

# Equipo biomédico con telemetría diseñado para las áreas rurales

David-Arturo Gutiérrez-Begovich  
Raúl Ruiz-Meza

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI),  
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME),  
Instituto Politécnico Nacional (IPN).  
Unidad Profesional Adolfo López Mateos, México, DF.  
MÉXICO.

email: davidbegovich@yahoo.com  
rarumerrm@hotmail.com

Recibido el 4 de noviembre de 2005; aceptado el 8 de junio de 2006.

## 1. Resumen

Se presenta un sistema que registra señales electrocardiográficas, las guarda en archivos y las transmite entre teléfonos celulares. La finalidad de la comunicación vía celular es poder brindar servicios de telemedicina en las áreas rurales sin depender de cables y de forma económica.

Una cualidad de un sistema biomédico con telemetría es que los médicos especialistas no tienen que viajar para dar un diagnóstico, es decir, es un sistema que puede ser operado por técnicos y los resultados ser enviados al hospital más cercano donde el especialista decide si el paciente requiere de estudios más avanzados o incluso de su intervención.

Para el registro de la señal se diseñó un canal electrocardiográfico de monitoreo tradicional y se digitalizó para desplegar la información cardíaca en una PC, misma donde se almacena la información.

Como protección al paciente, los circuitos que tienen contacto con él son alimentados por una fuente aislada de la línea de alimentación. El resto de la instrumentación es alimentada por una fuente de alimentación tradicional. El circuito es separado por un seguidor de voltaje aislado.

Para la transmisión, la información se codifica y modula en DTMF para utilizar el canal de audio de los teléfonos.

**Palabras clave:** biomédico, rural, electrocardiógrafo, telemetría, celular, DTMF.

## 2. Abstract (Biomedical Equipment with Telemetry Designed to Rural Areas)

This paper presents a methodology that permits to make electrocardiographics registers with telemetry. The reason of the telemetry is to bring a telemedicine services in rural areas. The form to transmit the information is using cellular phones. First the electrocardiographic register is taken, then, it is saved in a digital file and then the operator transmits the graphic with the cellular phone.

With this system the cardiologists do not need to travel to the rural areas, the system can be operated by technicians that transmit the information to the nearest hospital where the specialist decides if the patient needs to go to the hospital or inclusive be intervened by him.

It was designed a traditional electrocardiograph to register the signal, which is digitalized and saved in a PC.

The patient's protection was implemented with an isolated voltage source and using an isolated amplifier, the rest of the instrumentation uses a normal voltage source.

The form to join the digitalized information to the phone is using DTMF modulation.

**Key words:** biomedical, rural, electrocardiograph, telemetry, celular, DTFM.

## 3. Introducción

Definitivamente las zonas rurales no tienen la posibilidad de acceder a nuevas tecnologías para satisfacer necesidades primarias como es el caso de la instrumentación médica. De hecho en la mayoría de los casos la gente tiene que recorrer muchos kilómetros para poder llegar a un hospital. Lo anterior ha dado motivo para investigar a nivel mundial la utilización de la telefonía móvil como una alternativa para transmitir señales biológicas [1, 2], aunque ya existen en el mercado equipos que permiten transmitir vía telefónica fija o móvil señales ECG [3]; por ejemplo el equipo Phillips Viapac y Outpac.

El objetivo de este proyecto es hacerles llegar de forma muy económica instrumentos médicos que puedan ser operados por técnicos y los resultados de las mediciones ser enviados a los hospitales para que la gente ya no tenga que emplear el tiempo para asistir a ellos sino sólo cuando sea realmente necesario, con esto se ahorrarían muchos recursos.

El instrumento médico elegido es el electrocardiógrafo [4], puesto que es uno de los más indispensables, además, hay personas que deben asistir frecuentemente a los hospitales para que se les tome una muestra electrocardiográfica.

El medio telemétrico seleccionado es el teléfono celular [5], ya que tiene la cualidad de transmitir y recibir información con alta calidad además de no depender de una línea telefónica fija, es decir, puede transmitir información en cualquier parte que cuente con células telefónicas.

El sistema propuesto quedó a nivel de prototipo de laboratorio, en el desarrollo de este artículo se describe cómo el sistema es lo suficientemente económico y la conveniencia de ser industrializado para cubrir esta necesidad.

Diferentes publicaciones han mostrado que existen normas que no prohíben la utilización de equipos de comunicaciones móviles junto con equipos de registro biomédico, así como la importancia de considerar la seguridad del paciente [6, 7].

## 4. Desarrollo

### 4.1 Sistema de medición

La instrumentación para el electrocardiógrafo diseñado en este proyecto se muestra en la figura 1 y como se puede observar, está compuesto por un amplificador de instrumentación [8], filtros analógicos de tipo: pasa bajos a 150 Hz con una pendiente de  $-60$  dB/década, uno de tipo muesca a 60 Hz y uno a 120 Hz con un ancho de banda de 8 Hz cada uno y un pasa altas con una frecuencia de corte de 0.1 Hz. Con estas características en los filtros, se eliminan las señales que podrían producir ruido en el sistema, como la de la línea de alimentación de A. C. de 60 Hz, la de 120 Hz correspondiente a la rectificación de onda completa de la señal de la línea y toda la radiación electromagnética producida por las emisoras de radio y televisión así como la señal que emite el teléfono celular empleado en este proyecto, también es eliminado el nivel de basal formado por los movimientos del paciente y por los contactos electrodo-piel.

Después, en la salida de los filtros se colocó un circuito que ajusta el nivel de la señal en C. D. y otro que ajusta la ganancia

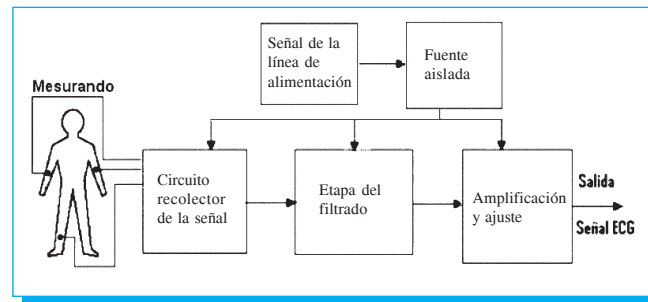


Fig. 1. Diagrama de bloques de la instrumentación.

en voltaje. La conexión entre el paciente y el instrumento se lleva a cabo con electrodos de monitoreo con soporte de micropore y gel sólido. Para proteger al paciente de una posible falla, se utilizó el circuito conocido como "circuito de la pierna derecha" [9], además los circuitos a los que él está conectado son alimentados con una fuente aislada, los demás circuitos son alimentados con una fuente de alimentación normal. Cabe mencionar que para separar los circuitos aislados de los no aislados se empleó un seguidor de voltaje aislado.

En la parte de digitalización de la señal se empleó un DAC08, el cual se conectó por medio de un *buffer* al puerto paralelo de una PC (la cual es el medio de graficación y almacenamiento de los datos correspondientes a la señal ECG).

A través de un LM555 se diseñó un circuito oscilador con frecuencia ajustable para indicarle a la PC (también por el puerto paralelo) cada cuando debe tomar la muestra de dichos datos, la finalidad del oscilador es sincronizar la señal electrocardiográfica en cualquier PC a la que se conecte el circuito.

El programa fue elaborado con el lenguaje C [10] y para su ejecución sólo se necesita tener el archivo ejecutable y la carpeta de archivos llamada BGI que está incluida en Borland C para MS-DOS, así como un disquete de 3.5" para almacenar en ellos la información.

### 4.2. Método de transmisión

Debido a que el servicio propuesto es en áreas rurales a nivel de centros de salud del sector público, se propone la telefonía móvil para llevar a cabo la transmisión.

Se observa en la figura 2 que el teléfono celular es el medio para transmitir la información cardiaca de los pacientes y se concluyó que la forma más económica para transmitirla es por la entrada de manos libres que el mismo presenta.

El ancho de banda para el canal de audio es pequeño, el muestreo lo hace a menos de 8 kHz, desde este punto se ve que se está cambiando precio por velocidad de transmisión; utilizando el teorema de Nyquist [11] se sabe que idealmente la frecuencia máxima de la información sería abajo de 4 kHz, pero realmente con el muestreo de 8 kHz se puede registrar en buena medida el ancho de banda de la voz que en telefonía se considera de los 300 Hz a los 3 kHz.

Como la entrada de manos libres de los teléfonos celulares está diseñada para audio, se decidió enviar la información a través de tonos y para evitar que hubiera confusión entre ellos se ocuparon tonos DTMF [12] (*Dual Tone Multi-Frequency*).

El integrado empleado para generar los tonos es el TP5089, tiene 16 tonos permitidos lo que da la oportunidad de transmitir la información por *nibbles*. Con la finalidad de no hacer más lento el sistema, el envío de información se lleva a cabo en un solo sentido (a excepción del inicio de la transmisión), es decir, de donde se encuentra el paciente hacia el hospital.

El TP5089 necesita en sus terminales un código de 8 bits durante un tiempo menor de 27 ms para entregar la frecuencia deseada, pero se le da este tiempo porque es necesario para su decodificación. El programa en C encargado de graficar y almacenar los datos, también es responsable de sacar el código necesario al TP5089 para que genere la frecuencia correspondiente al *nibble*, pero el C no es muy preciso en la calibración de tiempo (debido a que éste varía entre computadoras), para evitar errores, se utilizó un microcontrolador PIC16F84A04 como temporizador, y éste es el que le indica a la PC cada cuando debe sacar el código al TP5089, además desactiva la terminal *Chip Select* del DAC08 para que se coloque en su estado de alta impedancia, también cambia el sentido de la dirección de flujo de datos del *buffer* (74HC245) ya que la PC en esta etapa no recibe datos (como en el caso del almacenamiento), otra función que cumple el microcontrolador es la de mantener desactivada la salida de audio del generador de tonos cuando no se ocupa; cabe aclarar que el inicio del trabajo del microcontrolador como temporizador se da cuando recibe la señal del teléfono celular receptor indicándole que ya debe empezar la transmisión.

La parte de acoplamiento entre el DTMF y el microcontrolador hacia la entrada de manos libres se logra ajustando los valores de tensión que le corresponden al manos libres por medio de amplificadores operacionales.

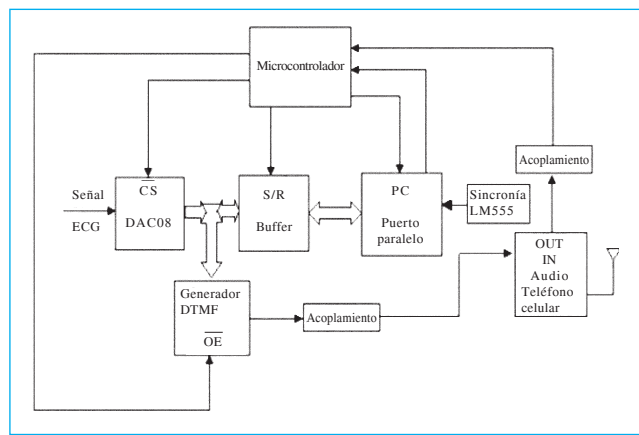


Fig. 2. Diagrama de bloques de la digitalización y transmisión.

#### 4.3. Método de recepción

El diagrama de bloques de la figura 3, muestra que en el receptor se utilizó otro celular, ya que se dejó abierta la posibilidad para unidades médicas móviles.

El receptor incluye un decodificador DTMF debido a que es la forma de codificación de datos por parte de la unidad transmisora. La matrícula del decodificador DTMF es IL9270 y tiene la característica de entregar en una de sus terminales un cambio de estado lógico cuando ya terminó de hacer la conversión.

Se utiliza para una buena sincronización entre transmisor y receptor otro microcontrolador PIC16F84A04, debido a que el tiempo máximo necesario para hacer la conversión DTMF es de 27 ms, eso quiere decir que en ocasiones el IL9270 termina de hacer la conversión más rápido y se lo indica al sistema, por lo tanto, sin el microcontrolador esto produciría duplicación de *nibbles* que finalmente se convertirían en datos erróneos. Dicho de otra forma, el microcontrolador le indica a la PC el momento en el que debe tomar el *nibble*. La conexión entre éstos es por medio de otro *buffer* de protección.

El lenguaje de programación utilizado en la PC receptora también es el C, y tiene las mismas características de graficación y almacenamiento que la unidad transmisora. Para indicar el inicio de la transmisión basta con que el usuario oprima cualquier tecla numérica del teléfono receptor.

Como se puede apreciar, el sistema receptor es pequeño, éste consiste en un teléfono celular, el acoplamiento de la salida

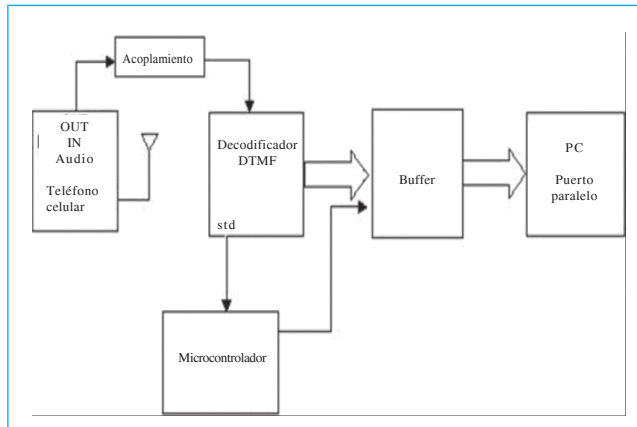


Fig. 3. Diagrama de bloques del sistema receptor.

de manos libres de nivel de tensión, un decodificador DTMF, un microcontrolador PIC16F84A04 y una PC.

#### 4.4. Características de las computadoras y los teléfonos celulares

El programa se elaboró en Borland C para MS-DOS con el propósito de no depender más que de este sistema operativo para la ejecución del programa.

Con esto se puede garantizar que las computadoras no tengan que ser recientes, es decir, puedan tener microprocesadores de baja velocidad, poca RAM, discos duros de poca capacidad, etc. Por ejemplo: una computadora con un microprocesador Intel 486DS a 100 MHz, 8 MB de memoria RAM, un disco duro de 100 MB, salida de puerto paralelo, monitor VGA, un teclado y un mouse son suficientes para satisfacer las necesidades del sistema.

En cambio, si se utilizara un lenguaje de programación visual, se necesitaría un sistema operativo más poderoso como Windows o Linux SUSE en versiones modernas y éstos demandarían computadoras con más recursos que los mencionados.

En México, conseguir estos equipos con las características mencionadas no es tan difícil, existen en las industrias, empresas y escuelas que, en la mayoría de los casos, éstos ya no están en uso y pueden ser donados o adquiridos a un precio bajo para aplicaciones de este tipo. En los países donde se consiguen computadoras con las características mencionadas, se abate el costo debido a que se evita utilizar un monitor de registro de señales biológicas como es el caso de un ECG comercial.

Otra ventaja es que se puede incrementar el uso de las computadoras mencionadas en otros equipos de instrumentación biomédica, que del mismo modo no demanden tantos recursos de cómputo y también gocen de telemetría. Alguno de éstos pueden ser: termómetros, medidores de frecuencia respiratoria, medidores de presión cardiaca, entre otros.

Cada computadora de las utilizadas en este proyecto tiene un microprocesador Intel Pentium MMX a 200 MHz, 32 MB de RAM, HDD de 1 GB, monitores VGA, unidad de disco de 3.5", unidad de CD ROM (que no es necesario para el proyecto), teclado, mouse y puerto paralelo.

Para el caso de los teléfonos celulares, es necesario que se mencione que de preferencia deben contar con transmisión digital ya que esto hace que sean menos propensos al ruido. También es necesario que tengan un puerto de manos libres. Si se piensa en cubrir sólo estas características, se asegura (de igual forma que en las computadoras) que el precio no sea muy elevado.

Los teléfonos utilizados son de marca Nokia, los modelos son 5120i y 6120i y por no ser tan modernos su precio es bajo y se considera que son un buen modelo para el proyecto, puesto que en las pruebas se utilizó también un Nokia 8260 (que tiene las mismas características que el 6120i, sólo que es más pequeño) y dio los mismos resultados, el inconveniente es su precio.

#### 4.5. Pruebas y resultados

Las pruebas se realizaron dentro de las instalaciones de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, las muestras electrocardiográficas fueron tomadas a personas del área. Los resultados fueron muy satisfactorios, la información equivalente a la curva electrocardiográfica llegó íntegra, el tiempo empleado en la transmisión corresponde con lo estimado (54 ms/Byte). En la figura 4 se muestran algunas de las formas de onda obtenidas.

La descripción del uso del sistema es muy simple y, como se mencionó, puede ser operado por un técnico, el orden de uso es el siguiente:

Se conecta al paciente al circuito por medio de los electrodos, se enciende la fuente de alimentación de los circuitos y se ejecuta el programa de la computadora, después se grafica la señal, y cuando está completamente estabilizada, entonces se le solicita al programa que almacene en un archivo la información electrocardiográfica.

Cuando es pertinente se coloca al programa en la etapa de transmisión de datos, se hace la llamada telefónica y cuando

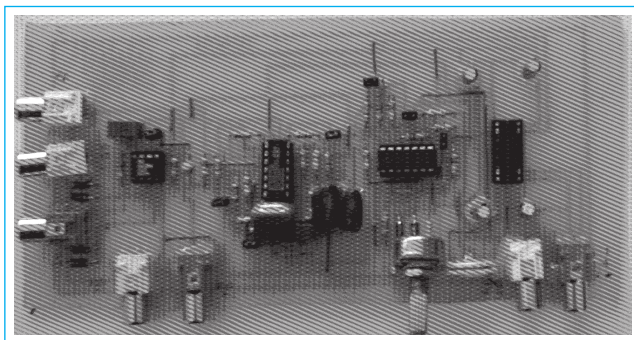




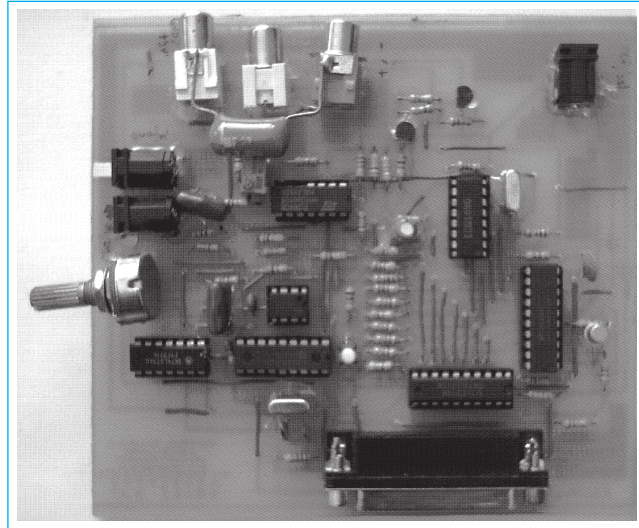
**Fig. 4.** Modelo de las señales guardadas y transmitidas.

se encuentran listas la parte receptora y la transmisora, la receptora da la orden de inicio de transmisión.

Una vez concluida la transmisión, la información también queda almacenada en un archivo del lado de la parte receptora y se puede manipular para análisis cuantas veces sea necesario. Las figuras 5, 6 y 7 muestran los circuitos elaborados.



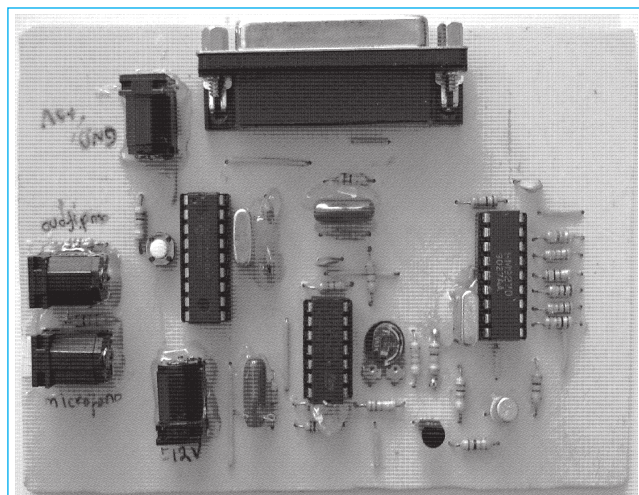
**Fig. 5.** Unidad recolectora de la señal ECG (sus dimensiones son: 19.5 cm de ancho por 9 cm de alto).



**Fig. 6.** Unidad de digitalización y transmisión (sus dimensiones son: 13.5 cm de ancho por 12.5 cm de alto).

## 5. Conclusiones

La telemedicina es un área con gran importancia dentro de las aplicaciones enfocadas a la transmisión de datos debido a su interacción con el bienestar humano. Los sistemas que proporcionan monitoreo de signos vitales y evalúan una posible emergencia, encuentran en la transmisión celular la confiabilidad y rapidez necesarias para que el médico pueda



**Fig. 7.** Unidad receptora (sus dimensiones son: 12.5 cm de ancho por 8.5 cm de alto).

tomar medidas preventivas o de emergencia basado en datos reales.

La transmisión de datos vía celular proporciona a los usuarios total movilidad y eficiencia en los procesos de transmisión de datos y control de sistemas; para el caso de este proyecto es posible reducir drásticamente el número de horas hombre y recursos requeridos en traslados.

Por los resultados mencionados sería conveniente que el prototipo de laboratorio lleve a cabo una labor de convencimiento con base en resultados para su industrialización; para ellos también se sugiere aumentar el número de canales del ECG.

Este proyecto cumple con las características mencionadas además de ser de bajo precio y permitir de esta manera que sea accesible para las regiones que menos posibilidades económicas tienen.

## 6. Referencias

- [1] Y. Chu, A. Ganz, «Mobile Telemedicine Systems Using 3G Gíreles Networks». Multimedia Networks Laboratory, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Massachussets. 2005.
- [2] M. A. Megía, A. Jiménez, A. H. Madrid y C. Moro. «Teléfonos móviles e interferencias con los desfibriladores automáticos implantables. Papel de de la enfermería en la educación sanitaria del paciente portador del dispositivo antiarrítmico». XXI Congreso Nacional de Enfermería en Cardiología. Madrid 2001.
- [3] A.Mampuya, «Telemedicine for the Heart» MEDICA-MUNDI 46/2, Phillips HeartCare Telemedicine Services Eindhoven, the Netherlands. August 2002.
- [4] C. del Águila, *Electromedicina*. 2a ed. Hasa nueva librería. 1994.
- [5] Tom Farley., Cellular Telephone Basics: AMPS & BEYOND. <http://www.privateline.com/Cellbasics/Cellbasics.htm> Septiembre 2002.
- [6] G. Avedaño-Cervantes, «Teoría y desarrollo del sistema transmisor receptor de radio frecuencia para telemetría aplicada a medicina laboral y deportiva». *Visiones Científicas*. vol. 4 UPLA Valparaíso. 2001.
- [7] V. Ramos, O. Moreno, J. García y J. L. Monteagudo. «Seguridad y protección electromagnética en telemetría clínica basada en redes inalámbricas». Área de investigación en Telemedicina y Sociedad de la Información. Instituto desalad Carlos III, Madrid. 2002.
- [8] R. F. Coughlin y F. F. Driscoll, *Amplificadores operacionales y circuito integrados lineales*. 5a ed., Prentice Hall. 1998.
- [9] Leonardo Badillo Malacara. *Sistema de almacenamiento en disco duro de larga duración para la señal EEG*. Tesis maestría 1998. CINVESTAV-IPN.
- [10] Peter Aitken and Bradley Jones, *Teach Yourself C in 21 Days*. Prentice Hall.1994.
- [11] B. P. Lathi, *Introducción a la teoría y sistemas de comunicación*. 1997. Limusa.
- [12] John Iovine. «DTMF IR Remote Control System». *Nuts & Volts*, vol. 15. No. 6, June 1995.
- [13] Ma. Teresa García-González. Aída Jiménez-González. Ma. de Rocío Ortiz-P., Miguel A. Peña Castillo. *Potenciales bioeléctricos: origen y registro*. UAM Iztapalapa. 1998.
- [14] Leslie Cromwell, Fred J Weibell, Erch A Pfeiffer, *Biomedical Instrumentation and measurements*. 2a ed. Prentice.
- [15] Soto Villegas Alfredo. *Clasificador de complejos QRS*. Tesis de maestría. Cinvestav Ingeniería Eléctrica. Opción Bioelectrónica. 1992.
- [16] John G. Webster, *Medical Instrumentation, Application and Design*. Second edition. Mifflin. 1992.

# Instituto Politécnico Nacional Centro de Investigación en Computación

**Magno Congreso Internacional de Computación CIC-IPN  
21-24 noviembre 2006**