

# DESARROLLO DE UN PROTOTIPO PARA ADQUISICION Y TRATAMIENTO DE POTENCIALES EVOCADOS PARA USO EN MONITOREO DE PACIENTES CRITICOS

K. MEIER, J. BOHORQUEZ, A. GAUTHIER, G. CAVELIER

**RESUMEN** -- Este proyecto tiene como mira a largo plazo la elaboración de un equipo de monitoreo de la actividad funcional del cerebro de pacientes en estado de coma. Inicialmente, se realizó un prototipo de laboratorio para la adquisición de potenciales evocados y se desarrolló software de adquisición de señal y también de tratamiento de señal para uso en monitoreo. Este proyecto se realiza en forma conjunta con la Unidad 280 del Instituto de la Salud y la Investigación Médica de Francia (INSERM) dirigida por M. Jacques PERNIER, en Lyon. Se realiza simultáneamente en Lyon y Bogotá, con intercambio de investigadores.

## INTRODUCCION

La actividad cerebral de una persona se refleja como una actividad eléctrica en el cuero cabelludo la cual puede ser medida con el uso de un sistema de electrodos conectados a unos amplificadores. Esta actividad se puede dividir en dos tipos: actividad espontánea y actividad evocada; la primera es el llamado electroencefalograma EEG que es el resultado de la superposición de toda la actividad de fondo del cerebro. La actividad evocada o potenciales evocados PE resulta de la respuesta de ciertas zonas del cerebro a estímulos provenientes de las vías sensoriales. Lo anterior implica que los potenciales evocados están sincronizados con el estímulo que los produce, de tal modo que cierto tiempo después de producido éste, se registran en el cuero cabelludo voltajes que toman diferentes formas con el tiempo dependiendo del tipo de estímulo producido.

Así, si un estímulo es de tipo auditivo, el PE provocado será auditivo; pero también es posible registrar PE visuales y somatosensoriales. Estos últimos están relacionados con respuestas nerviosas producidas por pequeños choques eléctricos sobre la piel, de forma tal que al recorrer el flujo nervioso diferentes zonas del camino entre el sitio del estímulo y el cerebro, se van a presentar ondas de diferente voltaje en el cuero cabelludo, que observados en el tiempo forman un registro de la actividad sensorial. La forma de estas ondas puede ser estudiada y comparada con un estándar obtenido a partir de muchos registros realizados sobre personas físicamente normales, con el fin de descubrir diferencias que pueden corresponder a anomalías en alguno de los canales de los sentidos o del sistema nervioso central y periférico, entre otras.

---

Los Autores son Profesores del Departamento  
de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de los  
Andes. Dirección: AA 4976 Bogotá - COLOMBIA

//Trabalho recebido em 31/09/89 e aceito em 04/10/89//

### TRATAMIENTO DE SEÑAL

Los potenciales evocados son señales eléctricas que se encuentran inmersas dentro de la actividad espontánea del cerebro; la amplitud de estas señales evocadas, por lo general, es mucho menor que el propio EEG y para su extracción es necesario hacer algún tratamiento de señal. El objeto del proyecto fué el de fabricar un equipo de adquisición con miras a usarlo, en primera instancia, en el monitoreo de pacientes en estado de coma; esta aplicación implica que los potenciales evocados deberán ser adquiridos lo más rápidamente posible para poder hacer un seguimiento oportuno del estado del paciente. Debido a que los potenciales evocados están sincronizados con el estímulo y son reproducibles, siempre es posible extraerlos del ruido simplemente repitiendo muchas veces el estímulo ( 2000 en el caso de los potenciales auditivos precoces, o del tallo cerebral) y promediando la respuesta. Esta técnica no es muy aconsejable en el caso del monitoreo puesto que hay dos factores críticos: primero que todo, ya que se requieren muchos estímulos se necesita también mucho tiempo para poder obtener un potencial y, en segunda medida, no es conveniente someter a un paciente, de una forma continua, a una gran cantidad de estímulos.

Otra técnica usada es el Promediado Selectivo, que como su nombre lo indica trata de hacer una selección de las señales elementales con el fin de evitar promediar señales que tengan un alto nivel de ruido. Entonces en este método se promedian respuestas cuya amplitud no sobrepase un nivel previamente escogido. Este nivel de umbral se escoge a partir de respuestas elementales sin artefactos, registradas en estado de reposo.

Una técnica más sofisticada que las dos anteriores es el denominado Filtrado de Wiener, que consiste en encontrar el filtro que se debe aplicar a la señal, compuesta por la señal propiamente dicha (que lleva la información) más el ruido o sea  $x(t) = s(t) + n(t)$ , de tal forma que se minimice un criterio de error. Siendo  $s'(t)$  la señal filtrada y  $s(t)$  la señal ideal, hay que encontrar la función de transferencia  $H(f)$  que haga que  $E[s'(t) - s(t)]$  sea mínimo. La teoría permite encontrar una expresión de la función de transferencia del filtro lineal en el caso de que  $x(t)$  y  $s(t)$  sean procesos aleatorios, estacionarios en segundo orden y centrados. En la práctica el problema radica en evaluar y determinar las densidades espectrales de la señal útil y del ruido.

El problema principal de esta técnica reside en la gran variabilidad de la estimación del filtro cuando la relación señal a ruido es muy pequeña. Aumentarla para que el filtro no tome valores negativos, (por medio de un aumento en el número de respuestas elementales a promediar), no ofrece ventajas significativas sobre el promediado convencional. Para el caso del Monitoreo rápido, esta técnica por sí sola no conviene, ya que en condiciones reales la relación señal a ruido de los Potenciales Evocados Auditivos Precoces (PEAP) se sitúa hacia los -20 dB. En estas condiciones el filtro presenta una gran variabilidad y las respuestas pueden deformarse sensiblemente.

Por todo lo anteriormente expuesto se determinó que el mejor método se podía desarrollar teniendo en cuenta las necesidades y aprovechando el sofisticado procesador utilizado en el equipo (MC 68000), el cual proporciona alta velocidad de procesamiento y versatilidad en el manejo de los resultados; se determinó entonces usar el método de Promediado en usos corrientes; sin embargo, para uso en monitoreo, se hace un Promediado inicial que aumenta la relación señal a ruido y luego se complementa con un Filtro de Wiener "estimado" a partir de las mediciones (Filtro de Wiener a Posteriori FWAP). Este FWAP se estima con base en un banco de 10 Promedios, el cual se refresca continuamente introduciendo un nuevo Promedio y desechando el más antiguo; se puede observar que en este sentido se tiene un filtro adaptivo.

Así, una vez que la señal es obtenida y promediada en el Prototipo de Adquisición se realiza el tratamiento de las señales Promedio con el FWAP luego de ser estas transferidas desde el Prototipo a un computador. Se han desarrollado programas de Protocolo de Comunicación y Transferencia de datos en computadores compatibles IBM y en MACINTOSH, lo cual facilita el uso del prototipo en cualquier medio y el tratamiento adicional deseado de los archivos de datos obtenidos.

### EQUIPO DE ADQUISICION

Es importante en el caso de monitoreo poder obtener secuencialmente respuestas evocadas en un tiempo rápido (por ejemplo 2 minutos entre respuestas) para poder seguir las posibles modificaciones y evolución del paciente. Sin embargo esto es difícil debido a que el ruido de fondo presente en la mayoría de los casos es grande, y usando el promediado convencional se necesitarían aproximadamente 2000 respuestas elementales para poder obtener una respuesta media correcta. Por consiguiente hay que buscar otras alternativas para disminuir el número de estimulaciones que se deben aplicar al sujeto (a razón de 20 por segundo) y que conserven una buena calidad en la respuesta. Por la tanto el sistema de Monitoreo básico debe cumplir con:

- Número de estimulaciones reducido
- Cadencia de registro rápida
- Eliminación de los principales artefactos.

Todo esto fué logrado con el Prototipo de Adquisición de Potenciales Evocados, usando la técnica descrita de hallar 10 Promedios de unas 200 muestras cada uno, y aplicar el FWAP a esos 10 promedios (más o menos equivalente a 2.000 muestras promediadas). Como una vez inicializado el banco de 10 Promedios, se puede refrescar cada 200 muestras con un nuevo Promedio, se logra así un monitoreo casi continuo y con muchas menos estimulaciones que si se usara solamente el Promediado sencillo de las 2000 muestras.

### Especificaciones del Prototipo

• **Versatilidad** -- Es posible hacer modificaciones y ajustes de los algoritmos sin que esto implique dificultades excesivas tanto en la programación como en la electrónica misma del aparato.

• **Transportabilidad** -- Para realizar los experimentos con personas es necesario transportar el prototipo hasta el sitio donde se realice el experimento y luego retornarlo para el posterior análisis de los resultados.

• **Capacidad de medición** -- El prototipo de PE trabaja en sistemas vivos, debido a lo cual utiliza señales de tipo real. Los Potenciales generados sobre el cuero cabelludo son del orden de  $\mu\text{V}$ ; el prototipo amplifica y filtra la señal a valores adecuados para su transmisión y almacenamiento.

• **Capacidad de almacenamiento y comunicación con computador** -- El Prototipo es capaz de almacenar los resultados del experimento para posteriormente transmitirlos en forma serial a un computador en el cual se pueden hacer el análisis de resultados y las gráficas correspondientes. En el computador quedan almacenados los archivos de datos de cada experimento para su posterior recuperación.

• **Adquisición** -- Muestreo programable de 50  $\mu\text{s}$  a 32000  $\mu\text{s}$  con pasos de 1  $\mu\text{s}$  y Estimulación programable de 50 ms a 32 seg con resolución de 1 ms

• **Display** -- Trazado programable de [256 X 256] puntos, con capacidad de desplegar simultáneamente el valor instantáneo y el promedio.

• **Parte Análoga** -- La parte análoga del prototipo está constituida básicamente por :

- La sección de amplificación y filtraje de la señal, la cual proporciona ganancias que están en el rango de 4.000 a 200.000. Filtros Pasa Banda: 0.03/90 Hz - 16/3200 Hz

- La parte de Control de Video que realiza la conversión Digital - Análoga.

- El bloque conformado por el Estimulador: para esto se han desarrollado hasta el momento tres tipos de estimuladores para la obtención de los PE, son ellos:

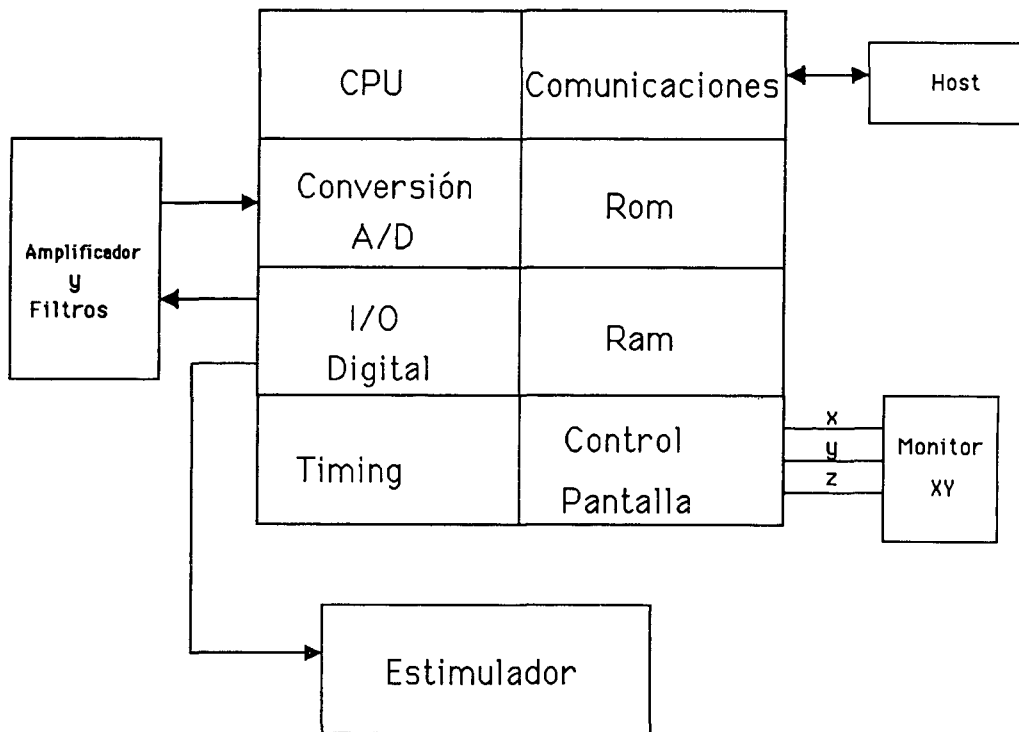
º Estimulador para PE Visuales (flash ó tablero de ajedrez)

º Estimulador para PE Auditivos (clicks) y PE Cognoscitivos (tone burst)

• Parte digital -- La parte digital del prototipo está conformada por tres sistemas básicos que son:

- CPU: formada por CPU, Reset, memorias Ram, memorias Rom, Dtack, Decodificación Principal, Drivers y Reloj.
- Periféricos: formado por PIA'S y sus correspondientes Drivers, CTC's, ACIA y sus Drivers, Decodificación de Periféricos, Sistema de Interrupciones, Conversores A/D , Lógica VPA y la parte correspondiente a comunicaciones.
- Control de pantalla: formada por Memorias Ram para la parte de Video, Conversores D/A y el Controlador de Video.

#### DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROTOTIPO



### REGISTROS DE POTENCIALES EVOCADOS

Se muestran en las Figuras de las páginas siguientes unos ejemplos de los PE que se pueden tomar con el prototipo, y su uso en una simulación de Monitoreo (el Monitoreo se ha probado solamente en simulaciones, no se ha realizado aún con pacientes; esa fase del proyecto se comenzará este año). La Figura SEÑAL REAL es el último Promedio que entró a un banco de 6, logrados con el Prototipo desde un paciente real; este último Promedio se va a filtrar de la manera explicada anteriormente. La Figura ESPECTRO DE FOURIER DE PROMEDIO corresponde a uno de los varios cálculos intermedios para estimar el FWAP. La Figura ESPECTRO DEL FILTRO es el FWAP estimado con el banco de 6 Promedios ya mencionado. La Figura SEÑAL REAL DE PROMEDIO FILTRADO corresponde a la SEÑAL REAL de la primera Figura, pero ahora filtrada por el FWAP. Las unidades de las escalas verticales son arbitrarias.

### CONCLUSIONES

Se realizó un Prototipo Autocontenido de Adquisición de PE diversos, que se comunica con un microcomputador adicionalmente para hacer la Adquisición y el posterior Tratamiento de Señal desde dicho microcomputador, o bien para uso en Monitoreo continuo, logrando filtrar adecuadamente la señal con pocas estimulaciones.

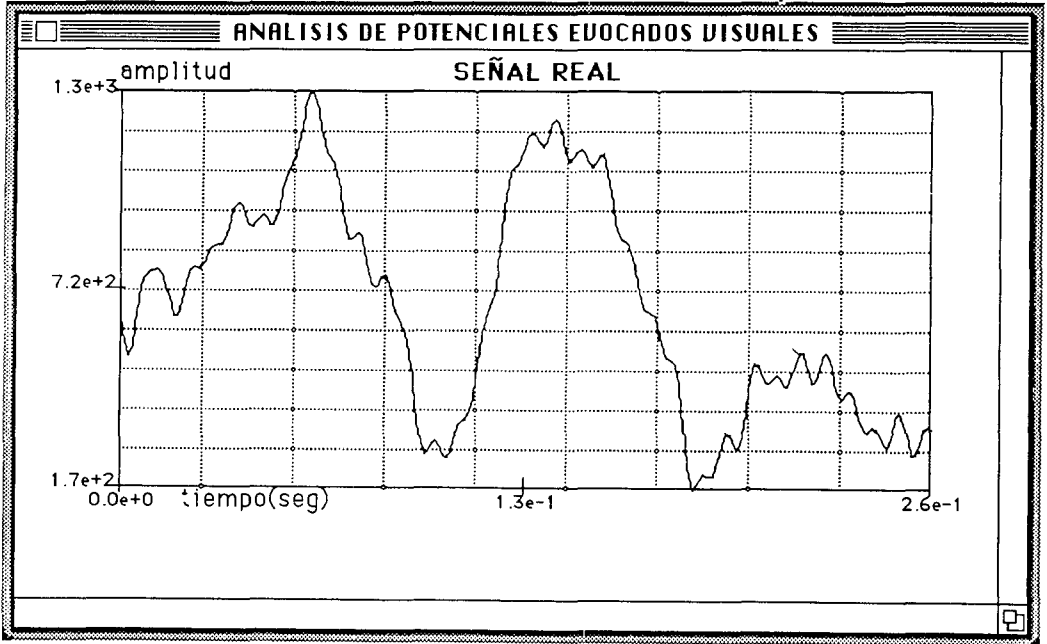
### AGRADECIMIENTOS

Este Proyecto se realizó con la cofinanciación del "Fondo Colombiano para la Investigación Científica y Proyectos Especiales 'Francisco José de Caldas' - COLCIENCIAS" y la Universidad de los Andes, dentro del "Programa de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Biomédica", del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería - CIFI - COLCIENCIAS - Proyecto No. 1204-08-055-85; se agradece la colaboración de O. Bertrand, de la Unidad 280 del "Instituto de la Salud y la Investigación Médica de Francia - INSERM", en Lyon, así como del director de la Unidad, M. J. Pernier. Se agradece igualmente a los estudiantes que colaboraron con tan buen ánimo, en especial a Fernando Casas, Francisco Collavini, Alejandro Espel y Carlos Ramírez.

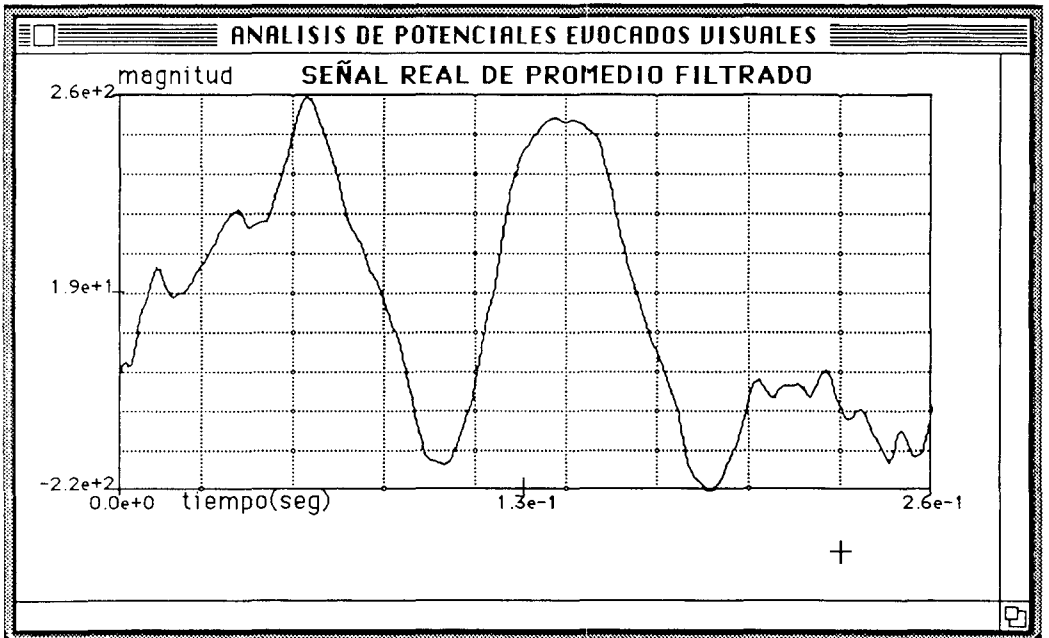
### REFERENCIAS

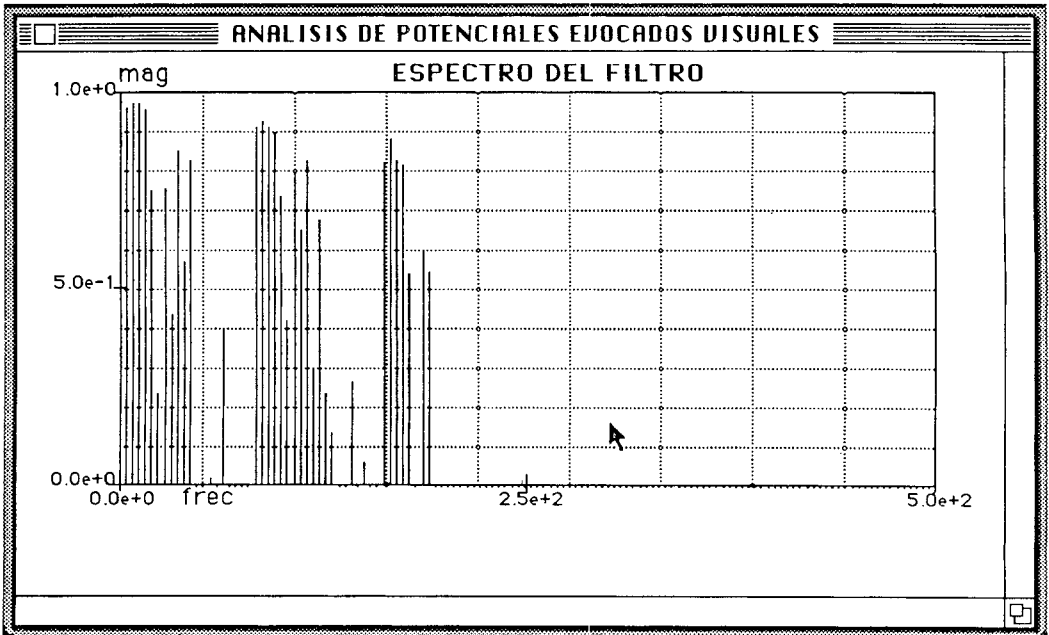
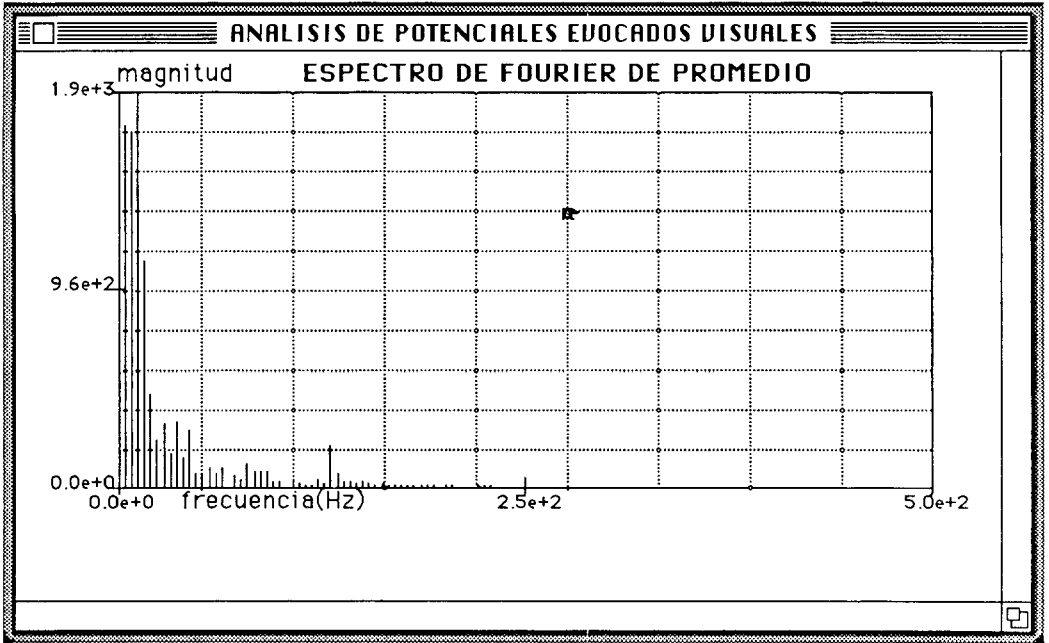
- AUNON, J., MCGUILLEM, C., CHILDERS, D., (1981) - Signal Processing in Evoked Potential Research; CRC Critical Reviews in Bioengineering.
- BERTRAND, O., (1985) - Systeme Automatisé d'Enregistrement Séquentiel des Potentiels Evoqués Auditifs Précoces, Adapté a la Surveillance des Malades Comateux; These Présentée devant L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon - Décembre, 1985.
- CERUTTI, S., VERSANI, V., CARRARA, A., LIBERATI, D., (1987) - "Analysis of Visual Evoked Po-tentials trough Wiener Filtering applied to a small Number of Sweeps"; Journal of Biomedical Engineering, Volume 9, Number 1, 1987
- TZANAKU, E., O'MALLEY, K., (1985) - "Harmonic Content of Patterns and their Correlations to VEP Waveforms"; Proceedings of the 7th Annual Conference of the IEEE, Chicago 27 - 30 September, 1985
- YU, K., MCGUILLEM, C., (1983) - "Optimum Filters for Estimating Evoked Potential Waveforms" ; IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Volume BME-30, Number 11, November, 1983

Acabar Experimento Proceso de Señal Utilidades



Acabar Experimento Proceso de Señal Utilidades





## **EVOKED POTENTIALS ACQUISITION AND PROCESSING PROTOTYPE FOR CRITICAL PATIENT MONITORING**

**K. MEIER, J. BOHORQUEZ, A. GAUTHIER, G. CAVELIER**

Dept. Ingenieria Electrica -Univ. de los Andes  
AA 4976 Bogota - COLOMBIA

**ABSTRACT** -- This project is aimed in the long term to the development of a monitoring system for the functional activity of the brain during coma. Initially, a laboratory prototype for evoked potentials acquisition has been made, and appropriate signal processing software has been developed for monitoring. The project is carried out jointly with the Unity 280 of the French Health and Medical Research Institute (INSERM) directed by M. Jacques PERNIER, in Lyon. It is realized simultaneously in Lyon and Bogotá, with interchange of researchers.

**Key-words:** evoked potential, brain, monitoring