linealidad del dispositivo y que también permite fijar el extremo de dos dispositivos. El dispositivo montado en el guante, presenta los siguientes niveles de resistencia de acuerdo al grado de flexión del dedo:

Tabla 2 Respuesta del dispositivo ante el movimiento de flexión de los dedos.

Flexión	Fotorresistencia
0°	3 kΩ
30°	40 kΩ
55°	60 KΩ
90°	500 kΩ

La señal que entrega cada dispositivo es dirigida a tres circuitos comparadores (figura 9) de nivel de voltaje que se ajustan al punto del pliegue correspondiente a 30°, 55° y 90° en el que la señal de cada dedo debe ser reconocida como un movimiento significativo; es decir, los circuitos permitirán reconocer cuatro niveles de voltaje: extensión, 2 semi-flexiones y flexión total.

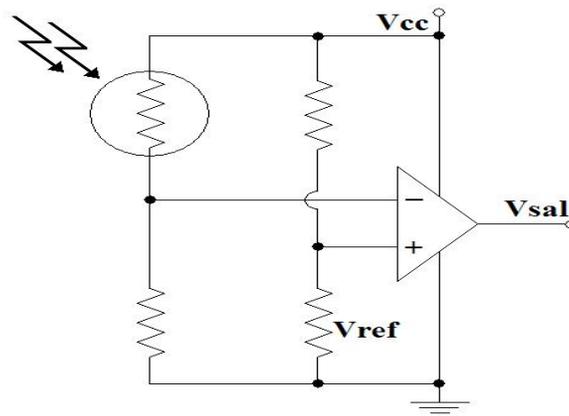


Fig. 9. Circuito comparador de voltaje.

3 Resultados

Tomando como modelo las dimensiones de la mano de un adulto talla 10, la distancia entre el dispositivo transmisor de luz y el receptor se propone de 1 cm para su ubicación en el dedo meñique; y de 1.5 cm para los demás dedos incluyendo el pulgar. Para cada dedo, se utilizan dos dispositivos, colocándose sobre las articulaciones interfalángica medial (IFM) y metacarpofalángica (MCF) de la superficie dorsal (figura 10).

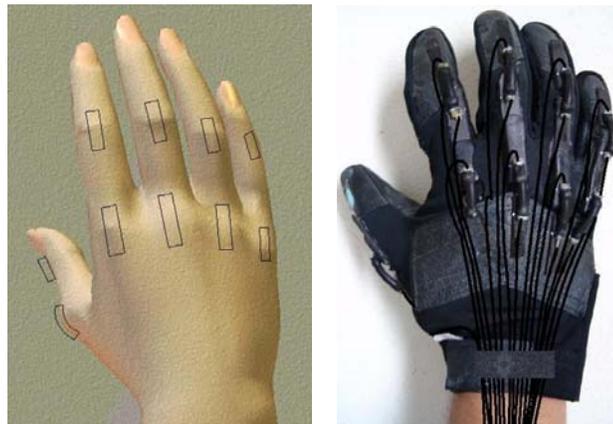


Fig. 10. Ubicación de dispositivos sobre las articulaciones de la mano y montados en el guante.

Utilizando un juego de pesas calibradas en gramos, se obtuvo la siguiente tabla que muestra la cantidad de fuerza necesaria para aumentar en un 46.6 % (2.2 cm) el tamaño longitudinal del dispositivo:

Tabla 3 Elongación del dispositivo con respecto a la fuerza aplicada.

Longitud (cm)	Peso (g)
1.5	0 – 20
1.6	50
1.7	100

2.2 200

Habiendo manejado un LED con $\lambda = 520$ nm, se presentó un incremento de $3\text{ k}\Omega$ en el rango de variación de la fotorresistencia por concentrar la luz en la guía de onda elástica:

Tabla 4 Aprovechamiento de energía luminosa en el dispositivo.

Fotorresistencia (Ω)	Condición
$3\text{ k}\Omega$	Con guía elástica
$6\text{ k}\Omega$	Sin guía elástica

Los circuitos comparadores entregan un nivel de voltaje TTL, pudiendo manejar tres comparadores para cada dispositivo siguiendo la siguiente codificación lógica:

Tabla 5 Respuesta lógica por dispositivo.

Cto. 1	Cto. 2	Cto. 3	Salida
0	0	0	Reposo
1	0	0	Flexión intermedia 1
1	1	0	Flexión intermedia 2
1	1	1	Flexión máxima

La representación dactilológica con el instrumento, se pudo realizar teniendo en cuenta la tabla anterior sólo para el sensor colocado sobre la articulación MCF del dedo índice; y basta con el circuito 1 y 2 para el resto de los sensores. La combinación de dos dispositivos en cada dedo permite reconocer seis posiciones útiles de movimiento, por lo que cada dedo tendrá 4 salidas de señal más 5 del dedo índice, y de los cinco dedos se tendrán 21 salidas; es decir, 21 bits.

En la dactilología se presenta la forma de signar letras que presentan una variación mínima en la posición de los dedos, pudiendo citar como ejemplo las letras "a-s-t" y "x-q" (figura 11). El arreglo de dispositivos ha diferenciado aquellas señas que no involucran un kinema, un kineprosema, un queirotopema o un movimiento de aducción/abducción de los dedos (tabla 6).

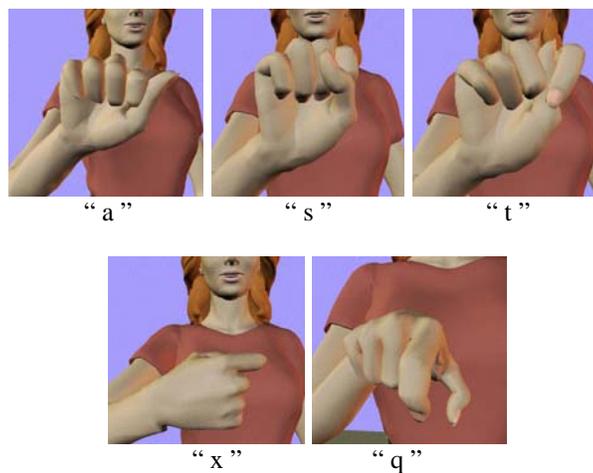


Fig. 11. Comparación de queiremas semejantes.

Tabla 6 Dactilología usando el guante instrumentado.

SEÑA	PULGAR		INDICE		MEDIO		ANULAR		MEÑIQUE											
	MCF	IFM	MCF	IFM	MCF	IFM	MCF	IFM	MCF	IFM										
A	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
B	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	
D	0	0	1	X	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	
E	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	
F	1	0	0	0	1	0	0	1	1	X	0	0	0	X	0	0	0	X	0	
G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	
I	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
J	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	
K	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	
L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
LL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
M	1	1	1	X	1	1	1	X	0	1	1	X	0	1	1	X	0	1	1	
N	1	1	1	X	1	1	1	X	0	1	1	X	0	1	0	1	1	0	1	
N̄	1	1	1	X	1	1	1	X	0	1	1	X	0	1	0	1	1	0	1	
O	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	
P	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	
Q	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
R	1	1	X	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	
RR	1	1	X	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	
S	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
T	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
U	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	
V	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	
W	1	1	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
X	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
Y	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
Z	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

De la tabla anterior se aprecia que el siguiente grupo de letras no puede distinguirse entre sí: G-L-LL, N-N̄, U-V, K-P, R-RR.

4 Discusión

Los dispositivos desarrollados solo pueden detectar el pliegue de los dedos, pero no su movimiento de aducción/abducción (figura 12); por lo que se hará necesario incluir otro tipo de dispositivos que permitan completar esta característica de los movimientos. Por el momento, se puede desarrollar la siguiente etapa que permitirá utilizar este juego de señales eléctricas en combinación con nuevos dispositivos que permitan diferenciar los toponemas, kinemas y queirotopemas.

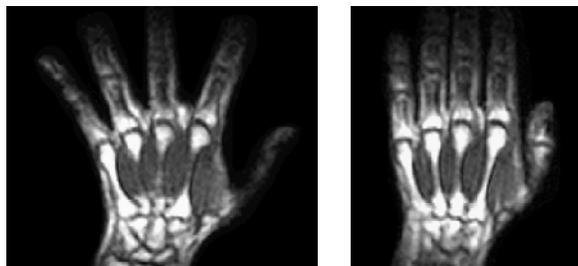


Fig. 12. Movimiento de aducción/abducción que diferencia la forma de signar las letras “U - V”.

5 Conclusión

De los sensores que en la actualidad se aplican en la instrumentación de guantes aplicados a la interpretación de lenguaje de señas, se está contribuyendo con una variante del desarrollo de Sayre, lo cual ha resultado ser económico y funcional; sin embargo, algunas limitantes considerando el uso de kinemas, kineprosemas y queirotopemas no desalientan el resultado, ya que pueden complementarse con la consecución del trabajo además de tener en cuenta el significado en el contexto de la oración que se forma basándose en ellos, lo cual deberá ser manejado por un programa discriminatorio.

Referencias

1. **Alonso M., Finn E.** Física Vol. I, Campos y ondas. Ed. Addison Wesley Longman de Mexico S.A. de C.V. 1998.
2. **Chow C.W., Wong C.S., Tsang H.K.** "All-optical modulation format conversion and multicasting using injection-locked laser diodes". *Journal of Lightwave Technology*, 2386- 2392. Vol. 22-11. issn: 0733-8724. Nov. 2004.
3. **DeFanti T, Sandin D.** Final report to the National Endowment of the arts. US NEA R60-34-163. University of Illinois at Chicago Circle. 1977.
4. **Dipietro L, Sabatini A, Dario P.** "Evaluation o fan instrumented glove for hand movement acquisition". *Journal of Rehabilitation Research and Development*. Vol. 40, No. 2, March/April, pp. 179-190. 2003.
5. **Faurot, Karla, Dianne Dellinger, Andy Eatough, and Steve Parkhurst.** The identity of Mexican sign as a language = Lenguaje de signos mexicano: la identidad como lenguaje del sistema de signos mexicano. Instituto lingüístico de verano en México. 2000. <http://www.sil.org/mexico>
6. **Fels S.** Building adaptive interfaces with neural networks: The glove-talk pilot study. Tech. Report No. CRG-TR-90-1 Dept. of Computer Science. University of Toronto. Canada. Feb 1990.
7. **Fleischmann M.** Aprendizaje de español signado de México. Décimo primera edición, Julio 2000.
8. **Grimes G.** Digital data entry glove interface device. Bell Telephone Laboratories. Murray Hill, N. J. US. Patent 4,414,537, Nov. 8, 1983.
9. **Hall J.** The human interface in three dimensional computer art space. MSVS Thesis. Media Lab Massachussets Institute of Technology. Cambridge Mass. Oct. 1985.
10. **Hernández J, Kyriakopoulos N, Lindeman R.** The AcceleGlove: A whole-hand input device for virtual reality, (Technical sketch). Conference Abstracts and Applications, ACM SIGGRAPH 2002. p. 259.
11. **Hun J, Miyata N, Kouchi M, Mochimaru M and Lee K.** Analysis of skin movement with respect to flexional bone motion using MR images of a hand. *Journal of Biomechanics*. Accepted 3 feb 2005. doi:10.1016/j.jbiomech.2005.02.001.
12. **Kramer J, Leifer L.** The talking glove: an expressive and receptive "verbal" communication aid for the deaf, deaf-blind and non-vocal. Tech. report. Stanford University. Dept. of Electrical Engineering. Stanford, Calif. 1989.
13. **Morey W, Meltz G, and Glenn W.** Fiber-optic bragg grating sensors, *Proc SPIE*, 1169:98-107. 1989.
14. **Patterson R.** Sign language translator. Intel International Science and Engineering Fair. 2001.
15. www.nidcd.nih.gov/news/releases/02/3_19_02.htm.
16. **González R., Labra J.** Aplicación del estándar SVG para la representación de la lengua de signos a través de la signoescritura en entornos WEB. Tesis de Doctorado en Ingeniería Informática. Universidad Pontificia de Salamanca. 2006.
17. **Rodríguez M.** Lenguaje de signos. Edit. Gráficas L'Alzina-Barcelona. Confederación Nacional de Sordos de España. Pp. 172-200. 1992.
18. **Sturman D, Zeltzer D.** "A survey of glove-based input. *Computer Graphics & Applications*", *IEEE*. V14#1, pp. 30-39, January 1994.
19. **Takahashi T, Kishino F.** "Hand gesture coding based on experiments using a hand gesture interface device". *Sigchi Bulletin*. Vol. 23, No. 2, April 1999. pp. 67-74.
20. **Weiss J.** A fluorescent long-line fiber-optic position sensor. Sandia National Laboratories. Sensor Technology and Design, March 2005.

21. **Zimmerman T, et al.** A hand gesture interface device. Proc. Human Factors in Computing Systems and Graphics Interface. ACM Press, New York, 1987.
22. **Federacion Mundial de Sordos**, WFD 1993.
23. **www.inegi.gob.mx**. Población total por municipio, sexo y grupos quinquenales de edad, y su distribución según condición y tipo de discapacidad. XII Censo general de población y vivienda, 2000.



Jaime Leybón Ibarra. Egresado de la ESIME-UPC del IPN como Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica, con especialidad en Electrónica Digital (1993). Maestría (1996) y Doctorado (2002) en el Cinvestav – IPN de la Sección de Bioelectrónica. Investigadora “A” de la SSA (2004). Candidato al SNI (2005-2007). Su interés en investigación es la electroestimulación y desarrollo de instrumentación aplicadas a la comunicación humana.



María del Rocío E. Ramírez Barba. Licenciada en terapia de comunicación humana (1992) con diplomado en problemas actuales de aprendizaje (1996), InCH. Pasante de maestría de lingüística formal (2002), UAM-I. Investigadora “A” de la SSA (2004). Docente del diplomado en audición y lenguaje del INCH (2005). Actualmente ofrece terapia de estimulación del lenguaje en niños sordos profundos desde 1992 y enseña Lengua de Señas Mexicana desde 1995.



Verónica Taboada Picazo. Licenciada en Terapia de Comunicación Humana, egresada del Instituto Nacional de la Comunicación Humana (INCH). Posgrado en Rehabilitación de Afasias por el Ministerio de Salud Pública de la Habana, Cuba. Diplomado en Neuropsicología en el INCH. Estudiante de la Maestría en Special Education en la Universidad de las Américas. Actualmente se desempeña en el INR en el área de Investigación Básica con el tema: Desnutrición, aprendizaje y llanto en niños hipoacúsicos y normoyentes.