

Medida de la Saturación de Oxígeno por Medio Optico

Manuel Laborde *mlo@adinet.com.uy*

XIII Seminario de Ingeniería Biomédica
Facultades de Medicina e Ingeniería
Universidad de la República Oriental del Uruguay
Montevideo, Uruguay
Junio 2004

Abstract—este artículo pretende mostrar que es la saturación de oxígeno, que información representa para la realización de un diagnóstico médico, el principio de funcionamiento de los sensores no invasivos por medios ópticos, y su uso en los centros de tratamiento intensivo (CTI).

Index Terms—saturometría, saturación de oxígeno, presión parcial, sensor, arteria, hemoglobina, led, fotodiodo, fototransistor, CTI.

I. INTRODUCCIÓN

Es importante tanto en el tratamiento por oxigenoterapia como en la evaluación de los signos vitales de un paciente, determinar la calidad de la función respiratoria y el transporte del oxígeno en sangre hacia los tejidos.

Un parámetro que se utiliza en este sentido es la saturación de oxígeno, quien expresa la cantidad oxígeno que se combina, en el sentido químico, con la hemoglobina para formar la oxihemoglobina, que es quien transporta el oxígeno en sangre hacia los tejidos. Al medir la saturación de oxígeno estamos midiendo la cantidad de oxígeno que se encuentra combinado con la hemoglobina, es por eso que esta medida es una medida relativa y no absoluta ya que no indica la cantidad de oxígeno en sangre que llega a los tejidos, sino, que relación hay entre la cantidad de hemoglobina presente y la cantidad de hemoglobina combinada con oxígeno (oxihemoglobina).

Este parámetro se puede, y usualmente se hace, sensar opticamente, dado que la cantidad de oxihemoglobina esta relacionada con la coloracion roja de la sangre, siendo esta más fuerte cuanto más oxihemoglobina contiene la sangre y mas tenue cuanto menos oxihemoglobina hay presente.

II. TEORÍA

Una pregunta que el médico se debe responder muchas veces frente a un paciente es cuanto oxígeno hay en sangre y si la cantidad es adecuada. Existen varios parámetros a tener en cuenta para este diagnóstico. Estos son, el *gradiente de presión alveolar-arterial de oxígeno* (PAO_2), la *presión arterial de oxígeno* (PaO_2), y la *saturación de oxígeno* (SaO_2). De estos tres el que menos información proporciona es la PaO_2 , siendo de todas maneras un parámetro no

Monografía realizada como tesis de la asignatura Seminario de Ingeniería Biomédica, dictada por el Instituto de Ingeniería Eléctrica, Facultades de Ingeniería y Medicina, Universidad de la República. Docente a cargo de la asignatura: **Ing. Franco Simmini**

despreciable, ya que un valor normal de este gradiente implica una correcta difusión del oxígeno a la sangre, correspondiendo un alto valor de gradiente a una mala difusión del mismo.

La presión parcial arterial de oxígeno es la presión de las moléculas libres disueltas en sangre que no se encuentran combinadas con la hemoglobina (Hb), razón por la cual este parámetro no es de gran información, además, bajo ciertas condiciones de intercambio gaseoso, la SaO_2 y la PaO_2 están relacionadas por la curva de disociación del oxígeno que se encuentra en la figura 1.

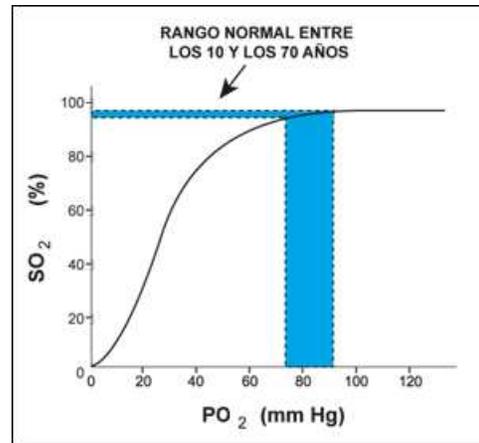


Fig. 1. Curva de disociación del oxígeno
Fuente: [6]

Cada molécula de hemoglobina tiene cuatro enlaces disponibles a realizar con el oxígeno, el porcentaje de estos enlaces disponibles y los que verdaderamente se encuentran combinados con moléculas de oxígeno es lo que se denomina saturación de oxihemoglobina (SaO_2 cuando es medida en sangre arterial, lo que los equipos comerciales realmente miden se denomina SpO_2 porque se mide en la periferia del cuerpo humano, por ej. el dedo o el lóbulo de la oreja).

Para conocer la cantidad de oxígeno total en sangre no basta con conocer la PaO_2 ni la SaO_2 , es necesario conocer el contenido de hemoglobina en sangre. Con este nuevo parámetro y con la ecuación del contenido de oxígeno, que no será detallada en este artículo, se puede calcular el mismo,

teniendo ahora una mejor información para el diagnóstico. De todas maneras la medición de la SaO_2 es muy útil para evaluar la oxigenación arterial de pacientes en los servicios ambulatorios, de tratamiento intensivo y de emergencia. La SaO_2 es especialmente útil para evaluar los resultados de la oxigenoterapia en forma no invasiva, evitando las punciones arteriales repetidas. No obstante, debe tenerse presente que esta forma de medición no evalúa la $PaCO_2$ (presión parcial de CO_2 en sangre) y que variaciones clínicamente importantes de PaO_2 pasan inadvertidas. Los valores típicos de SaO_2 andan entre 95% y 97% con un rango de variación del 2%. Valores por debajo del 90% se asocian con situaciones patológicas e insuficiencia respiratoria.

III. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR

El principio de funcionamiento del sensor óptico está determinado porque la absorción de la sangre a una cierta longitud de onda es dependiente de la saturación de oxihemoglobina. Entonces refiriéndose al sensor dactilar (*finger sensor*), emitiendo una luz a esta longitud de onda a través del dedo y recibiendo la cantidad de luz que no fue absorbida en un receptor diametralmente opuesto al emisor, se puede conocer la cantidad de luz absorbida por el dedo, que es mayoritariamente absorbida por la sangre. Una vez llegado a este punto se presenta un problema, la sangre y por tanto la SaO_2 es pulsátil, por ende, al ser variable esta, no se puede determinar a priori si la variación de la medida es debido a una variación de la variable misma o debido a la pulsatilidad del flujo sanguíneo. Es por esta razón que estos sensores contienen en realidad dos emisores a dos longitudes de diferentes y un receptor como se puede ver en la figura 2, de manera que a una de las longitudes de onda la absorción es muy dependiente de la SaO_2 , y a la otra longitud de onda la absorción teóricamente no varía con la SaO_2 pero sí con la cantidad de sangre, es decir, varía con el pulso.

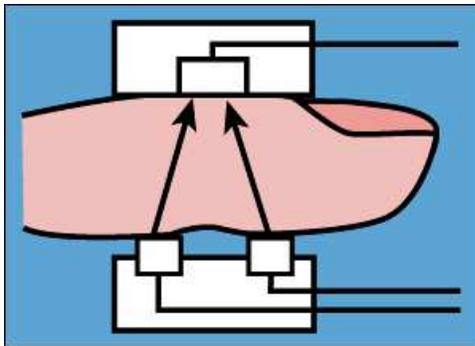


Fig. 2. Principio de funcionamiento

Fuente: [6]

De esta manera se tiene una señal que varía con el pulso y con la SaO_2 , y una señal que varía solamente con el pulso, o sea, se puede modular la primera con la segunda de manera de obtener una lectura permanente de la SaO_2 .

A. La Electrónica

Como ya se comentó se emiten dos longitudes de onda diferentes, una en el entorno del rojo en el espectro visible que es generalmente de $660nm$ que es la que varía con la SaO_2 , y la otra en el rango del infrarrojo del espectro que es generalmente de $940nm$. Estas longitudes de onda pueden tener alguna pequeña variación dependiendo del fabricante como se muestra en la tabla I, pero son generalmente de este orden, el rojo está en el rango $630 - 660nm$ y el infrarrojo en el rang $800 - 940nm$.

TABLE I
CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR SEGÚN FABRICANTES

Sensor	Longitud de onda	Potencia
Red	$662nm$	$1.8mW$
Infrared	$905nm$	2.0 mW (Nellcor, Datex, CSI, BCI)
	$940nm$	1,5 mW (Ohmeda, Novamatrix)

Fuente: [12]

En algunas ocasiones se utilizan LEDs laser como emisores debido a su precisión en el espectro de emisión, dado que a longitudes de onda cercanas a las utilizadas hay otras sustancias en la sangre que cambian su emisión. El sensor tiene el aspecto que se muestra en la figura 3.



Fig. 3. Un sensor comercial

Fuente: [12]

IV. LOS EQUIPOS COMERCIALES Y SU INSERCIÓN

Comercialmente, estos equipos son muy utilizados en centros de tratamiento intensivo (CTIs) como en centros de emergencia, en donde alguna medida de los signos vitales es necesaria. Como ya se explicó, para eliminar la pulsatilidad de la medida, se mide el pulso (emisor infrarrojo), es decir, siempre que se obtiene una medida de la SaO_2 por este método, se tiene de alguna manera una medida del pulso sanguíneo, siendo esta la razón por la cual todos los equipos comerciales que realizan esta medida muestran en un display no solo la SaO_2 , sino también el pulso. Estos equipos son llamados *Monitor de Oxímetro por Pulso (Oximeter Pulse Monitor)*, y muchas veces tienen un display gráfico que muestra la SaO_2 pulsátil evolucionando en el tiempo, como es el caso del equipo *Novamatrix Oxiplex* que se muestra en

la figura 4.



Fig. 4. Equipo Novamatrix Oxiplex Pulse Oximeter
Fuente: [18]

Estos equipos se pueden encontrar en una gran variedad de precios y modelos, que a primera vista podría parecer que ofrecen la misma información, no siendo esta la realidad. Es decir, se pueden encontrar equipos para uso domiciliario y manual como el *BCI Digit Finger Oximeter* que se puede ver en la figura 5, que simplemente contiene el sensor, una alarma y el procesamiento de señales necesario como para informar la SaO_2 y el pulso en un display que cuesta U\$S 320.

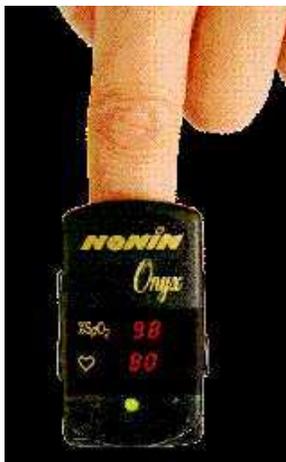


Fig. 5. BCI Digit Finger Oximeter
Fuente: [16]

Avanzando en complejidad se encuentra con equipos portátiles tipo *hand hell* que tienen posibilidad de conexión o traen incluida algún tipo de impresora, como es el caso del *BCI Fingerprint Hand Hell Pulse Oximeter* que se puede ver en la figura 6, siendo este un equipo ya con impresora, alimentación AC o batería con cargador interno incluido y niveles de alarma de pulso y SaO_2 programables. El precio de este equipo es de U\$S 895.

Llendo un poco más lejos se encuentran los equipos generalmente utilizados en CTIs, que generalmente no



Fig. 6. BCI Fingerprint Hand Hell Pulse Oximeter
Fuente: [16]

tienen una impresora incluida, pero si algún tipo de interfaz implementada, ya sea con un PC, o con algún otro equipo de la misma familia como un ECG, o un carro de anestesia. Este mismo fabricante posee el modelo *BCI 3180 Pulse Oximeter* que tiene medida de pulso, de SaO_2 , y de intensidad del pulso, acarreado esta última una complejidad en el procesamiento de las señales. También posee un display LCD con la forma de onda pletoisomográfica de la evolución temporal de la SaO_2 , lo que hace que sea un equipo típico en diagnóstico intensivo. El precio de este equipo es de U\$S 1095, y se puede ver en la figura 7.



Fig. 7. BCI 3180 Pulse Oximeter
Fuente: [16]

Este fabricante tiene modelos aún más complejos con almacenamiento de información, interfaz para impresora, cálculo de la autocorrelación de las medidas, etc, cuyo precio sube a U\$S 1395.

Se pueden encontrar una variedad de modelos en una gran variedad de marcas como *Ohmeda*, *Digicare*, *BCI*, *Novamatrix*, *Dolphin Medical*, *Nellcor*, etc.

Para los distintos fabricantes mencionados, se pueden

encontrar modelos generalmente diseñados para uso en tratamiento intensivo cuyos precios oscilan entre U\$S 800 y U\$S 1400.

V. OTRAS MEDIDAS

El sensor dactilar no es el único tipo de sensor existente para esta medida, pero si es el más popular. Se pueden encontrar en el mercado otro tipo de sensores que no serán comentados en detalle, como el sensor con el mismo principio de funcionamiento que el sensor en cuestión que se coloca en el lóbulo de la oreja como se puede ver en la figura 8.



Fig. 8. Sensor por emisión y absorción
Fuente: [15]

Otro sensor que se puede encontrar es un tipo de sensor que no funciona por emisión y absorción, sino que su principio de funcionamiento es por reflexión. Un sensor de este tipo se puede colocar por ejemplo en la frente como se ve en la figura 9.



Fig. 9. Sensor por reflexión
Fuente: [15]

Cuando la circulación en un paciente no es buena de manera que la medida de la SaO_2 en una extremidad no es adecuada, o en caso de una intervención quirúrgica crítica, se han desarrollado sensores integrados, que en un mismo chip se colocan invasivamente mediante un cateter y son capaces de medir con precisión instantánea parámetros como el flujo sanguíneo, la presión, la SaO_2 , etc.

Un ejemplo de este tipo de sensores, es el desarrollado por J.F.L. Goosen y P.J. French del Instituto de Microelectrónica del Laboratorio de Instrumentación Electrónica de la Universidad Delft, Irlanda, que consta de un sensor integrado que se coloca con un cateter, una fibra óptica y tiene sensores de presión absoluta, sensor térmico de flujo y sensor de color, pudiendo determinar en función de estas variables la presión

sanguínea, el flujo y la SaO_2 en un punto determinado como se muestra en la figura 10.



Fig. 10. Sensor integrado

Fuente: [11]

VI. CONCLUSIONES

En un análisis de investigación de funcionamiento e inserción en el mercado de los Monitores de Oxímetro de Pulso, se remarca que son equipos principalmente utilizados en unidades de emergencia y centros de tratamiento intensivo, en los cuales la rapidez y la no invasividad de dos medidas relacionadas a la calidad de la función respiratoria, el funcionamiento cardíaco y el circulatorio, es de suma importancia.

Las dos medidas a las que nos referimos son la SaO_2 y el pulso.

A la hora de seleccionar un equipo, se hace necesario un análisis detallado de las necesidades y las aplicaciones a desarrollar, ya que la gama de opciones de características del equipo es muy amplia, y por ende también lo es la gama de precios en el mercado.

Los equipos más utilizados en nuestro país son los monitores ya comentados con un sensor de SaO_2 para dedo, un display de cuarzo que muestra la forma de onda pletismográfica, el valor de la SpO_2 y el pulso cardíaco, y alarmas tanto de nivel de pulso como de SpO_2 con rangos a ingresar por el usuario.

REFERENCES

- [1] Webster, *Biomedical Instrumentation*.
- [2] Richard Aston, *Principles of Biomedical Instrumentation and Measurements*. Maxwell MacMillan International Editions, 1991.
- [3] L. Cromwell, F.J. Weibell, E.A. Pfeiffer, L.B. Usselman, *Instrumentación y Medidas Biomédicas*. Boixareu Editores
- [4] Google, Saturación de oxígeno, *Sensores ópticos [PDF]*. J.P. Silveira
- [5] Dr. Martin book, *All you really need yo know to interpret arterial blood gases*. 1999, Lippincott Williams & Wilkins
<http://www.mtsinai.org/pulmonary/ABG/PO2.htm>
- [6] LUniversidad Católica de Chile, Publicaciones de Posgrado, *Saturometría de Pulso*.
<http://escuela.med.cl/publ/ModRespiratorio/Mod2/EpocSaturometria.htm>
- [7] Google, *Oxygen Saturation by Pulse Monitoring*. Edited by Debra Lynn-McHale, Karen Carlson.
- [8] Instituto de Microelectrónica de la Universidad de Madrid, Departamento de Biosensores, *Oximetría de Pulso basada en Diodos Laser*. Google
<http://www.imm.cnm.csic.es/castell/lineas/sensor/sen-oxi.htm>

- [9] *Pulsioximetría*. Google
<http://www.fisterra.com/material/tecnicas/pulsioximetria/pulsioximetria.htm>
- [10] A.K. Munshi, Amitha m. Hegde, Sangeeth Radhakrishnan, *Pulse oximetry: a diagnostic instrument in palpal vitality testing [PDF]*. Google
- [11] J.F.L. Goosen, P.J. French, *Measurement of Pressure, Flow and Oxygen Saturation in Blood using an Integrated Sensor [PDF]*. Delft University of Technology, Netherlands Google
- [12] *Dolphin Medical Home Page*. Google
<http://www.dolphinmedical.com>
- [13] *Datex-Ohmeda Home Page*. Google
<http://www.datex-ohmeda.com>
- [14] *Nellcor Home Page*. Google
<http://www.nellcor.com>
- [15] *BCI Equipment*. Google
<http://www.med-worldwide.com>
- [16] *Miami Medical Home Page*. Google
<http://www.miami-med.com>
- [17] *Nonin Home Page*. Google
<http://www.nonin.com>
- [18] *Novametrix Home Page*. Google
<http://www.novametrix.com>



Manuel Laborde nació en Montevideo, Uruguay en agosto de 1981. Es estudiante de Ingeniería Eléctrica perfil Electrónica en la Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, actualmente cursa el noveno semestre de dicha carrera.
Es un interesado en la Ingeniería Biomédica.