

POTENCIALES EVOCADOS VISUALES Y RESPUESTAS PUPILARES PARA LA DETERMINACIÓN OBJETIVA DEL CAMPO VISUAL: INSTRUMENTACIÓN Y PROCESAMIENTO

E. Suaste¹, P. Rivera² y J. Leybón³

RESUMEN -- En este trabajo se presenta el diseño, desarrollo, implementación y construcción de un bioinstrumento oftalmológico para la evaluación funcional del campo visual, teniendo como base primordial la cuantificación objetiva, basado en el monitoreo, procesamiento y análisis tanto de imágenes así como de señales de las respuestas pupilares causadas por el reflejo fotomotor y de los potenciales evocados visuales (perimetría objetiva).

Palabras-clave: Campo Visual, Perimetría Objetiva, Potenciales Evocados Visuales, Respuestas Pupilares, Video-oculografía, Tratamiento de Señales e Imágenes.

INTRODUCCIÓN

La medición clínica del campo visual es de gran importancia en la detección, diagnóstico, pronóstico y tratamiento de disfunciones neurológicas y oftalmológicas. Esto incluye desórdenes del ojo y del sistema visual aferente (el nervio óptico, el quiasma óptico, el tracto óptico y las vías centrales visuales del cerebro que se encuentran en el lóbulo occipital). Estos desórdenes pueden causar grandes pérdidas de la visión periférica y central, éstos incluyen condiciones tales como glaucoma, enfermedades cerebrovasculares, tumores pituitarios, etc. La historia de la perimetría y el desarrollo de las técnicas modernas para el examen del campo visual están íntimamente ligadas al estudio del glaucoma (Harrington, 1979; Cronly-Dillon, 1991).

La perimetría, ha sido una de las últimas pruebas en automatizarse. Los primeros esfuerzos de automatización se llevaron a cabo en la década de los 70's (Heil y Krakau 1975; Koch *et alii*, 1972). Los perímetros automáticos computarizados detectan los defectos del campo visual, presentando pequeños puntos de luz, en distintos lugares del campo visual de un ojo: cuando un punto es detectado, el paciente responde presionando un botón. Como se observa, la respuesta del paciente está todavía presente en la perimetría automatizada actual.

A pesar de la disponibilidad de índices seguros, es todavía necesario un técnico durante la prueba perimétrica para asegurar una buena fijación y atención del paciente; algunos equipos

¹ Profesor Titular, CINVESTAV I.P.N. Sección de Bioelectrónica, Depto. Ing. Eléctrica
Apdo. Postal 14-740, C.P. 07000, D.F. MÉXICO.
E-mail: ESUASTE@MVAX1.RED.CINVESTAV.MX

² Auxiliar de investigación, CINVESTAV I.P.N. Sección de Bioelectrónica, Depto. Ing. Eléctrica.

³ Auxiliar de investigación, CINVESTAV I.P.N. Sección de Bioelectrónica, Depto. Ing. Eléctrica.

necesitan un método de monitoreo intermitente, identifican la fijación inicial y posteriormente hacen observaciones periódicas; otros equipos requieren un monitoreo continuo, con un técnico presente durante toda la prueba. Actualmente la automatización de la perimetría consiste en la presentación de resultados, comodidad del paciente y monitoreo de la fijación ocular (Charlier y Hache 1982).

Actualmente en un examen ocular de rutina se llevan a cabo diferentes exámenes oftalmoscópicos y otras pruebas objetivas, por lo cual el médico tiene menos posibilidades de realizar exámenes subjetivos tal como lo es el caso de la perimetría, delegando estos exámenes al personal paramédico o técnico. En un esfuerzo por vencer estos problemas, se ha planteado un nuevo perímetro automático y computarizado que suprima las apreciaciones subjetivas del técnico optometrista y del paciente (Suaste *et alii*, 1994). En este equipo se hace uso de una de las técnicas más actuales de proyección del estímulo: índice luminoso basado en fibras ópticas, con lo cual se disminuye considerablemente el tiempo de examinación, además de que se garantiza un área de índice constante, con la misma intensidad luminosa para todos los estímulos con elección programable.

Para lograr la valorización objetiva y automática del campo visual, se hace uso de la Video-oculografía (VOG), la cual es una técnica de medición no invasiva basada en el procesamiento de imágenes del video. Se aplica tanto al estudio e investigación de las manifestaciones de los movimientos oculares como a la dinámica de las respuestas pupilares (Stark 1994). Este instrumento utiliza las técnicas de video digitalizado de imágenes para obtener cuadro a cuadro la imagen, digitalizarla, procesarla, cuantificarla y almacenarla (Clarke *et alii*, 1989; Suaste *et alii*, 1993).

La respuesta evocada visual o potencial evocado visual (PEV) es una compleja serie de potenciales que pueden ser registrados, mediante electrodos de superficie colocados en la zona correspondiente a la corteza occipital, como respuesta a una estimulación de la retina. Los potenciales evocados visuales son de una amplitud muy pequeña para ser vistos en una rutina de registro electroencefalográfico. La técnica comúnmente utilizada para la obtención de estos potenciales es la promediación (Copenhaver y Beinhocker 1963; Henning y Husar 1995).

Con el propósito de monitorear los movimientos del ojo e indicar lecturas falsas por el cambio de posición, en virtud de que es requisito indispensable que el paciente mantenga la vista fija en el centro de la semiesfera, se diseñó un detector de posición ocular automático donde la imagen del ojo es capturada en tiempo real por un circuito cerrado de video.

MATERIALES Y METODOS

Para la obtención de PEVs y respuestas pupilares durante un examen visual en una rutina clínica oftalmológica, se desarrolló el sistema mostrado en la Figura 1. Este sistema consiste de: i) un perímetro automático basado en las dimensiones físicas del perímetro de Goldmann y un proyector de índice basado en fibras ópticas; ii) bioinstrumentación para sensar y modular la señal de EEG a ser almacenada, así como la señal del estímulo, en el canal de audio de alta fidelidad de una videocasetera para analizarlos fuera de línea, iii) un programa computacional que permite la adquisición de los datos de EEG; las principales tareas del programa son: realizar la adquisición de

Los potenciales occipitales (Maruo, 1978), fueron obtenidos utilizando dos electrodos de 5mm de diámetro. El electrodo activo fue colocado en Oz del sistema internacional, y el electrodo de referencia en Pz. Un electrodo de tierra fue colocado en Cz. La medición de la impedancia piel-electrodo fue monitoreada con un dispositivo electrónico desarrollado en nuestro laboratorio. En general, los registros obtenidos con una lectura de la impedancia fuera del intervalo de 1000 y 5000 ohmios no se consideraron válidos. Con objeto de eliminar durante el examen, errores causados por movimientos oculares, fue desarrollado un circuito electrónico que detecta la posición de los ojos.

Descripción del instrumento

El perímetro está contenido en un mueble dotado de ruedas, en la parte superior se encuentra una semiesfera de 30 cm de radio, la cual está pintada de blanco mate translúcido; en el frente de ésta se halla el soporte oftalmológico, el proyector de fondo se ubicó en los bordes de la semiesfera; en la parte posterior externa y al centro de la semiesfera existe un orificio donde se instaló una pequeña cámara de infrarrojo. Por el frente del instrumento se observa la ubicación de cuatro gabinetes los cuales contienen los circuitos electrónicos del proyector de índice, el detector de posición ocular, la videogradora, asimismo observamos el monitor y el teclado (Suaste *et alii*, 1993).

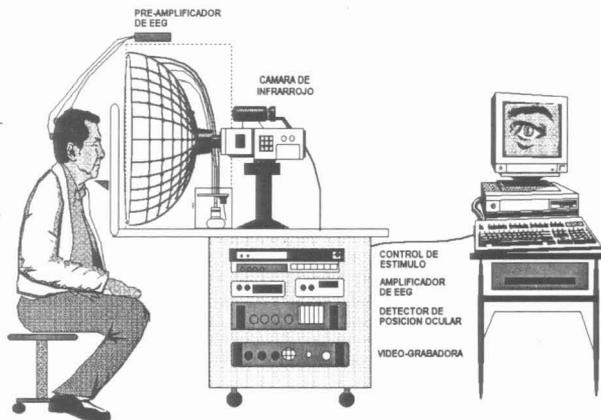


Figura 3. Perímetro Clínico automático con proyector de índice basado en fibras ópticas.

En la figura 3 se muestra el montaje final del Perímetro asociado al video-oculógrafo y al preamplificador de EEG. El grupo de fibras ópticas es guiado hacia el exterior del gabinete, cada fibra óptica se sujeta mediante un pequeño soporte plástico a la superficie externa del perímetro cuidando que su posición sea perpendicular a la superficie del hemisferio. El material translúcido de la semiesfera de proyección, permite que la proyección del punto cumpla con la intensidad luminosa proyectada. Las medidas de la fibra son: 1 mm de diámetro del núcleo y 2.2 mm de diámetro incluyendo el forro.

Video-oculografía

La determinación del área pupilar se realiza por medio de un método no invasivo (VOG): con este sistema de procesamiento calculamos el área pupilar y si existe una diferencia notable significa que el ojo ha detectado el estímulo. Para el procesamiento de la señal de la respuesta pupilar, es necesario que tengamos el registro de la posición del estímulo, para así detectar el momento exacto en que el paciente detecta el estímulo (señal proporcionada por el perímetro) y la señal del detector de posición ocular para descartar las imágenes cuando el paciente perdió su punto de fijación.

El sistema de medición implementado consiste básicamente de tres partes: adquisición de los datos, procesamiento de los mismos y presentación de los resultados. En la captura de datos se utiliza una tarjeta digitalizadora de video integrada a una computadora; en el procesamiento de los datos se utilizan los algoritmos y procesos matemáticos referentes al tratamiento de imágenes, como filtrado y reconocimiento de patrones (Moore *et alii*, 1991; Wagner y Galiana 1992). En la presentación de los resultados se utiliza un programa graficador (para mejor visualización de las respuestas pupilares y de los movimientos oculares) asociado a un sistema de modelación, simulación y animación (Suaste *et alii*, 1995).

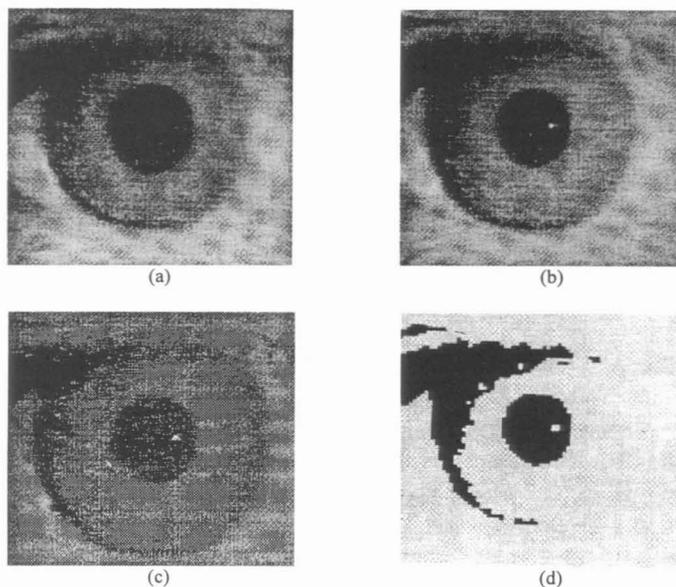


Figura 4. Procesamiento de imágenes en perimetría objetiva. (a) Imagen antes del estímulo. (b) Contracción pupilar debida al estímulo. (c) Imagen filtrada. (d) Segmentación y detección del centro pupilar.

RESULTADOS

Fueron realizados varios exámenes de campo visual con ayuda de médicos oftalmólogos sobre un grupo de diez personas seleccionadas al azar (recomendado por ellos), aquí se exponen dos casos típicos que se consideraron interesantes para poder observar la funcionalidad y capacidad de detección del instrumento descrito (de acuerdo al objetivo), al comparar los resultados obtenidos en el estudio de una persona con visión normal y otra con problemas de miopía. Se examinó el ojo derecho de un individuo de 23 años con visión normal, del cual se obtuvieron tres cartas perimétricas. Las condiciones de medición del estudio presentado fueron las siguientes: 31.5 asb de iluminación de fondo, 250 asb del índice, área del índice 0.79 mm^2 , duración del estímulo luminoso 110 ms, área inicial pupilar 12.22 mm^2 . La frecuencia de muestreo fue 1000 Hz y fueron capturados 512 ms de registro. Primeramente presentamos los resultados obtenidos mediante la valoración del campo visual por PEVs, los puntos estimulados (Figura 5), las gráficas de las señales de los PEVs obtenidos (Figura 6), el contorno del campo visual (Figura 7) y la Tabla 1 de latencia y amplitud. Posteriormente se muestran los resultados obtenidos en registros simultáneos de PEVs y respuesta pupilar.

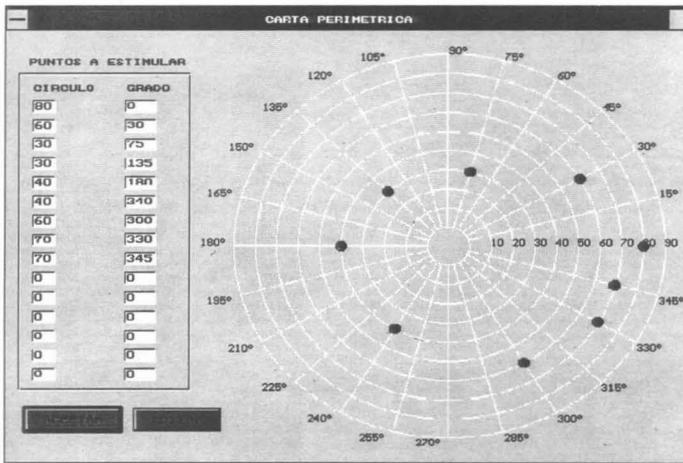


Figura 5. Pantalla del programa en donde se puede apreciar la localización de los puntos a ser examinados dentro del perímtero.

Aunque otros autores han demostrado que los PEVs obtenidos al estimular la retina pueden ser utilizados como indicadores objetivos del campo visual (Iwanowa *et alii*, 1993) la instrumentación empleada tuvo muchas limitaciones. El sistema que se ha desarrollado elimina las dificultades de operación y lo vuelve totalmente factible para ser utilizado en rutinas clínicas oftalmológicas.

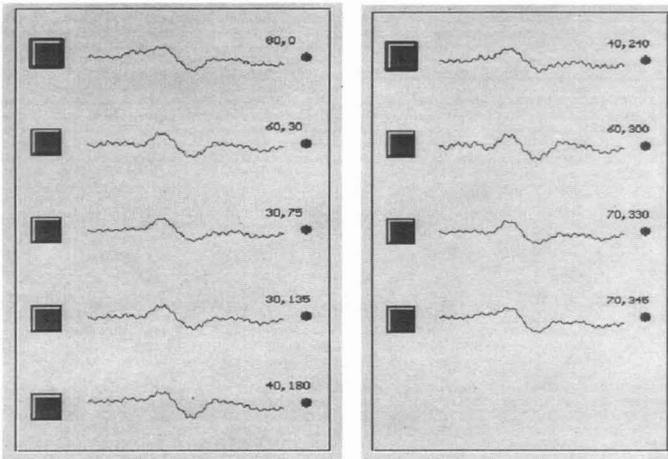


Figura 6. PEVs obtenidos en los puntos estimulados.

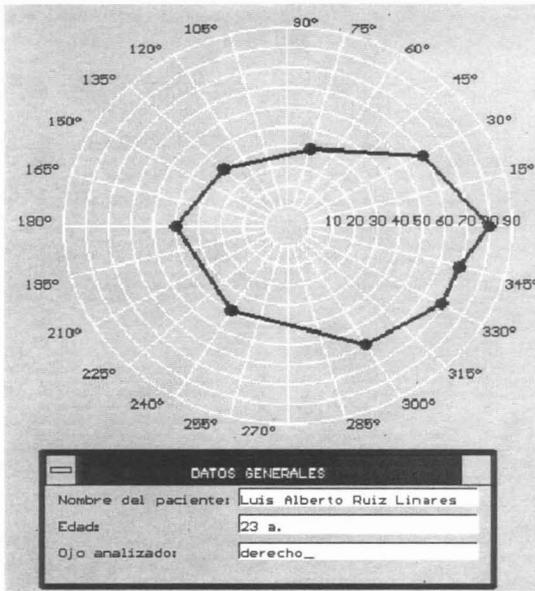


Figura 7. Primera carta perimétrica, las señales activadas son trazadas para el contorno del campo visual

Tabla 1. Valores obtenidos al analizar las señales correspondientes a cada punto de estimulación (amplitud y latencia).

| PUNTO ESTIMULADO (círculo, ángulo) | AMPLITUD (μV) | LATENCIA (ms) |
|---------------------------------------|----------------------------|---------------|
| 20,0 | 0.5 | Punto ciego |
| 30,0 | 10.8 | 101 |
| 20,45 | 10.9 | 102 |
| 20,90 | 10.8 | 102 |
| 20,150 | 11.3 | 101 |
| 20,210 | 11.1 | 101 |
| 20,270 | 11 | 102 |
| 30,330 | 10.9 | 101 |

Registros simultáneos de PEV y respuestas pupilares

En esta sección se presentan los resultados encontrados al examinar el ojo izquierdo de un individuo de 44 años de edad con padecimientos de miopía. La iluminación de fondo fue de 31.5 asb. En las figuras 8 y 9 se muestran los PEVs obtenidos, y en la gráfica de la figura 10 se pueden apreciar las respuestas pupilares a los mismos estímulos. Los resultados obtenidos mostraron la disminución de la amplitud como consecuencia de la disminución en la iluminación de la retina.

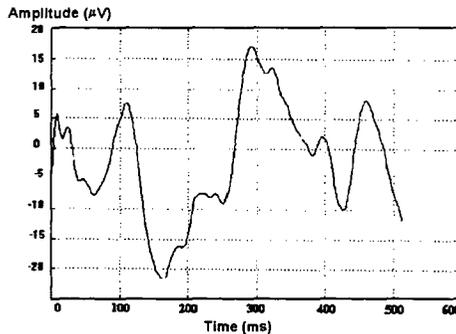


Figura 8. PEV obtenido al estimular en el punto (10,90) con una intensidad del índice de 131.15 asb. Presenta una amplitud de 7.5 μV y una latencia de 103 ms.

El objetivo de realizar el estudio de campo visual utilizando las técnicas de PEV y respuestas pupilares simultáneamente es proporcionar al examinador mayor información sobre la visión del paciente, ya que estas técnicas exploran la vía visual y la vía del reflejo fotomotor respectivamente.

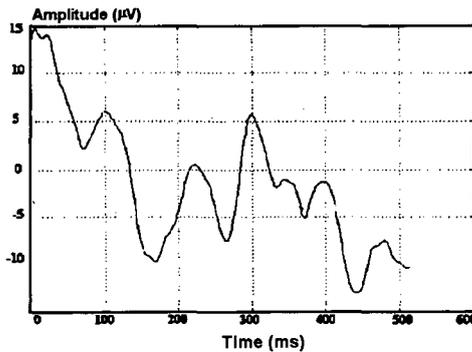


Figura 9. PEV encontrado al estimular en el punto (30,130) con una intensidad de índice de 117.99 asb. Presentó una amplitud de 6 µV y una latencia de 100 ms.

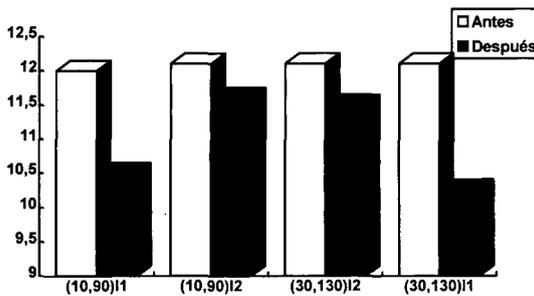


Figura 10. Cambio de área pupilar. En el eje horizontal se muestran los puntos en donde se realizó la estimulación. I1 indica una intensidad del índice de 131.15 asb. I2 indica una intensidad de 117.99 asb. En el eje vertical se indica el área pupilar en mm².

CONCLUSIONES

Las pruebas de perimetría llevadas a cabo en el laboratorio con la metodología de PEVs y Pupiloperimetría simultáneamente, mostraron su compatibilidad y la utilidad en el diagnóstico objetivo tanto de la vía visual así como del reflejo fotomotor. Tanto las amplitudes y latencias de las ondas P100 de los PEVs obtenidos con el sistema propuesto, en individuos con campo visual normal, se encontraron dentro del rango característico de las ondas P100, por lo que se concluye que es posible utilizar los PEVs conjuntamente con las respuestas pupilares en la perimetría clínica objetiva. Este arreglo instrumental desarrollado puede aplicarse con cualquier persona, pero la objetividad del sistema ofrece mayores ventajas al ser aplicado en sujetos con dificultades de comprensión o del habla, así como en niños menores de diez años, cuyas respuestas no se consideran confiables en estudios perimétricos subjetivos. Un aspecto sobresaliente fue la

utilización, por primera vez de pequeños estímulos luminosos (fibra óptica de 1mm de diámetro), que permitieron obtener los PEVs en Perimetría Objetiva.

Los EEGs obtenidos y las imágenes de las respuestas pupilares facilitan la realización de estudios minuciosos fuera de línea tales como: verificación de diferentes algoritmos de promediación para la obtención de los PEVs, escape pupilar asociado a las duraciones del estímulo visual (Suaste *et alii*, 1996), umbrales de sensibilidad retiniana, efecto de la estimulación de puntos luminosos de diferentes colores guiados a través de las fibras ópticas del Perímetro y relación con la Electroretinografía (ERG) con el objeto de encontrar las latencias entre el ERG, PEV y las manifestaciones pupilares en Perimetría Objetiva. Este tipo de estudios simultáneos tanto de los PEVs así como de la respuesta pupilar dieron los elementos necesarios para elaborar la modelación, simulación, visualización y animación en 3D (Suaste *et alii*, 1996) lo que garantiza un avance muy importante en el diseño y desarrollo tanto de dispositivos protésicos como es el caso de pupilas artificiales (Suaste y Leybón 1997) como en la generación de video-diagnósticos inmersos en ambientes virtuales (Suaste *et alii*, 1995) Finalmente con este bioinstrumento creado se ha podido demostrar que es factible tener Perimetría Objetiva eliminando por completo la intervención del técnico optometrista y las apreciaciones subjetivas del paciente.

REFERENCIAS

- CHARLIER, J. R. and HACHE, J. C. (1982). "New Instrument for Monitoring Eye Fixation and Pupil Size During the Visual Field Examination". *Med. & Biol. Eng. & Comput.* v. 20, p. 23-28.
- CLARKE, A. TEIWES, W. and SCHERER, H. (1989). *Video-Oculography- An Alternative Method for Measurement of Three Dimensional Eye Movements*. Freie Unversitat Berlin.
- COPENHAVER, R. and BEINHOCKER, G. (1963). "Objective Visual Field Testing Occipital Potentials Evoked From Small Visual Stimuli". *J. Am. Med. Assoc.* v. 186 (8).
- CRONLY-DILLON, J. R. (1991). *Vision and Visual Dysfunction*. The MacMillan Press Ltd. Great Britain.
- HARRINGTON, D. (1979). *The Visual Fields-a Textbook and Atlas of Clinical Perimetry*. St. Louis: C. V. Mosby .
- HEIL, A. and KRAKAU, C. E. (1975). "An Automatic Perimeter". *Acta. Ophth.* v. 125, p.23-24.
- HENNING, G. and HUSAR, P. (1995). "Statistical Detection of Visually Evoked Potentials". *IEEE Eng. Med. and Biol.* v. 14 (4), p. 386-390.
- IWANOWA, G., HENNING, G., WÜLLER, W. and MOUSTAKIDES, G. (1993). "Automatic Detection of Visual Evoked Potentials - An Urgent Necessity for Objective Perimetric Investigations". *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. v. 15, p. 1387-1388.

- KOCH, P., FANKHAUSER, F. and ROULIER, A. (1972). "Perimetry-The Information Theoretical Basis for Its Automation". *Vision Res.* v. 12, p. 1619-1630.
- MARUO, T. (1978). "Electroencephalographic Perimetry Clinical Applications of Vertex Potentials Elicited by Focal Retinal Stimulation". *Third International Visual Field Symposium, Doc. Ophth. Proc.* Tokyo. v. 19.
- MOORE, S., CURTHOYS, I. and MCCOY, S. (1991). "VTM-An Image-Processing System for Measurement Ocular Torsion". *Comp. Methods and Programs in Biomed.* v. 35, p. 219-230.
- STARK, L. (1994). *Neurological Control Systems Studies in Bioengineering*. Berkeley: Athena Press, Special Edition.
- SUASTE, E., CAJICA, C. and RIVERA, P. (1993). "Video-oculography for Measurement of Torsional Nystagmus". *Proc. of the 15th Ann. Int. Conf. IEEE-EMBS*. v.15(1), p. 38-39.
- SUASTE, E., MINOR, A. and CAJICA, C. (1993). "Automated Perimeter-Based TV Pupillometer". *Ophthalmic Technologies III, Proc. SPIE 1877*. Ed.: Jean Marie Parel. p. 64-172.
- SUASTE, E., SOLIS, L. and RIVERA, P. (1994). "Fiber Optics for Perimetry-Based on Video-oculography", In: *Biomedical Fiber Optic Instrumentation. Proc. SPIE 2131*. Eds.: J. A. Harrington, D. M. Haarris, A. Katzir and F. P. Milanovich. p. 180-189.
- SUASTE E, LEYBÓN J, LEIJA L. y SOSSA H. (1995). "Virtual Enviroments for Clinical Analysis, Visualization and Simulation of Congenital Nystagmus". *IEEE, Systems, Man and Cybernetics*. Vancouver, British Columbia, Canada. v. 2, p. 4662-4664.
- SUASTE, E., RIVERA P., LEYBÓN J., AVILA J, LEIJA L. y SOSSA H. (1996). "3D Simulation, Visualization, Animation and Modeling of Eye Movements, Pupillary Response and Visual Evoked Potentials for Ophthalmological Studies". *Simulation Modelling in Bioengineering, Section 4: Imaging Processing*, Editors: M. Cerrolaza, D. Jugo, C. A. Brebbia, p. 189-200.
- SUASTE, E., RIVERA, P., y SALAZAR, V. (1996). "Pupillary Escape quantification with an Image-Processing System in Clinical Perimetry pupillometer". *Ophthalmic Technologies VI, Jean Marie Parel, Editor Proc. SPIE 2673-46*.
- Suaste E. y Leybón J. (1997). "Diseño-prototipo de una Pupila Artificial Utilizando Cristal Líquido". *III Workshop de Iberchip*. México, D.F. p. 90-99.
- WAGNER, R. y GALIANA, H. L. (1992). "Evaluation of Three Template Matching Algorithms for Registering Images of the Eye". *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. v. 39 (12).

**VISUAL EVOKED POTENTIALS AND PUPILLARY RESPONSES
FOR OBJECTIVE DETERMINATION OF THE VISUAL FIELD:
INSTRUMENTATION AND PROCESSING**

E. Suaste¹, P. Rivera² and J. Leybón³

ABSTRACT -- It is presented the design, development and construction of an ophthalmologic bio-instrument for visual field functional evaluation purposes. It is based mainly in the objective quantification by monitoring, processing and analyzing of images and pupilar response signals produced for pupil reflex and visual evoked potentials (objective perimetry). Visual evoked potentials (VEPs) and the pupilar responses play an important role in the visual field examination. It is presented the instrumentation and processing developed for obtaining Objective Perimetry. Automatic and Objective Perimeter is based on Goldmann Perimeter and the projector consists of fiber optics. This instrument is equipped with an Electroencephalograph for obtaining the VEPs, Video-oculograph for measuring the pupilar area and an eye position detector on time with the purpose of eliminate false responses caused by eye movements. The system is associated with a PC trough an A/D card, a frame grabber, an infrared camera and a VCR. There have been developed some algorithms of digital image and signal processing. The instrument has been evaluated in our laboratory using an extensive patient analysis and the results have been satisfactory. Simultaneous changes have been recorded in the pupilar area and VEPs with a small light stimulus. This is a new automatic and objective perimetry which eliminates the subjectivity of the patient and Optometrists, also it demonstrates that VEPs and pupilar responses are objective methods and indicators of the visual field and the sensibility thresholds.

Keywords: Visual Field, Objective Perimetry, Visual Evoked Potentials, Pupilar Response, Video-oculography

¹ Professor, CINVESTAV I.P.N. Sección de Bioelectrónica, Depto. Ing. Eléctrica
Apdo. Postal 14-740, C.P. 07000, D.F. MÉXICO.
E-mail: ESUASTE@MVAX1.RED.CINVESTAV.MX

² Research Assistant, CINVESTAV I.P.N. Sección de Bioelectrónica, Depto. Ing. Eléctrica.

³ Research Assistant, CINVESTAV I.P.N. Sección de Bioelectrónica, Depto. Ing. Eléctrica.