

## Metodología para el registro de los movimientos oculares y de la cabeza con propósitos de diagnóstico del sistema vestibular.

G. Palomino-Roldán<sup>1</sup>, E. Suaste-Gómez<sup>1</sup>, A. Castañeda-Galván<sup>2</sup>

<sup>1</sup>IE-Bioelectrónica, CINVESTAV, Ciudad de México, México

<sup>2</sup>UPIITA, IPN, Ciudad de México, México

**Resumen**— Se desarrolló un equipo que permitiera registrar los movimientos oculares y de la cabeza con propósitos de diagnóstico del sistema vestibular. Se utilizó una cámara de video para la detección de los movimientos oculares y posteriormente se realizó procesamiento de imágenes. Para la detección de los movimientos de la cabeza se empleó un sensor (acelerómetro de 3 ejes) sujeto a un casco. Las pruebas se realizaron en una base móvil en la cual se colocó un segundo sensor (acelerómetro de 3 ejes) con el fin de realizar las pruebas mientras el sujeto se encontraba en movimiento. Los resultados muestran que es posible detectar los movimientos oculares y de la cabeza sin restricción en el desplazamiento del cuerpo, lo cual es de gran utilidad para la detección de problemas asociados a la pérdida de equilibrio, especialmente bajo ciertas circunstancias, por ejemplo, cuando no existe punto de referencia.

**Palabras clave**—Acelerómetro, movimientos de la cabeza, movimientos oculares, reflejo vestibulo-ocular, sistema vestibular.

### I. INTRODUCCIÓN

Tres son los sistemas que nos permiten orientarnos en el espacio: el órgano de la visión, el aparato vestibular del oído interno y el sistema propioceptivo [1].

El ojo es un mecanismo de orientación altamente confiable cuando cuenta con los puntos de referencia apropiados. Sin embargo, bajo ciertas condiciones, por ejemplo para un piloto en vuelo, se puede llegar a dificultar la interpretación de las señales visuales. Por otro lado, los canales semicirculares del sistema vestibular no son responsables de mantener el equilibrio, sin embargo, pueden detectar los movimientos de la cabeza. Se puede detectar la rotación en los tres planos debido a que cada uno de los tres canales semicirculares está orientado en diferentes planos. Las sensaciones de movimiento relativo y de posición relativa provienen de los receptores que se encuentran en la piel, las articulaciones y los músculos. Los otolitos suministran información sobre la posición [1, 2].

La desorientación en vuelo se considera como una patología de importancia en la medicina aeronáutica que tiene su base en mecanismos fisiológicos. Una manera común de inducir respuestas vestibulares es por medio de movimientos naturales de la cabeza y el reflejo vestibulo-ocular (VOR). Para el estudio del reflejo vestibulo-ocular se suelen analizar parámetros como la velocidad de los movimientos oculares los cuales están coordinados con los movimientos de la cabeza, cuando se fija la atención en un objeto y la cabeza se mueve en dirección vertical,

horizontal, longitudinal, lateral o angular, se presenta un movimiento de compensación el cual rota los ojos en la dirección opuesta a la cabeza y con la misma magnitud, permitiendo que los ojos permanezcan fijos en un objeto que merece atención, a pesar de los movimientos rápidos de la cabeza y cuerpo [3, 4, 5]. Los movimientos de los ojos pueden ser influenciados por estimulación del sistema vestibular, pero también por entradas visuales y señales propioceptivas del cuello. Los núcleos vestibulares se hallan unidos directamente a los núcleos del tallo encefálico que interpreta las señales como movimiento [6, 7].

Para detectar los movimientos oculares comúnmente se hace uso de video-oculografía la cual es una técnica no invasiva que consiste en procesamiento de imágenes [8, 9]. El estudio de los movimientos de la cabeza es de vital importancia cuando se habla de la relación existente entre estos y el reflejo vestibulo-ocular, o entre la relación entre cabeza – cuello.

De lo anterior surge el interés de estudiar los movimientos oculares, de la cabeza, su relación con el sistema vestibular para asociarlos a la detección de problemas como la desorientación en el espacio, movimientos involuntarios, postura, marcha y pérdida de equilibrio.

### II. METODOLOGÍA

1) *Posicionamiento de los sensores*: Para la detección de los movimientos de la cabeza se fijó un acelerómetro en un casco sobre la cabeza del sujeto, frente al sujeto se colocó una cámara de video (a 28.5 cm aproximadamente) que grabó los movimientos oculares. La cámara de video se montó sobre una base móvil en la cual se fijó un segundo acelerómetro. A una distancia aproximada de 1.50 m se colocó una pantalla en la cual se proyectaban patrones que el sujeto debía de seguir mientras se realizaba la prueba. La Fig. 1 muestra el montaje final para la realización de las pruebas.

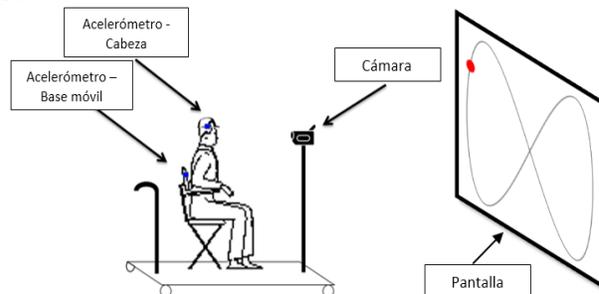


Fig. 1. Montaje final para la realización de las pruebas.

2) *Adquisición de datos y procesamiento*: El procesamiento de las imágenes se realizó a través de una interfaz en LabVIEW, la cual permite enfocarse en el ojo del sujeto. Para la adquisición de los datos de ambos acelerómetros se utilizó el Arduino Uno como DAQ a través de una interfaz gráfica en LabVIEW, el procesamiento de los datos se llevó a cabo en Matlab para obtener el ángulo de desplazamiento de la cabeza así como las velocidades. La Fig. 2 muestra de manera gráfica la adquisición y procesamiento de datos.

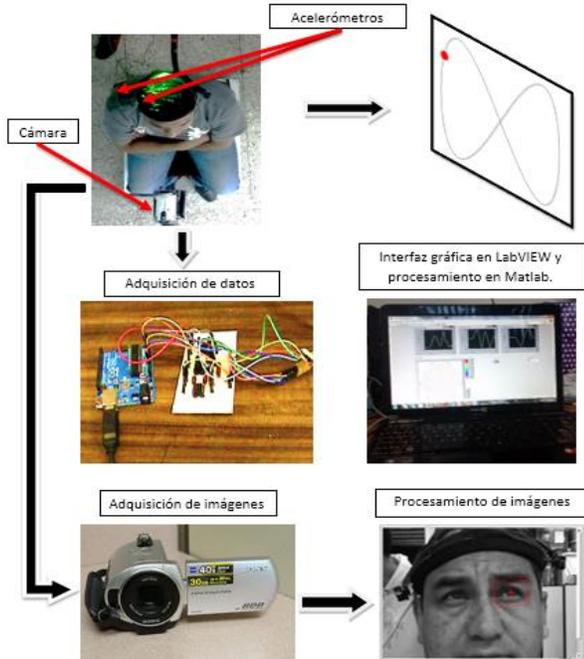


Fig. 2. Adquisición y procesamiento de datos.

3) *Pruebas*: Las pruebas se realizaron con el sujeto sentado en la base móvil. Estas consistían en seguir un punto rojo que era proyectado en la pantalla el cual describía una figura conocida, mientras que la base móvil era sometida a movimientos cuasiperiódicos. La Fig. 3 muestra uno de los patrones que fueron proyectados durante las pruebas.

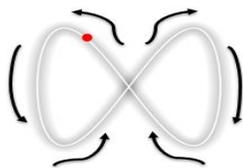


Fig. 3. Patrón proyectado durante las pruebas.

### III. RESULTADOS

#### A. Movimientos oculares

Para verificar que el seguimiento de los movimientos oculares fuera el correcto, se obtuvieron las trayectorias de los dos ojos de un sujeto sano, las cuales deberían exhibir movimientos similares. La Fig. 4 presenta la posición de los movimientos verticales y horizontales en ambos ojos.

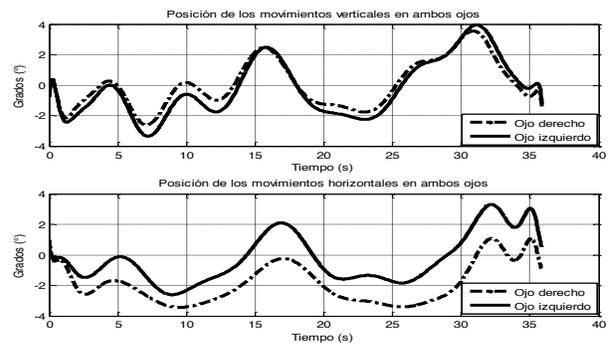


Fig. 4. Posición vertical (arriba) y horizontal (abajo) de los movimientos en ambos ojos.

#### B. Movimientos de la cabeza

Para verificar que el seguimiento de la posición de los movimientos de la cabeza fuera el correcto, se realizó una prueba con el sujeto sentado en la base móvil sin desplazarla, se proyectó el patrón mostrado en la Fig. 3 para que el sujeto realizara el seguimiento. En la Fig. 5 se demuestra que el seguimiento obtenido por el acelerómetro es similar al patrón proyectado.

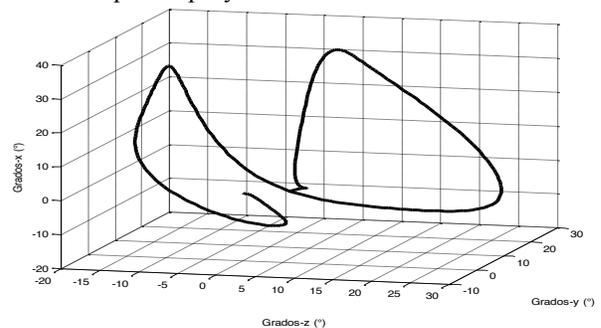


Fig. 5. Seguimiento de la posición de los movimientos de la cabeza.

#### C. Pruebas desplazando la base móvil

Se realizaron pruebas desplazando la base móvil de izquierda a derecha y de adelante hacia atrás, posteriormente, las respuestas obtenidas de la posición de los movimientos se graficaron. En la Fig. 6 y la Fig. 7 se grafican las respuestas obtenidas de la posición de los movimientos verticales con desplazamiento de la base móvil de izquierda a derecha y sus velocidades respectivamente.

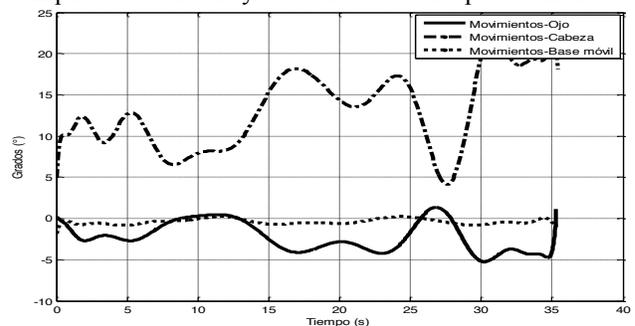


Fig. 6. Respuestas obtenidas de la posición de los movimientos verticales con desplazamiento de la base móvil de izquierda a derecha.

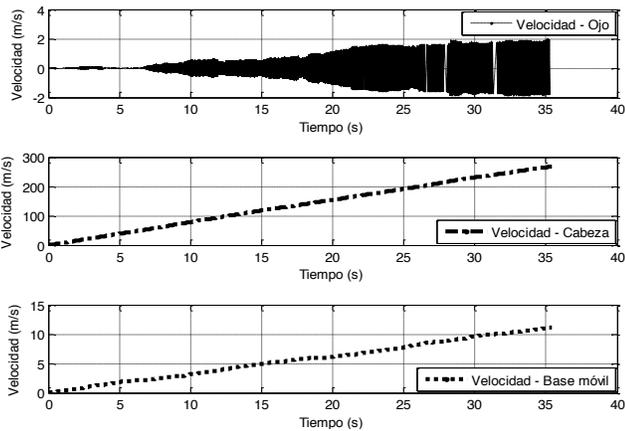


Fig. 7. Velocidades de las respuestas obtenidas de la posición de los movimientos verticales con desplazamiento de la base móvil de izquierda a derecha.

En la Fig. 8 y la Fig. 9 se observan las respuestas obtenidas de la posición de los movimientos horizontales con desplazamiento de la base móvil de izquierda a derecha y sus velocidades respectivamente.

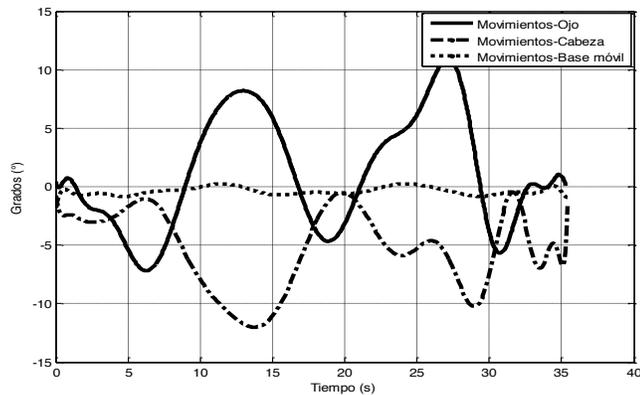


Fig. 8. Respuestas obtenidas de la posición de los movimientos horizontales con desplazamiento de la base móvil de izquierda a derecha.

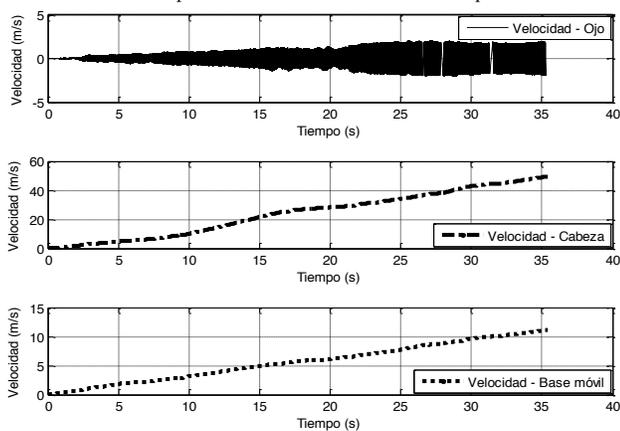


Fig. 9. Velocidades de las respuestas obtenidas de la posición de los movimientos horizontales con desplazamiento de la base móvil de izquierda a derecha.

En la Fig. 10 y la Fig. 11 se exhiben las respuestas obtenidas de la posición de los movimientos verticales con desplazamiento de la base móvil de adelante hacia atrás y sus respectivas velocidades.

desplazamiento de la base móvil de adelante hacia atrás y sus respectivas velocidades.

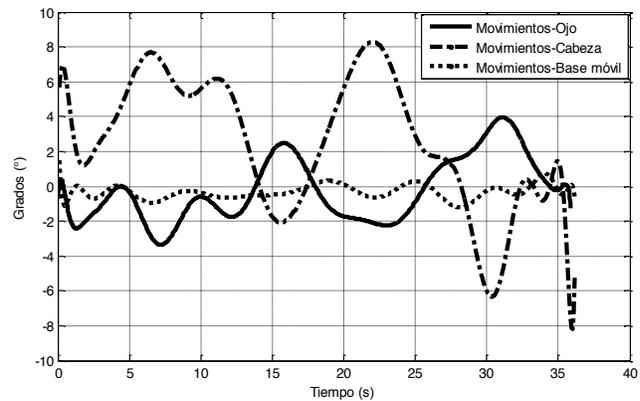


Fig. 10. Respuestas obtenidas de la posición de los movimientos verticales con desplazamiento de la base móvil de adelante hacia atrás.

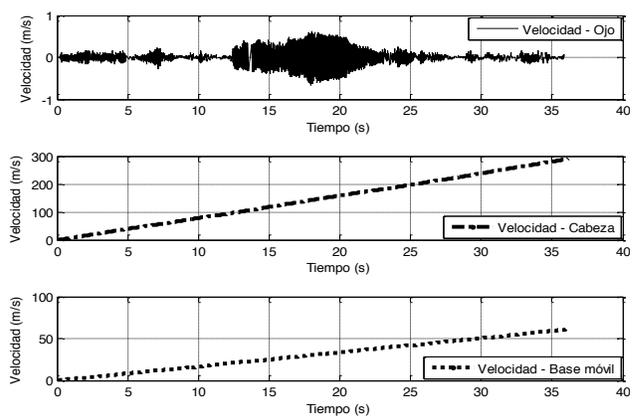


Fig. 11. Velocidades de las respuestas obtenidas de la posición de los movimientos verticales con desplazamiento de la base móvil de adelante hacia atrás.

En la Fig. 12 y la Fig. 13 se observan las respuestas obtenidas de la posición de los movimientos horizontales con desplazamiento de la base móvil de adelante hacia atrás y sus respectivas velocidades.

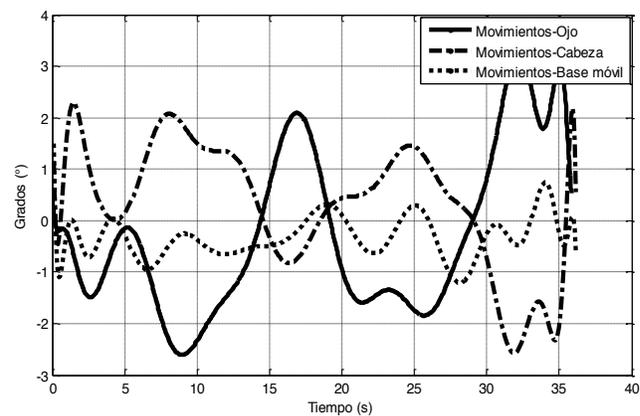


Fig. 12. Respuestas obtenidas de la posición de los movimientos horizontales con desplazamiento de la base móvil de adelante hacia atrás.

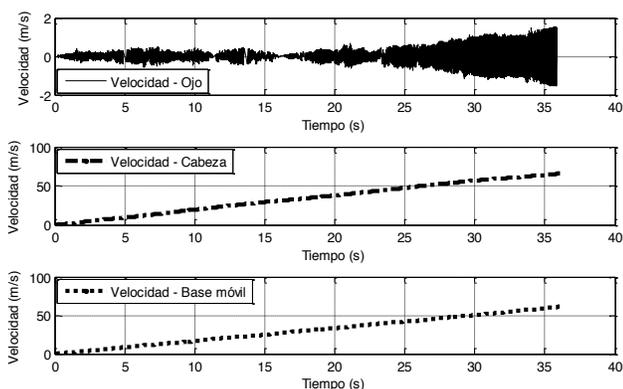


Fig. 13. Velocidades de las respuestas obtenidas de la posición de los movimientos horizontales con desplazamiento de la base móvil de adelante hacia atrás.

#### IV. DISCUSIÓN

En la Fig. 6 y la Fig. 8 se pueden observar respuestas muy similares a la que se obtiene en el reflejo vestibulo-ocular, sin embargo, la amplitud de la posición de los movimientos de la cabeza tiende a ser mayor a diferencia del reflejo vestibulo-ocular donde la amplitud es igual en un paciente sano. La amplitud detectada en la cabeza es mayor debido a que todas las pruebas se realizaron con el sujeto en movimiento, por lo cual la cabeza tiende a compensar los movimientos de la plataforma móvil para mantener la mirada y seguir el patrón proyectado.

En la Fig. 12 se observa que la amplitud de la posición de los movimientos de la cabeza y ojos es muy similar (reflejo vestibulo-ocular), por otra parte, comparando la Fig. 7 y la Fig. 9 con la Fig. 11 y la Fig. 13 respectivamente, se observa que las velocidades de los ojos varían mayormente realizando las pruebas con desplazamiento de izquierda a derecha. Lo anterior se debe a que la cabeza recibe menos perturbación con desplazamientos de adelante hacia atrás que de izquierda a derecha, por lo cual los movimientos de la cabeza para compensar los movimientos del desplazamiento de la base móvil son mínimos, presentando a su vez menor variación en la velocidad de los ojos cuando las pruebas se realizan con desplazamiento de adelante hacia atrás.

De acuerdo a las velocidades obtenidas, se observa que la velocidad en la cabeza es mayor debido al desplazamiento de la base móvil y los movimientos requeridos para el seguimiento del patrón.

A partir de los registros obtenidos se puede determinar la velocidad de respuesta de los movimientos y la ganancia relacionando los ángulos del ojo y de la cabeza. Además, el sistema se puede adaptar para realizar pruebas que permitan inclinaciones para presentar movimientos más similares a los que percibe un piloto, de igual forma se pueden realizar pruebas sin y con movimiento para determinar el grado de afectación en el individuo.

#### V. CONCLUSIÓN

Se demuestra que el método propuesto para la detección de la posición de los movimientos con fines de diagnóstico del sistema vestibular es factible, especialmente para casos donde se requiere observar las respuestas con movimientos aleatorios o cuando no existe un punto de referencia, pruebas y registros que pueden ser de gran ayuda para áreas como la medicina de aviación, para observar las respuestas del sistema vestibular en los pilotos. Así mismo, se puede determinar la velocidad de respuesta de la posición de los movimientos.

Dado a que la base móvil no se inclinaba, no existe variación en la posición de los movimientos de la misma, sin embargo, el método para la detección de la posición de los movimientos se puede adaptar a un mecanismo que permita inclinaciones, las cuales serían detectadas por el acelerómetro colocado en la base móvil.

Estas pruebas pueden servir para la detección oportuna de la presencia de una patología vestibular como la desorientación en el espacio, movimientos involuntarios, postura, marcha y pérdida de equilibrio.

#### RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento al presente trabajo a través del proyecto 141194.

#### BIBLIOGRAFÍA

- [1] Arthur C. Guyton. "Textbook of Medical Physiology." Elsevier Saunders, 11th edition. Philadelphia, Pennsylvania, 2005. ISBN: 0-7216-0240-1
- [2] John A. Kiernan. "The Human Nervous System an anatomical viewpoint" Wolters Kluwer, 9th edition. London, Canada, 2009. ISBN 978-0-7817-8256-2
- [3] Doc 8984 Manual of Civil Aviation Medicine – 3rd edition. International Civil Aviation Organization – ICAO, 2012.
- [4] Wolfgang H Zangemeister. "Fixation suppression of the vestibular ocular reflex and head movement correlated EEG potentials." In book: Eye Movements from Physiology to Cognition, pp.247-256, 1987. DOI: 10.1016/B978-0-444-70113-8.50037-0
- [5] M. Rodenburg. "Coordination of head and eye position during fixation." In book: Eye Movements from Physiology to Cognition, pp.211-218, 1987.
- [6] Robert A. Moses. "Adler's Physiology of the eye, clinical application" C.V. Mosby Company, 10th edition, 2004. USA. ISBN: 0-323-01136-5
- [7] Gabirel M. Gauthier, L. Stark et al (1987) Adaptive Optimization of eye-head coordination with degraded vision. In book: Eye movements: from Physiology to Cognition, Publisher: Elsevier Science Publishers BV, Editors: J.K. O'Regan and A. Lévy-Schoen, pp.201-210.
- [8] Fabiola M. Villalobos-Castaldi, Ernesto Suaste-Gómez. "A new spontaneous pupillary oscillation-based verification system." Expert Systems with Applications 40:5352-5362, 2013.
- [9] Ernesto Suaste Gómez and Anabel S. Sánchez Sánchez. "Biomedical instrumentation to analyze pupillary responses in white-chromatic stimulation and its influence on diagnosis and surgical evaluation." Biomedical Engineering - Technical Applications in Medicine, Dr. Radovan Hudak, 2012.