

Sistema Multicontrolado para el Diseño de Un Oxímetro de Pulso

Temática: Aplicaciones en Comunicaciones y Aplicaciones Académicas

B. Gaspar Zamora¹, G. Rosello Moreno²

¹ Barcelona, España, benjamin_bwqz@yahoo.es, ² Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú, hrosello@mail.urp.edu.pe

Resumen:

En este proyecto se diseña un equipo médico de bajo costo con el uso de microcontroladores de la gama baja y alta de los microcontroladores PIC, una tarjeta OEM de adquisición de datos de Oximetría de Pulso para una primera fase del proyecto, una pantalla LCD gráfica de 128 x 64 píxeles, para visualizar los datos y una interfase de comunicación RS232; este equipo tendrá la capacidad de mostrar el valor de saturación de oxígeno en la sangre (SPO2), el ritmo cardiaco (HR), la señal y barra de intensidad de la señal plestimográfica, se contara con un menú de configuración y sus respectivas alarmas audibles, y por ultimo se tendrá un programa en la PC si se requiere realizar un seguimiento al paciente, con la posibilidad de almacenar todos los datos entregados por el equipo; se decide diseñar un equipo de Oximetría de Pulso por ser uno de los equipos mas requeridos en la anestesia clínica y en la unidad de cuidados intensivos (UCI) en los hospitales y clínicas del Perú.

Palabras claves: Oximetría de pulso, microcontroladores PIC, comunicación serial RS232, señal plestimográfica, LCD gráfico.

Sistema Multicontrolado para el Diseño de Un Oxímetro de Pulso

B. Gaspar Zamora¹, G. Rosello Moreno²

¹ Barcelona, España, gaspar_bwgz@yahoo.es, ² Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú
hrosello@mail.urp.edu.pe

Resumen

En este proyecto se diseña un equipo médico de bajo costo con el uso de microcontroladores de la gama baja y alta de los microcontroladores PIC, una tarjeta OEM de adquisición de datos de Oximetría de Pulso para una primera fase del proyecto, una pantalla LCD gráfica de 128 x 64 píxeles, para visualizar los datos y una interfase de comunicación RS232; este equipo tendrá la capacidad de mostrar el valor de saturación de oxígeno en la sangre (SPO₂), el ritmo cardiaco (HR), la señal y barra de intensidad de la señal plestimográfica, se contará con un menú de configuración y sus respectivas alarmas audibles, y por último se tendrá un programa en la PC si se desea hacer un seguimiento al paciente, con la posibilidad de almacenar todos los datos entregados por el equipo; se decide diseñar un equipo de Oximetría de Pulso por ser uno de los equipos más requeridos en la anestesia clínica y en la unidad de cuidados intensivos (UCI) en los hospitales y clínicas del Perú.

1. Introducción

La falta de un equipamiento médico adecuado en los hospitales de salud del sector público y además el sector privado tampoco se escapa a esta realidad, esto se debe a los altos costos que tiene la actualización del equipamiento médico en nuestro país (Perú), ó mejor dicho en este lado del continente, ya que esta realidad es similar en los países vecinos de Latinoamérica; no es muy difícil encontrar un hospital en nuestra capital en donde se tengan más pacientes en una sala de emergencia ó de cuidados intensivos para ser observados (equipos de monitoreo) que los equipos para realizar este trabajo, la demanda es mayor que la oferta en este caso, pero también tenemos el caso en que un Centro de Salud carece de este tipo de equipos, porque su presupuesto es muy limitado.

En tal situación este proyecto se diseña un equipo médico de Oximetría de Pulso [1], que permita observar con gran confiabilidad y exactitud el pulso arterial, mostrando tanto su frecuencia cardiaca en ppm, así también mostrar la saturación de oxígeno y la señal plestimográfica.

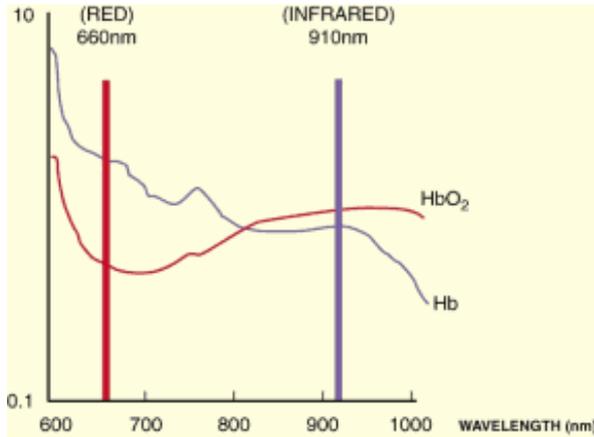
Para alcanzar este objetivo y en una primera fase de este proyecto se utiliza una tarjeta OEM de adquisición de la firma Nonin [3], una de la más prestigiosa marca de oximetría de pulso a nivel mundial. Esta tarjeta mediante un sensor de preferencia genérico (para disminuir costos) podrá capturar las señales proveniente del cuerpo humano en forma no invasiva, esto debido a que utiliza Sensores ópticos, mediante

los principios de absorción de luz y la ley de Lambert-Beer [2] se obtiene los valores de Frecuencia Cardiaca, Saturación de Oxígeno en la sangre y la Señal Plestimográfica.

Cabe indicar que existen numerosas marcas en el mundo que en base a la tecnología OEM de otros fabricantes realizan equipos los cuales son adquiridos como equipos originales, este trabajo pretende incorporar en nuestra sociedad productos comerciales de bajo costo con la posibilidad de ser integrados con otros sistemas electrónicos, con lo que estos Equipos se hacen accesibles a la mayoría de los sanatorios y hospitales del país y de Latinoamérica. En este informe se presentan el primer prototipo de prueba recientemente desarrollado.

1.1. Como Funcionan los Monitores de Oximetría de Pulso

La hemoglobina oxigenada (HbO₂) y la hemoglobina desoxigenada (Hb) absorben y transmiten determinadas longitudes de onda del espectro luminoso para la tarjeta OEM en este caso: se tiene para la luz roja, a 660 nm, y para la luz infrarroja, a 910 nm. La física de la oximetría de pulso se ha basado en la ley de Lambert Beer, en la que intervienen el coeficiente de extinción, la concentración y la longitud de la vía óptica. Ello se expone en la Figura 1a y 1b, [11], [12], que muestra la relación entre el coeficiente de extinción y la longitud de onda en nanómetros (nm), con detección de la luz roja e infrarroja a 660 y 910 nm, respectivamente.



Ley de Beer-Lambert:
 $I_{roja,ir} = I_{oe}^{-\epsilon cx}$
 ϵ = Coeficiente de extinción
 c = Concentración
 x = Longitud de la vía óptica

Figura 1. Relación entre el coeficiente de extinción y longitud de onda, en nanómetros (nm)

El sensor del oxímetro de pulso consiste en dos diodos emisores de luz, uno para la luz roja y otro para la infrarroja, y un fotodiodo detector. Para mejorar el rendimiento, los diodos emisores y el detector deben colocarse en puntos opuestos de un lugar perfundido que sea translúcido. El fotodiodo mide tres niveles lumínicos diferentes: la luz roja, la luz infrarroja y también la luz ambiente (Ver Figura 2, [12]).



Figura 2. Posición de los Emisores y el Receptor

El OEM de oximetría de pulso transmite luz roja e infrarroja a través de tejido perfundido y detecta las señales fluctuantes causadas por los pulsos de la presión arterial. La sangre bien oxigenada es de color rojo vivo, mientras que la sangre con oxigenación deficiente es de color rojo oscuro. El pulsioxímetro determina la saturación de oxígeno funcional de la hemoglobina arterial a partir de esta diferencia de color, midiendo la proporción de la luz roja e infrarroja absorbida durante las fluctuaciones del volumen sanguíneo con cada latido cardíaco. Ya que las condiciones estacionarias (flujo sanguíneo venoso estacionario, el espesor de la piel, los huesos, las uñas, etc.) no provocan

fluctuaciones, tampoco afectan las mediciones de saturación (Ver Figura 3, [12]).

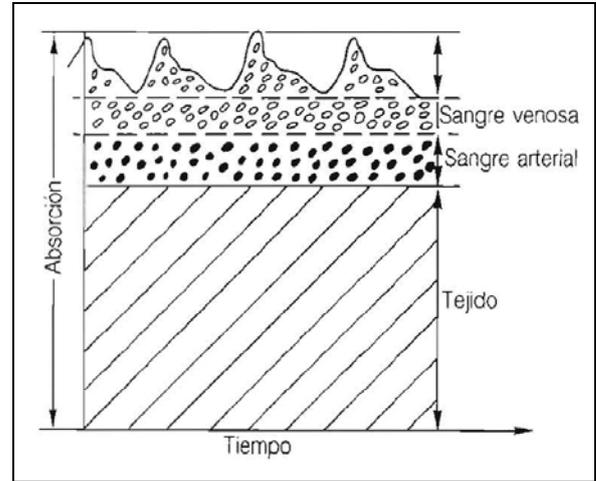


Figura 3. Absorción de la luz transmitida a través de los tejidos. (Copyright BOC 1986.)

Sin embargo, el pulsioxímetro no podrá proporcionar un valor si se transmite poca luz ó si el pulso es insuficiente. Los pulsioxímetros utilizan luz de dos colores diferentes y, por lo tanto, tienen la capacidad de determinar un componente de la sangre. El OEM está calibrado para determinar con gran aproximación los valores de saturación del oxígeno funcional. Los valores de saturación de oxígeno obtenidos con la OEM se aproximarán mucho a los valores de saturación fraccional obtenidos por co-oximetría, si los niveles de saturación de hemoglobina disfuncional son insignificantes. A efectos prácticos, el pulsioxímetro pasa por alto la carboxihemoglobina [11] (monóxido de carbono). La presencia de niveles excesivamente elevados de metahemoglobina [11] sesga las lecturas hacia el 85% (Ver Figura 4, [11]).

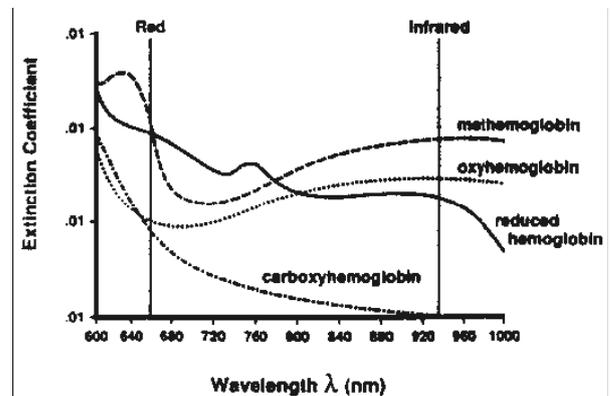


Figura 4. Los coeficientes de extinción de las cuatro especies de hemoglobina en los rangos de longitud de onda del rojo y del infra-rojo

Para obtener lecturas fidedignas de SpO2 y frecuencia del pulso, la OEM emplea numerosos algoritmos digitales de filtrado y toma de decisiones. Estos algoritmos distinguen entre la señal del pulso y los artefactos, movimientos e interferencias. El filtrado inicial elimina la mayor parte de las interferencias; luego de esto se examina cada posible pulso para determinar si es válido o si está viciado. Ya que los algoritmos de e la OEM se aplican individualmente a cada pulso, el pulsioxímetro puede ofrecer lecturas válidas incluso en presencia de arritmias. Como sucede con cualquier pulsioxímetro, existe un nivel de interferencias ó movimientos que puede deteriorar el rendimiento. Este deterioro podría manifestarse por la ralentización de los tiempos de respuesta, la pérdida de exactitud o la ausencia de lecturas.

2. Objetivos

El Objetivo General de este trabajo es el diseñar un equipo médico multicontrolado que pueda visualizar en un LCD gráfico los datos de SPO2, HR, y la señal plestimográfica, además de contar con un menú de configuración, y un controlador independiente para las alarmas de audio.

Estos valores a mostrar deberán estar dentro de un margen de error compatible con los límites de calidad establecidos y un bajo costo de diseño.

- Contar con una Tarjeta OEM de Adquisición de datos de Oximetría de Pulso, y un sensor de oximetría de pulso.
- Tener que conocer el protocolo que utiliza dicha tarjeta de adquisición de datos.
- Tener que integrar un nuevo circuito entre la tarjeta de adquisición y los periféricos de visualización de datos y comunicación hacia la PC.
- Tener que diseñar el algoritmo de programación para manejar el LCD gráfico que permitirá la visualización de los datos que entrega la tarjeta de adquisición.
- Tener que realizar pruebas de funcionamiento del equipo desarrollado.
- Tener que diseñar un programa en PC de seguimiento de paciente, para almacenar los datos y visualizarlos cuando sea necesario su análisis.
- Tener que calibrar el equipo, para contar con márgenes de error mínimos.

3. Desarrollo del Trabajo

El proyecto se divide en las siguientes etapas:

3.1. Etapa N°1: Protocolo de Comunicación

Según las especificaciones de la tarjeta OEM, [3] se tiene 3 tipos de formato serial, los cuales cuentan con una misma característica de transmisión serial como se muestra en la Tabla 1, [3]:

Formato Serial	CONEXIÓN J1-9
# 1	0 – 626 Ohms
# 2	> 297Kohms
# 7	4.3 Kohms ± 5%

Tabla 1.

El formato de la comunicación es el siguiente:

Velocidad de Transmisión : 9600 Baudios

Bits de Datos : 8

Paridad : No

Bits Parada : 1

Control de Flujo : No

Ya obtenidas estas dos primeras especificaciones pasamos a analizar el formato que se trabajara con esta tarjeta de adquisición.

Formato #2:

Un paquete esta formado por 25 tramas de 5 bytes cada uno; y por cada segundo se envían tres paquetes [3].

	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5
1	01	STATUS	PLETH	HR MSB	CHK
2	01	STATUS	PLETH	HR LSB	CHK
3	01	STATUS	PLETH	SpO2	CHK
4	01	STATUS	PLETH	REV	CHK
...
23	01	STATUS	PLETH	E-HR-D LSB	CHK
24	01	STATUS	PLETH	reserved	CHK
25	01	STATUS	PLETH	reserved	CHK

Para tomar los datos de SPO2 y HR, se utilizaron las tres primeras tramas [3].

Para realizar la gráfica plestimográfica, se tomo el tercer byte de las 25 tramas.

El status es el que muestra las alarmas como se muestra de la siguiente Tabla 2:

STATUS BYTE 2							
BIT7	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0
1	SNSD	ARTF	OOT	SNSA	YPRF RPRF GPRF		SYNC

Tabla 2.

NOTA: BIT 7 SIEMPRE 1

Al encontrarnos con un valor alto ó 1 Lógico se activan las señales correspondientes:

Cuando no exista datos de SPO2 y HR, el sistema enviara como indicador datos de HR = 511 y SPO2 = 217.

3.2. Etapa N°2: Diagrama de Bloques del Hardware del Equipo

El diagrama de bloques esta integrado por las siguientes partes, las cuales son:

- El Sensor: es el que captura las señales del ser humano, por medio del principio de Lambert Beer [6], a través de la absorción de luz, siendo en este caso un sensor genérico tipo "8000AP-3, Sensor de dedo, tipo pinza, pediátrico (3 metros)", (Ver Figura 7).
- Interfase Controladora PIC18F458: es la que se encarga de interpretar los datos enviados bajo un protocolo para luego distribuir los datos a la interfase controladora del LCD gráfico y a la PC, en la figura 5 se presenta el flujograma del programa del microcontrolador.

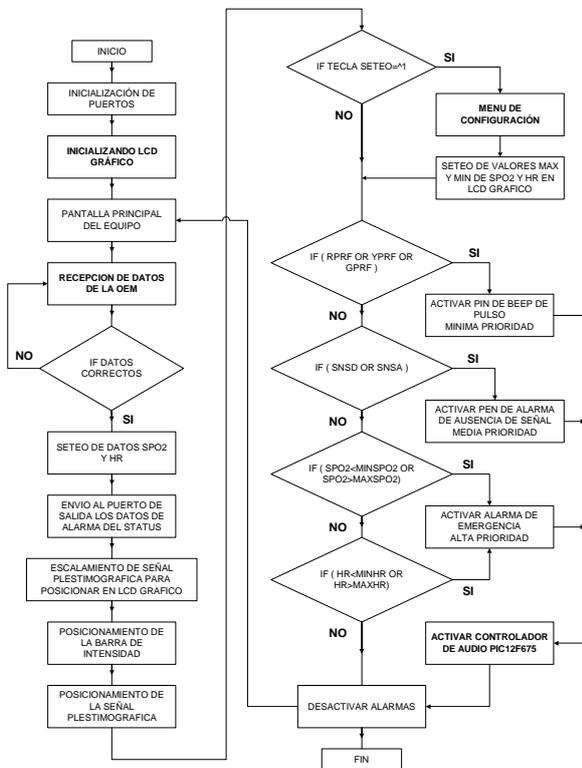


Figura 5. Flujograma del Microcontrolador PIC18F458

- Sistema de Audio con PIC12F675: encargada de realizar la emisión de los audios de alarmas de emergencia, aviso y beep de pulso, en la figura 6 se presenta el flujograma del programa del microcontrolador.
- Tarjeta OEM: es la que se encarga de procesar la señal obtenida por el sensor, y luego nos entrega los datos por medio de una comunicación serial, bajo un protocolo (Ver figura 7).

- Interfase Controladora de LCD Grafico: es la encargada de mostrar los datos que se le entrega en la pantalla gráfica, previamente una presentación adecuada (Ver Figura 7).
- Comunicación Serial y Software en PC: es la encargada de enviar los datos serial y en la PC se recibe la información para visualizarla y almacenarla; mediante un software realizado en Visual Basic 6.0, (Ver Figura 7)

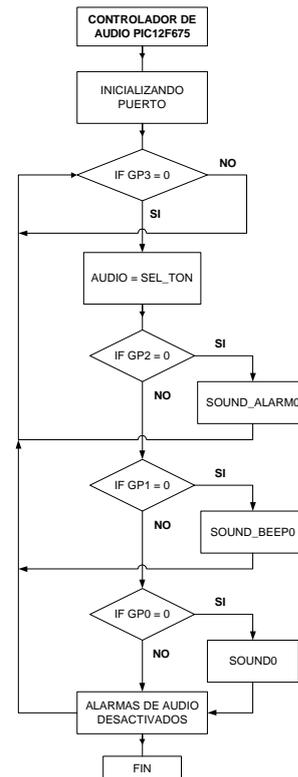


Figura 6. Flujograma del Microcontrolador PIC12F675

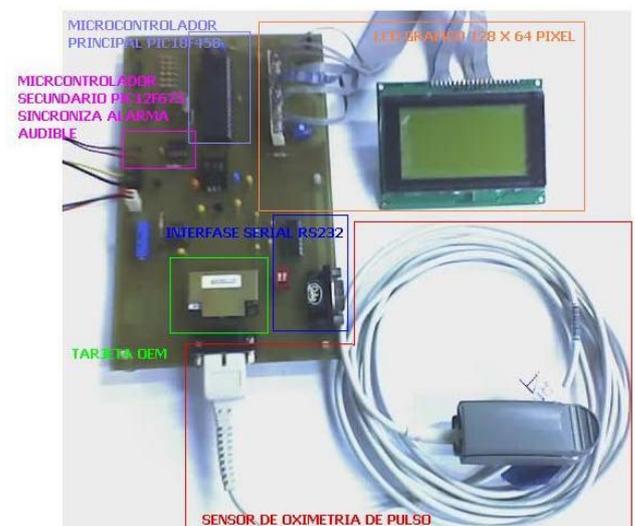


Figura 7. Diseño PCB del Equipo Médico de Oximetría de Pulso

3.3. Etapa N°3: Programa de Seguimiento de Paciente en PC

El software desarrollado tiene la capacidad de poder mostrar en tiempo real los datos que recibe de la tarjeta OEM, los cuales son: gráfica plestimográfica, valores de HR y SPO2, y alarmas que se envía en el STATUS. Al mismo tiempo se encontrara almacenando en una base de datos, para posteriormente poder ser mostrados los datos y gráfica, además de poder modificar los valores máximos y mínimos de SPO2 y HR, el cual al pasar estos valores por encima ó por debajo respectivamente se activa una alarma la cual advierte del estado del paciente, además de mostrar la hora y fecha como se ve en la Figura 8.

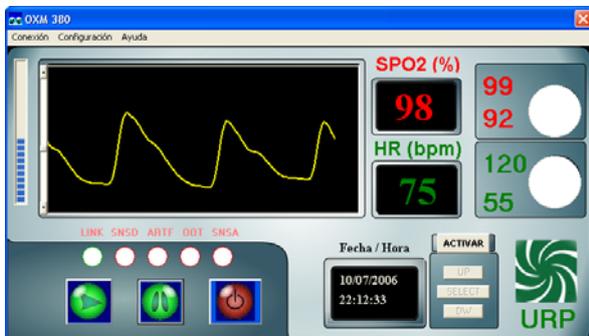


Figura 8. Presentación del Programa en PC

En la figura 9 se presenta el diagrama de bloques del sistema de pulsioximetría completo.

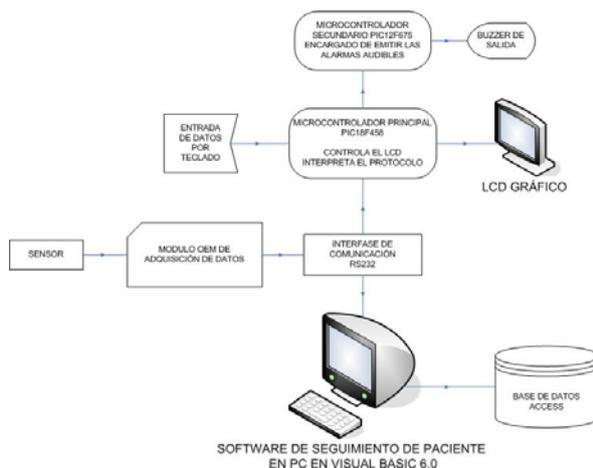


Figura 9. Diagrama de Bloques del Sistema

En la figura 10 se presenta la carcasa final del oxímetro de pulso en 3D.



Figura 10. Diseño de la Caja del Equipo de Oximetría de Pulso en 3D

4. Resultados

Se desarrollo un equipo medico de Oximetría de Pulso, con las siguientes características:

- Se tiene un equipo desarrollado de menor costo, con respecto al mercado internacional.
- Contar con una interfase de control del LCD gráfico.
- Se tiene un menú de configuración del equipo de seteo de valores mínimos y máximos de SPO2 y HR, así como la habilitación del backlight del LCD, y el tipo de audio para las alarmas.
- Desarrollo de algunos algoritmos para poder emitir sonido en los picos de la gráfica plestimográfica.
- Cuenta con alarmas audibles de taquicardia y bradicardia, así también como alarmas de baja y alta señal de saturación de oxígeno.
- Se gráfica la forma de la onda plestimográfica, barra de intensidad en el LCD gráfico de 180x64 píxeles.
- Se tiene comunicación por medio del puerto Serial RS232 entre tarjeta OEM, microcontrolador principal y PC.
- Desarrollo del software de monitoreo, diseñado en Visual Basic 6.0
- Almacenamiento de la información en una base de datos Access.
- Muestra la fecha y hora cuando se monitorea los signos vitales.

5. Conclusiones

La utilización del LCD gráfico hace posible que el equipo pueda ser portátil, por que en este tipo de pantalla se puede visualizar datos, gráficas y demás, puesto que ya no se trabaja en bloques de píxel determinados como es usual en un LCD alfanumérico, sino con puntos de píxel donde uno puede crear su propia interfase gráfica; y además agregar que la utilización en conjunto de 2 microcontroladores, uno como maestro y otro como esclavo, hace posible priorizar determinados procesos y dejar que el microcontrolador secundario realice procesos específicos que en muchos casos vuelve lento al proceso y puede existir perdidas de información, sino se trabaja por separado.

Referencias

- [1] Barea Navarro R., "Instrumentación Biomédica". Universidad de Alcalá, Departamento de Electrónica, 1994.
- [2] Del Águila C., "Electromedicina", Editorial HASA-Nueva Librería, 2da Ed. 1994.
- [3] Pagina web de la empresa NONIN, hoja de datos de la OEM, <http://www.nonin.com> (Consultada: Junio del 2005)
- [4] Data Sheet PIC18F458 and PIC12F675.
- [5] Data Sheet MAX232
- [6] Sensores de Oximetría para uso en equipamiento médico <http://www.biogenesis.com.uy/texoxim.htm> (Consultada: Junio 2005)
- [7] Revista Cubana de Medicina Intensiva y Emergencias http://www.bvs.sld.cu/revistas/mie/vol2_2_03/mie05104.htm (Consultada: Enero 2006)
- [8] Instituto de Microelectrónica de Madrid Departamento de Dispositivos, Sensores y Biosensores; Oximetría de Pulso Basada en Diodos Láser, <http://www.imm.cnm.csic.es/sensores/sen-oxi.htm> (Consultada: Enero 2006)
- [9] Programa de Actualización Continua En para Anestesiólogos; Instrumentación y Equipos en Anestesia, <http://www.drscope.com/privados/pac/anestesia/a1/index.html>
- [10] Oximetría de pulso en la asistencia neonatal en 2005. Revisión de los conocimientos actuales; A Solaa L Chowa M Rogidoa; aDivision of Neonatal Perinatal Medicine. Emory University. Atlanta. Estados Unidos. An Pediatr (Barc) 2005; 62: 266 – 281 11
- [11] Dr. Victor Hanna Ruz, Oximetría de Pulso Per-Operatoria, Servicio de Anestesiología, Hospital de Urgencia Asistencia Pública 14
- [12] Historia de la oximetría de pulso; <http://www.oximeter.org/> 15