



Medición de impedancia eléctrica de la piel en el rango de frecuencia de 5 a 1,000 Hz

Araiza Lizarde H,*
Muñoz Guerrero R*

* Departamento de Ingeniería
Eléctrica, Sección Bioelectrónica,
CINVESTAV IPN, México.

Correspondencia:
Herlinda Araiza Lizarde
Av. IPN Núm. 2508
Col. San Pedro Zacatenco,
Del. Gustavo A. Madero,
México D. F., 07360
haraiza@cinvestav.mx

Artículo recibido: 13/julio/2007
Artículo aceptado: 29/octubre/2007

RESUMEN

La piel posee características eléctricas que deben considerarse en el registro de señales bioeléctricas con electrodos de superficie, debido a que un mal acoplamiento electrodo-piel ocasiona una medición de poca calidad. La impedancia eléctrica de la piel se debe a las características propias de ella. En este artículo se presentan los resultados de impedancia obtenidos en tres sujetos A, B, C, en diferentes intervalos de tiempo y en gráficas de Cole-Cole. La técnica utilizada para la medición de impedancia es de 3 electrodos con inyección de corriente constante en el espectro de frecuencias de 5 a 1,000 Hz. La impedancia de la piel varía de sujeto a sujeto (A, B, C), en los resultados la impedancia varió desde 406.7 KOhms para 5 Hz hasta 23.5 KOhms para 1,000 Hz. Los electrodos usados son de Ag/AgCl en forma de copa de 9 mm de diámetro. La tarjeta de adquisición fue programada en Labview 6.1.

Palabras clave: Impedancia, Cole-Cole, piel.

ABSTRACT

The skin has electrical properties that affect the bioelectrical signals quality when they are recorded by surface electrodes. The skin has electrical impedance due its physical and physiological characteristics. In this paper the results of skin impedance are represented in Cole-Cole graphics for A, B, C at different time. The technique used to impedance measurement was the three electrodes applying a constant current in the frequency spectrum 5 to 1,000 Hz. The skin impedance was different of person to person (A, B, C). The skin impedance results were since 406.7K Ohms for 5 Hz to 23 K Ohms for 1,000 Hz. The electrodes were Ag/AgCl cup 9 mm diameter. The acquisition board was programmed in LabView 6.1.

Key Words: Impedance, Cole-Cole, Skin.

I. INTRODUCCIÓN

La piel es la barrera protectora contra el medio ambiente y constituye el órgano más grande del cuerpo humano. La piel tiene características físicas y fisiológicas que presentan una impedancia eléctrica, Z , que afecta la calidad de señales bioeléctricas registradas con electrodos de superficie. Los

valores reportados de impedancia de piel, Z_s , varían desde 100 Ω hasta 1 M Ω de acuerdo a la frecuencia usada y el tipo de piel¹. Para la medición de impedancia existen diferentes técnicas². De las cuales, se utilizó la de tres electrodos para la medición de impedancia en la piel³, inyectando una corriente alterna controlada de 5.3 μ A pico, a 5, 40, 80, 120, 160, 200, 400, 600 y 1,000 Hz. Debido

a que a frecuencias bajas la densidad de corriente es uniforme⁴. La impedancia de la piel en el área bajo un electrodo de 9 mm de diámetro varió de acuerdo a la frecuencia y al sujeto, desde 406.7 K Ω para 5 Hz hasta 23.5 K Ω para 1,000 Hz. La generación y adquisición de señales se realizó con la tarjeta Daqboard1000 programada en LabView 6.1, con la modificación de algunos controladores del fabricante.

II. METODOLOGÍA

Las mediciones de impedancia se realizaron en la piel sobre el músculo primer dorsal interóseo por medio de 3 electrodos en forma de copa de Ag/AgCl con un diámetro de 9 mm. El área de la piel fue lavada con jabón de tocador y secada completamente, los electrodos Ea, Eb y Ec fueron colocados de la siguiente forma: Ea se colocó sobre la piel del músculo primer dorsal interóseo, Ec a 5 cm de Ea sobre la palma de la mano y Eb a 1.5 cm de radio a radio de Ea, se utilizó pasta conductiva para EEG de la marca Ten20 en cada electrodo, en los electrodos Ea y Ec se inyectó la corriente de 5.3 μ Ap y la diferencia de voltaje se midió en Ea con respecto a Eb (Figura 1). La medición de Zs fue a

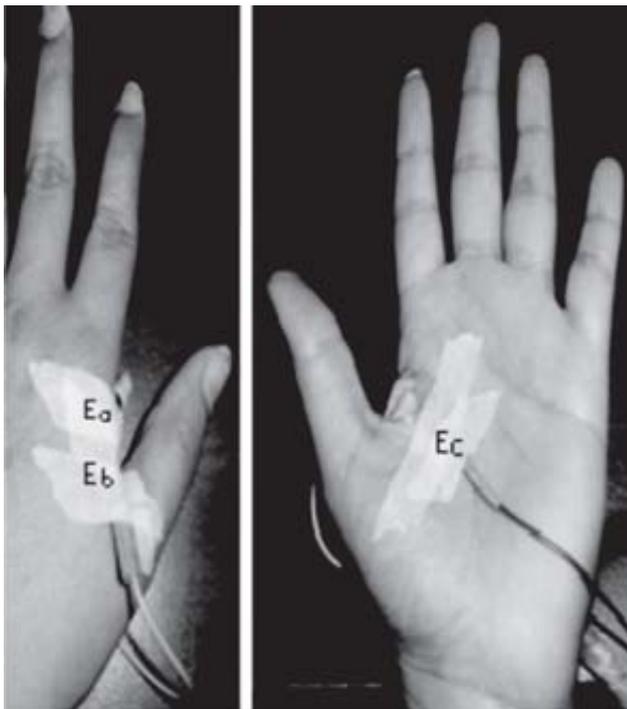


Figura 1. Colocación de los electrodos para la medición de impedancia.

tres diferentes tiempos desde la colocación de los electrodos, Tinicio, Tmedio, Tfinal, a 10 minutos de diferencia con respecto al anterior. Esto es Tinicio = 0, Tmedio = 10 min. Y Tfinal = 20 min.

En la Figura 2, se muestra el diagrama a bloques del dispositivo medidor de impedancia, el cual se dividió en 4 etapas: 1) La generación del espectro en frecuencia a utilizarse, 2) La conversión de voltaje a corriente de amplitud constante, 3) La medición de la diferencia de potencial generada por la corriente inyectada sobre la piel y 4) La adquisición y procesamiento de los datos.

- 1) *Generación del espectro en frecuencia:* Las frecuencias utilizadas fueron 5, 40, 80, 120, 160, 200, 400, 600 y 1,000 Hz, todas ellas generadas en LabView en un solo barrido con una duración de 2.87 segundos, con amplitud de 5 Vpp. La frecuencia de 5 Hz se aplicó durante un segundo y del resto 30 periodos por frecuencia. Las frecuencias y amplitudes fueron validadas con un osciloscopio digital de la marca Tektronix de dos canales. Una vez generado el espectro de frecuencias, se rechazó la frecuencia de 60 Hz con un filtro notch y fueron aislados de tierra física por el ISO124 de Texas Instruments.
- 2) *Conversión de voltaje a corriente:* Las señales generadas fueron convertidas de voltaje a corriente por una fuente Howland⁵. La corriente constante a diferentes frecuencias fue inyectada en los sujetos con su previo consentimiento por medio de los electrodos Ea y Ec. Posteriormente se detectó el voltaje generado por dicha corriente.
- 3) *Medición de la diferencia de potencial generado por el paso de la corriente inyectada sobre la piel:* En los electrodos Ea y Eb se detectó la diferencia de voltaje con un amplificador de instrumentación, IA, de alta impedancia de entrada con acoplamiento en ac, INA118 y OPA602. La alta impedancia de entrada evita el paso de corrientes no deseadas por el amplificador, dando como resultado la medición de la diferencia de potencial bajo el área del electrodo Ea.
- 4) *Adquisición y procesamiento de los datos:* Una vez medida la diferencia de voltaje, ésta es transferida de la etapa aislada a la etapa física con otro ISO 124, los datos son adquiridos y almacenados en un archivo texto, para su posterior análisis. La generación y adquisición de los datos se realiza en la misma ejecución del programa, el cual se detiene automáticamente, evitando almacenar datos sin información. Los datos adquiridos son procesados en tablas de Excel para ser

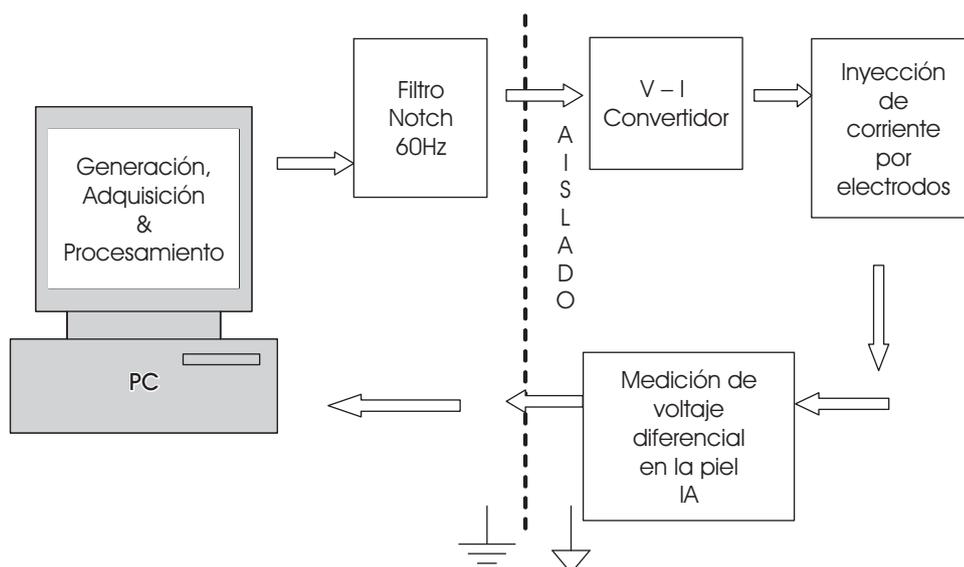


Figura 2. Diagrama a bloques del sistema medidor de impedancia.

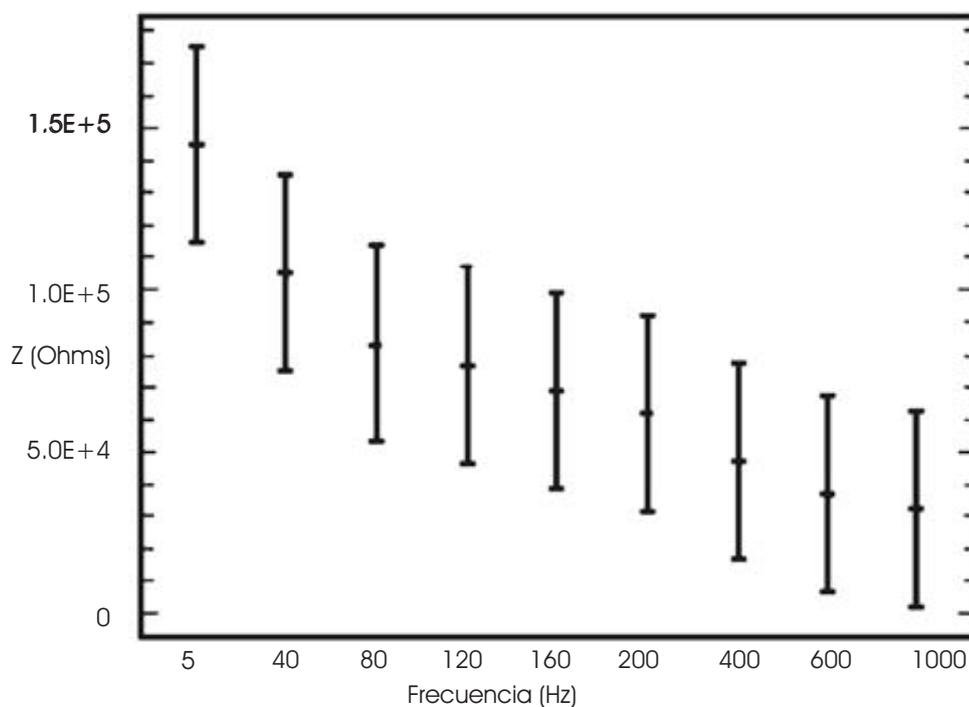


Figura 3. Variaciones de impedancia en A, B, C en el rango de 5 a 1,000 Hz, con un total de 9 valores por frecuencia.

representados en gráficas de Cole-Cole, como circuitos R-C de tres elementos⁶. Las gráficas se representan en sus valores Real (Re), e Imaginario (Im).

III. RESULTADOS

A. Modelos eléctricos

Los electrodos fueron colocados sobre la mano (Figura 1), y se realizaron las mediciones de impe-

dancia. En este trabajo se presentan las mediciones de tres sujetos, dos hombres (A, C) y una mujer (B), (28.3 ± 3.5).

En la Figura 3 se observa la gráfica del comportamiento de la impedancia de los 3 sujetos A, B, C, en el espectro de frecuencias y a los 3 intervalos de tiempo que se realizaron las mediciones.

En la Figura 4, se muestra el comportamiento de la impedancia con respecto a la frecuencia en el

sujeto C a los intervalos de tiempo, $T_{inicial}$, T_{medio} y T_{final} .

En la Figura 5, se representan los diagramas eléctricos de los sujetos A, B y C, en el $T_{inicial}$. Donde el capacitor, C, y la resistencia en paralelo, R_p , están en serie con la resistencia R_s . Los valores del modelo eléctrico para cada sujeto en los tres intervalos de tiempo, se muestran en el Cuadro I.

B. Gráficas Cole-Cole

La gráfica de Cole-Cole, es la representación de los valores reales e imaginarios de impedancia, modelando tejidos biológicos con circuitos R-C, en este caso el modelo que usamos para modelar la piel fue el de 3 elementos (Figura 5). Las ecuaciones utilizadas son las siguientes:

$$Re = R_{\infty} + \frac{R_0 - R_{\infty}}{1 + (\omega\tau)^2} \tag{1}$$

$$Im = \frac{(R_0 - R_{\infty})\omega\tau}{1 + (\omega\tau)^2} \tag{2}$$

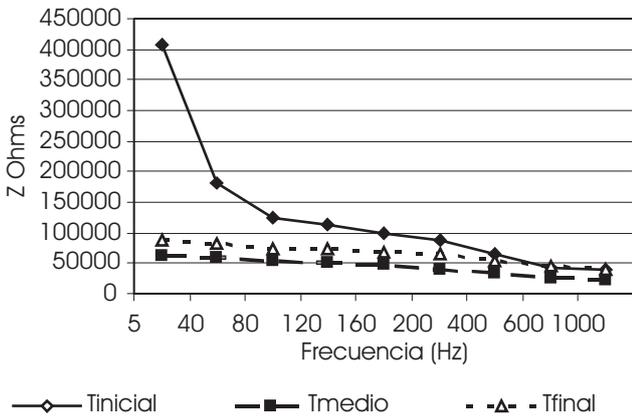


Figura 4. Impedancia en el sujeto C en $T_{inicial}$, T_{medio} y T_{final} .

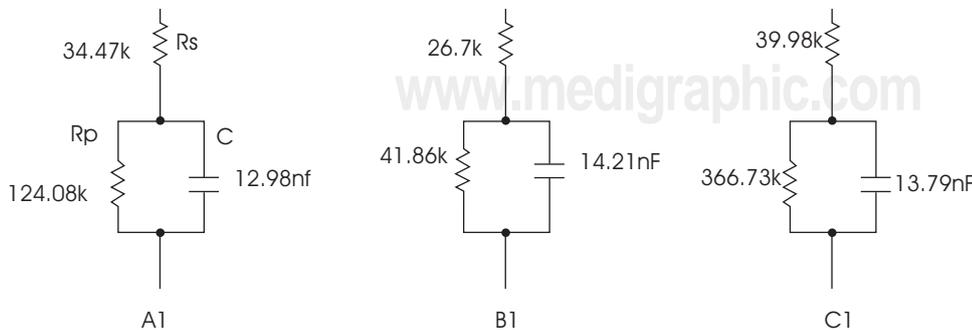


Figura 5. Diagramas eléctricos de la impedancia de la piel, en los sujetos A, B y C, en $T_{inicial}$.

Donde w es igual a $2\pi f$, f es la frecuencia de la corriente aplicada, τ es igual a $R_p * C$. R_{∞} , es la Resistencia a $f = \text{infinito}$, en este caso 1,000 Hz. R_0 , es la Resistencia a $f = 0$, en este caso 5 Hz. Algunos autores aplican un factor de corrección de los valores de impedancia, ya que los tejidos biológicos no se comportan como un circuito RC ideal⁷. En los resultados presentados no se realizó el factor de corrección.

La resistencia en el plano real, Re , se calculó usando (1) y la resistencia en el plano imaginario, Im , se calculó usando (2).

En la Figura 6, se presenta la impedancia del sujeto C, en gráficas de Cole-Cole.

En las Figuras 7 y 8 se grafican los valores de impedancia en $T_{inicial}$ y T_{final} de los sujetos A, B, C.

En la Figura 9 se grafican los valores de impedancia para los tres sujetos en los tres intervalos de tiempo.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados muestran que la impedancia varía de persona a persona (Figura 7), los valores de impedancia inicial para el sujeto C fue de 406,706 Ohms, obteniendo el valor Im mayor en 40 Hz (180,225, 178,220). A diferencia del sujeto B el cual presentó una impedancia inicial de 68,557 Ohms, obteniendo el valor Im más alto a 200 Hz (53,548, 20,075). En el sujeto A su impedancia inicial fue de 158,546 Ohms, obteniendo el valor Im más alto a 120 Hz (84,610, 60,888). A medida que transcurre el tiempo los valores de impedancia varían, disminuyendo a veces considerablemente como se observa en la Figura 6, esto puede ser el resultado de diferentes factores, el intercambio iónico entre el electrólito y la piel, el sudor, la humedad en el ambiente, etc., que hacen más conductiva la piel, disminuyendo así su impedancia. En las mediciones en T_{final} para los tres sujetos, los valores de

Cuadro I. Valores para el modelo eléctrico de la piel, de A, B, C.

| Sujeto | Valores del modelo eléctrico para cada sujeto | | |
|--------------|---|-----------------|--------|
| | Rs (Ω) | Rp (Ω) | C (nF) |
| A1 T inicial | 34466 | 124080 | 12.98 |
| A2 T medio | 38728 | 145637 | 13.60 |
| A3 T final | 42613 | 182986 | 15.00 |
| B1 T inicial | 26696 | 41861 | 14.20 |
| B2 T medio | 24440 | 29077 | 16.00 |
| B3 T final | 23562 | 35469 | 15.60 |
| C1 T inicial | 39981 | 366725 | 13.78 |
| C2 T medio | 21933 | 32229 | 14.50 |
| C3 T final | 39229 | 48002 | 13.60 |

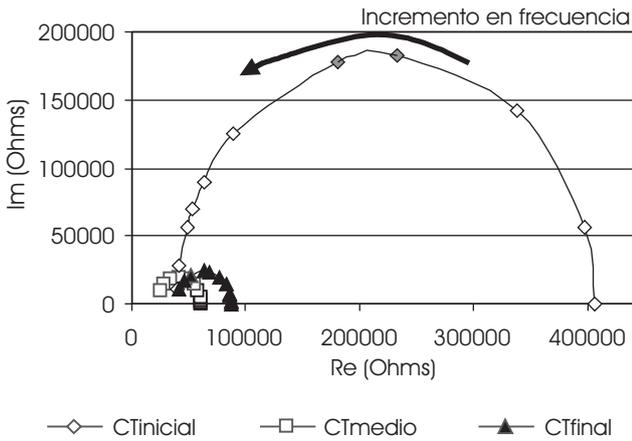


Figura 6. Gráficas de Cole-Cole para el sujeto C.

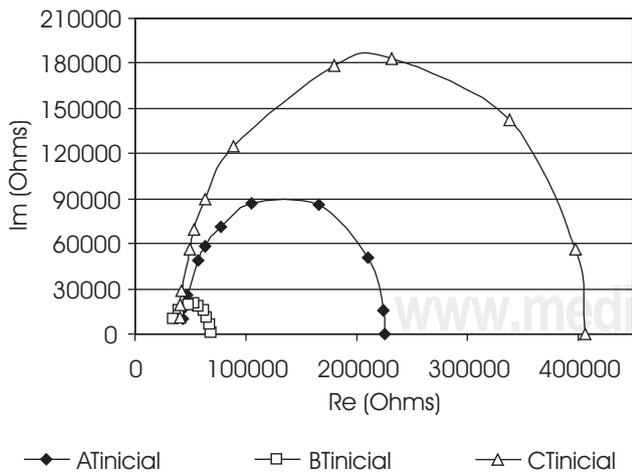


Figura 7. Gráfica de Cole-Cole para los tres sujetos en T inicial.

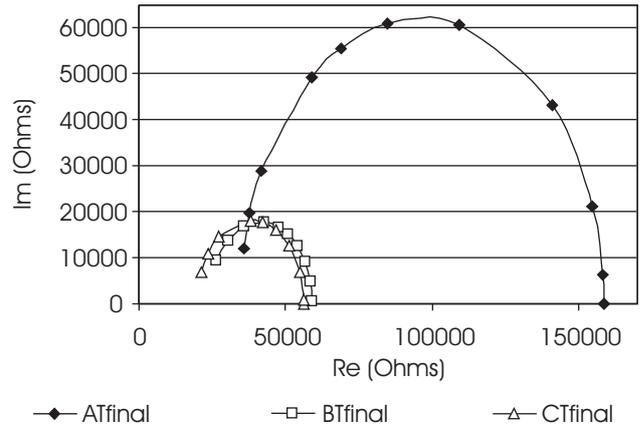


Figura 8. Gráfica de Cole-Cole para los tres sujetos en T final.

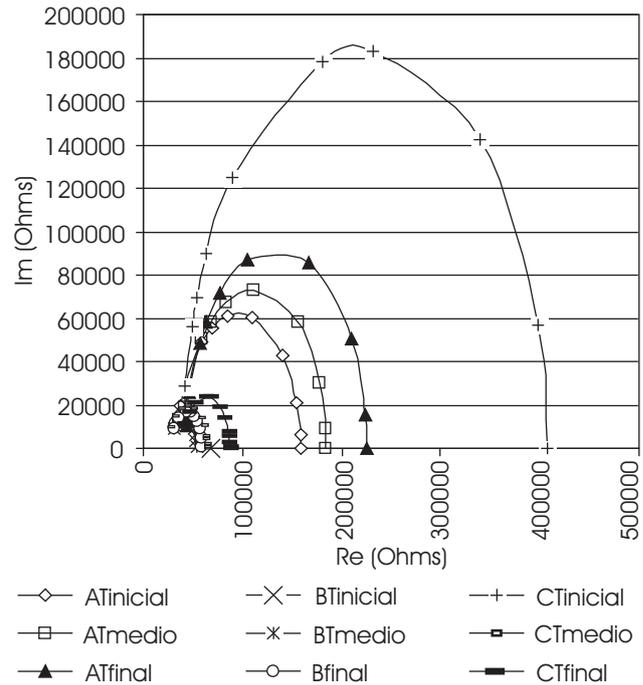


Figura 9. Gráficas de Cole-Cole para los sujetos A, B, C, en T inicial, T medio y T final.

impedancia disminuyeron. El sujeto C tanto en T inicial como en T final tuvo la mayor impedancia con respecto a A y B.

V. CONCLUSIÓN

La impedancia de la piel aun en un mismo sujeto varía con el tiempo. Entre sujetos existen grandes variaciones de impedancia, ya sea por el grosor de la piel, o por otras condiciones fisiológicas. Debido

a estas variaciones es difícil presentar un modelo único para representar eléctricamente la piel, ya que al realizarse mediciones de impedancia a diferentes intervalos de tiempo sobre el mismo sujeto, se obtuvo un modelo eléctrico diferente para cada medición. Aun así la piel presenta características eléctricas semejantes a las de un circuito R-C, donde R_p y C se comportan como resistencia y capacitor variable. La medición de la impedancia de la piel permite realizar registros cuando su valor es mínimo, permitiendo un mejor acoplamiento de los electrodos con la piel, para una mejor calidad del registro bioeléctrico.

BIBLIOGRAFÍA

1. Rosell J, Colominas J, Pere R, Pallas-Areny R, Webster JG. Skin Impedance from 1 Hz to 1MHz, IEEE Trans. Biomed Eng 1988; 35(8): 649-651.
2. Valentinuzzi ME. Bioelectrical Impedance Techniques in Medicine. Critical Reviews in Biomedical Engineering 1996; 24(4-6): 223-255, 416-418, 505-538.
3. Lacknermeir AH, McAdams ET, Moss G, Woolfson AD. *In vivo* ac Impedance Spectroscopy of Human Skin, in electrical Bioimpedance Methods: Applications to Medicine and Biotechnology, NJ: Annals of the New York Academy of Sciences, 1999; 873: 197-213.
4. Webster JG. Impedance versus Frequency, in Electrical impedance Tomography, J. G. Webster, Ed. Adam Hilger, NJ: Bristol and New York, 1990, ch. 3, pp. 23-24.
5. Implementation and Applications of Current sources and current receivers Application, Bulletin, SBOA046, Burr-Brown, Texas instruments, 2000: 20-22. <http://www.ti.com>.
6. Ackmann JJ, Seitz MA. Methods of Complex Impedance Measurements in Biologic Tissue, in CRC, Critical Reviews in Biomedical Engineering 1984-1986; 11(4): 281-310.
7. Casas PJO. Contribución a la obtención de imágenes paramétricas en tomografía de impedancia eléctrica para la caracterización de tejido biológicos, Tesis de Doctorado. Universidad Politécnica de Cataluña, 1998. <http://petrus.upc.es/~wwwdib/tesis/Oscar/resumen.html>