

# EQUIPO DE BIORRETROALIMENTACIÓN BASADO EN EL FENÓMENO ELECTRODÉRMICO

**Nancy Bermudez<sup>1</sup>, Luis Maldonado<sup>2</sup>, Miguel Yapur<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Ingeniera Electrónica 2003

<sup>2</sup> Ingeniero Electrónico 2003

<sup>3</sup> Director del Tópico de Electrónica Médica, Ingeniero Electrónico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1983, Postgrado EEUU, Universidad de Texas en Arlington, 1986, Profesor de la ESPOL desde 1987

## RESUMEN

*El estrés es uno de los factores de riesgo más importante para la mayoría de las enfermedades más frecuentes que se manifiestan en el final de este siglo, presentándose tanto en trastornos del corazón, como en hipertensión arterial, cáncer, diabetes, alteraciones metabólicas y hormonales. Aprender a reconocer y controlar el estrés es una habilidad esencial en la vida. Por esto presentamos un dispositivo de biorretroalimentación basado en el fenómeno electrodérmico, el cual indica el nivel de estrés del individuo por medio de una escala numérica y de una señal audible, a partir de uno de los parámetros más afectados por este fenómeno que es la resistencia eléctrica de la piel, de tal forma que tanto el psicólogo como el usuario puedan comprobar si las técnicas de relajación se están realizando correctamente.*

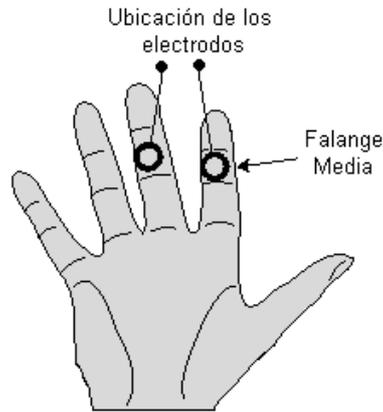
## 1. INTRODUCCIÓN

Desde años atrás se conoce la relación entre la resistencia eléctrica de la piel y las emociones. El dispositivo se basa en la resistencia galvánica de la piel (GSR por sus siglas en inglés) que mide la profundidad del estado de relajación o de estrés, a través de fluctuaciones de la resistencia al paso de la corriente eléctrica por nuestra piel de una forma no invasiva.

La biorretroalimentación es una técnica médicamente aceptada para entrenarnos en el control del estrés, logrando la relajación y la canalización de nuestras energías y alcanzar nuestros máximos potenciales. Nuestro dispositivo logra que conozcamos nuestras involuntarias e inconscientes reacciones físicas al estrés, de tal manera que podamos realizar la retroalimentación y lograr leves cambios en el nivel de estrés.

En una sesión típica de biorretroalimentación, los usuarios se sientan cómodamente en una silla y se les conecta al equipo mediante los sensores colocados en la superficie de la piel en varias localizaciones del cuerpo (generalmente en la falange media de los dedos índice y medio, tal como se muestra en la Figura 1), las variaciones eléctricas se registran y reflejan en una escala de valores y una señal audible.

Al aumentar el nivel de estrés aumenta la sudoración dando como resultado una disminución en la resistencia eléctrica de la piel lo cual se traducirá en un aumento en los valores de la escala numérica y en la frecuencia de la señal de audio. En caso contrario, si el usuario entra en un estado de relajación la sudoración disminuirá con lo cual la resistencia cutánea aumenta produciendo que una disminución en la frecuencia de la señal de audio y en los valores de la escala.



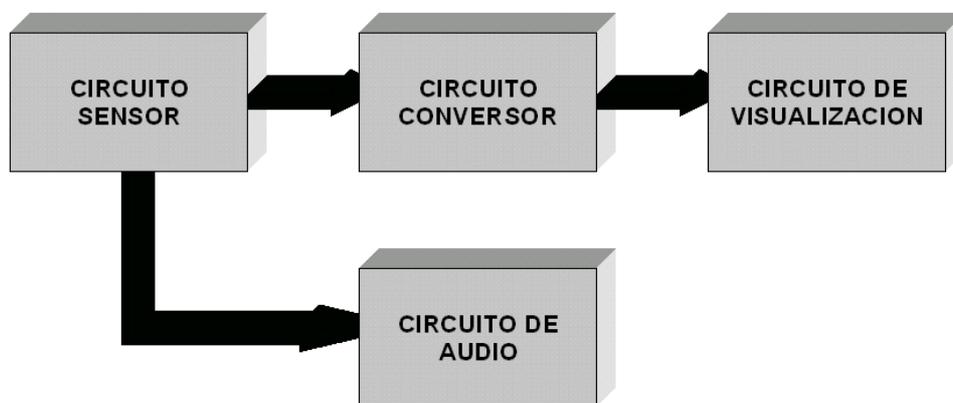
**Figura 1.-** Ubicación de los electrodos

## 2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPO

Este proyecto consta de 3 etapas, la primera se encarga de sensar la resistencia eléctrica de la piel, la segunda convierte la señal de voltaje que proviene de la etapa anterior a un valor digital, la tercera etapa toma tanto el voltaje del primera como el valor digital de la segunda para generar las señales de retroalimentación audiovisuales.

El diseño electrónico del sensor de estrés está basado en el principio de la variación de la resistencia eléctrica que presenta la piel al momento de pasar de un estado de estrés a relajación o viceversa.

Es importante que en el diseño se considere la seguridad, comodidad y tranquilidad del usuario. El dispositivo debe ser no invasivo, fácil de aplicar y económico de implementar. A continuación se muestra el diagrama de bloques del dispositivo.



**Figura 2.-** Diagrama de bloques del dispositivo

El circuito sensor esta provisto de amplificadores operacionales. La variación en el estado anímico del usuario provoca cambios en la resistencia eléctrica de la piel, estos generan una variación en el voltaje de salida de este circuito.

El circuito de audio utiliza el voltaje de salida del circuito sensor para manejar un oscilador controlado por voltaje, el cual generará una señal de audio con una frecuencia correspondiente a la resistencia eléctrica del usuario.

El circuito conversor toma el voltaje de salida del circuito sensor y lo transforma en un valor digital.

El circuito de visualización recoge el valor digital del circuito conversor, el cual mostrará en una escala numérica entre 00 y 99 correspondiente al estado de relajación o estrés del usuario.

### 3. DISEÑO ELECTRÓNICO

La actividad electrodérmica puede ser medida exosomáticamente mediante dos sistemas diferentes: el método de voltaje constante, comúnmente usado en la medición de la conductancia electrodérmica y el método de corriente constante, usualmente relacionado con la resistencia electrodérmica

En nuestro caso usaremos el método de voltaje constante. Esto lo hicimos por la facilidad de aumentar la precisión del equipo manipulando voltajes menores que los que se hubieran necesitado con el método de la corriente constante.

Debido a que la resistencia eléctrica no puede medirse en forma directa la mediremos indirectamente basándonos en el principio  $V=IR$  ; esto es al aplicar un voltaje constante (V) al usuario, al variar su resistencia ( $R_p$ ) se provocará una variación en la corriente (I) inversamente proporcional a ella. Luego hacemos pasar esta corriente variable a través de una resistencia constante (R) y obtendremos un voltaje final ( $V_o$ ) que será representativo de la resistencia cutánea del usuario. Tal como se muestra en las siguientes ecuaciones.

$$V = I * R_p$$

$$I = \frac{V}{R_p}$$

$$V_o = I * R$$

$$V_o = V \frac{R}{R_p}$$

Para someter al usuario a un voltaje constante utilizamos un opamp en configuración seguidor acoplador de voltaje, esto nos permite aislar el voltaje aplicado gracias a la gran impedancia de entrada, además obtener una baja impedancia de salida y la no inversión de la polaridad.

El voltaje aplicado al usuario es de 5 VDC. Con esto logramos que al estar la resistencia cutánea en el rango de los  $M\Omega$ , la corriente que atraviesa al usuario no

exceda los  $\mu\text{A}$  evitando el peligro de macroshock (la corriente eléctrica entra y sale por la piel, en el rango de los mA). El nivel mínimo de percepción se alcanza con 1 mA, valor que sólo se obtendría al aplicar el voltaje de 5V a una resistencia de  $5\text{K}\ \Omega$  lo cual sería difícil que ocurriera ya que la resistencia de la piel se encuentra en el rango de los cientos de kilo ohmios a Mega ohmios

A la salida del seguidor de voltaje y antes de la entrada al siguiente opamp se colocarán los electrodos que harán contacto con la piel del usuario. El segundo opamp está en una configuración amplificador inversor, con una ganancia que depende de la resistencia cutánea del usuario ( $R_p$ ).

$$A = \frac{V_o}{V} = -\frac{R}{R_p}$$

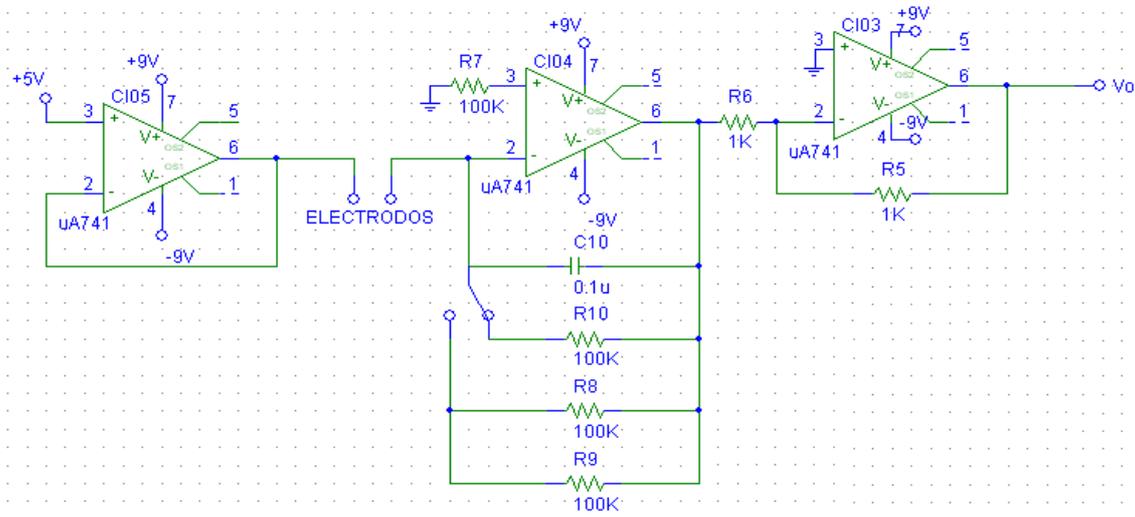
El circuito funciona en la mayoría de los casos con una resistencia de retroalimentación  $R$  de  $100\text{ [K}\Omega\text{]}$ , pero si el usuario presentase una resistencia base menor de  $250\text{ [K}\Omega\text{]}$ , con lo cual la escala mostraría su valor tope de 99, se elegirá entonces una resistencia  $R$  de  $50\text{ [K}\Omega\text{]}$ , con lo cual la escala disminuirá a la mitad.

Para obtener el valor de la resistencia cutánea a partir del valor mostrado en la escala aplicamos la siguiente fórmula:

$$\text{Escala } 1: \text{ Resistencia} = \frac{25\text{M}\Omega}{\text{Escala}}$$

$$\text{Escala } 2: \text{ Resistencia} = \frac{12.5\text{M}\Omega}{\text{Escala}}$$

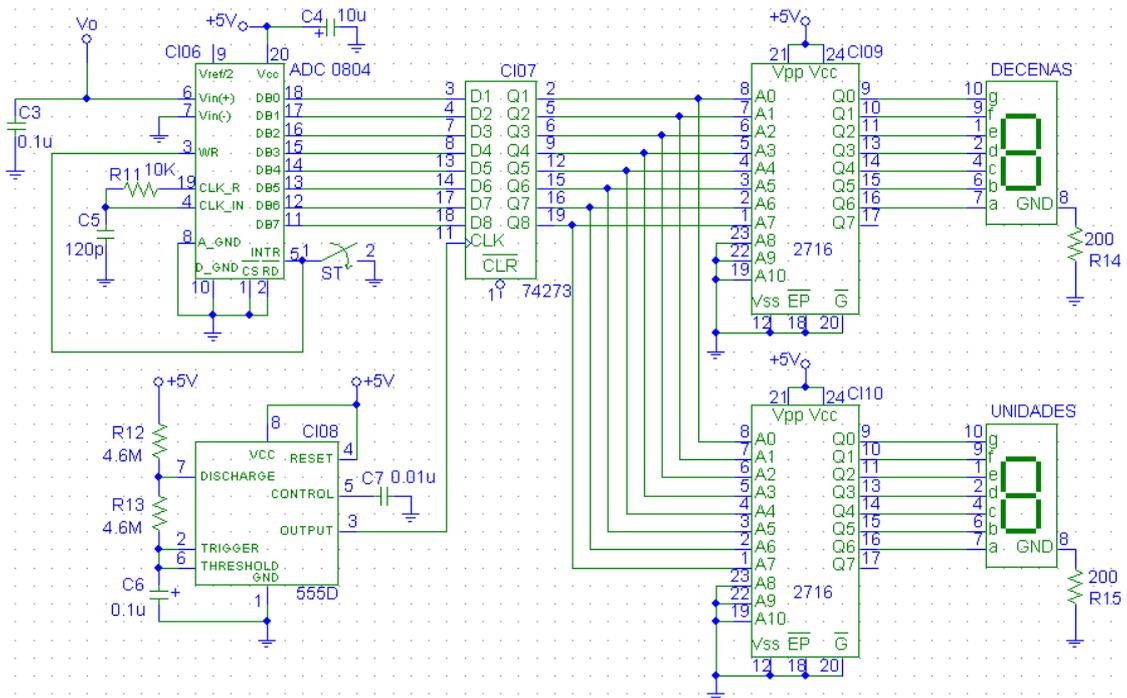
El voltaje de salida del segundo opamp representa el nivel de estrés del usuario, pero ya que la polaridad está invertida, colocaremos un tercer opamp en configuración amplificador inversor con ganancia unitaria para obtener valores que puedan ser procesados por el circuito conversor. En la Figura 3 se muestra el diagrama del circuito sensor.



**Figura 3.-** Diagrama del circuito sensor

El bloque conversor esta conformado por dos circuitos integrados. El circuito integrado ADC0804 que es un convertidor analógico-digital con 8 bits de salida, en configuración de *free-running* lo cual permite una conversión continua del voltaje analógico.

Luego el circuito integrado 74LS273 que es un registro de sostenimiento capta los valores digitales procedentes del ADC y los mantiene el tiempo necesario para evitar que durante el proceso de conversión la dirección de las EPROM varíen y por consiguiente se muestren datos erróneos en los 2 visualizadores de 7 segmentos. En la Figura 4 se muestra el diagrama del circuito conversor y de visualización.

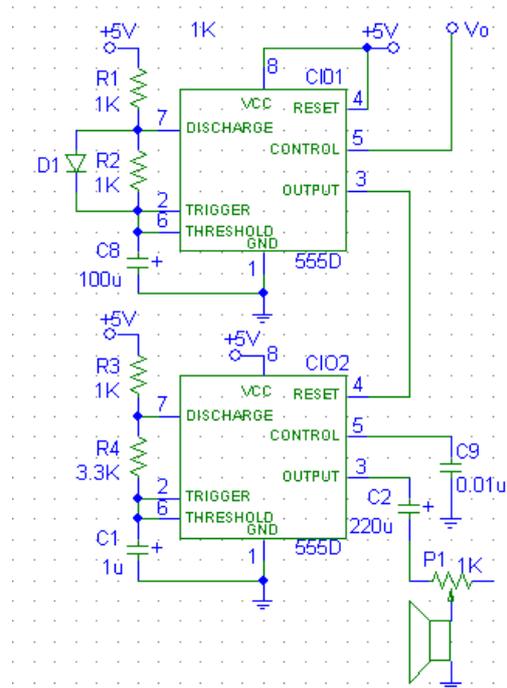


**Figura 4.-** Diagrama del circuito conversor y de visualización

El circuito de audio está formado por dos circuitos integrados temporizadores 555. El primero actúa como un oscilador controlado por voltaje, el cual es generado por el circuito sensor. Por consiguiente la frecuencia de salida depende del resistencia cutánea del usuario. Y el segundo se encuentra en una configuración de multivibrador astable.

El segundo circuito integrado temporizador 555 genera una frecuencia que está en el rango audible (aproximadamente 190 [Hz]) la cual es modulada por la frecuencia emitida por el primer temporizador 555. Esto se debe a que las frecuencias generadas por el VCO están fuera del rango audible (desde los 20 [Hz] a los 20 [KHz]) y no serían captadas por el oído humano; de allí la necesidad de superponer otra frecuencia mayor sobre ellas.

En la Figura 5 podemos observar el circuito de audio.



**Figura 5.-** Diagrama del circuito de audio

La fuente de alimentación del dispositivo proporciona voltajes de  $\pm 9$  [V] al circuito sensor y +5 [V] al circuito conversor, de audio y de visualización.

#### 4. CONCLUSIONES

El dispositivo sí cumple el objetivo para el que fue diseñado; o sea suministrar información adecuada acerca del grado de relajación alcanzado por el usuario lo cual lo hace muy útil en el adiestramiento en técnicas de relajación.

Puede por lo tanto ser usado inicialmente bajo supervisión del psicólogo mientras se aprenden las técnicas de relajación y posteriormente podrá ser utilizado como dispositivo de retroalimentación por el usuario sin necesidad de supervisión.

Los valores base de resistencia eléctrica cutánea varían ampliamente, no solo entre diversas personas, sino hasta en el mismo individuo dependiendo de las situaciones en que se encuentre. El valor promedio mostrado en los visualizadores utilizando la escala 1 es de 30, lo cual corresponde a una resistencia base de aproximadamente 800 [K $\Omega$ ].

Pudimos observar que en personas entrenadas en técnicas de relajación, en el momento de aplicarlas, el valor mostrado en los visualizadores disminuyó en aproximadamente 7 unidades, independientemente de su resistencia base. Esto ocurría al tener seleccionada la escala 1 (ESC1), si se tuviera seleccionada la escala 2 (ESC2) el valor disminuiría en 3 unidades aproximadamente, dado que la resolución del dispositivo disminuye en un 50 por ciento.

Notamos que al suscitarse una situación de estrés agudo, los valores en los visualizadores aumentaron mucho más rápidamente y en mayor proporción que la variación ocurrida durante la relajación.

Reparamos que las personas reaccionan de forma diferente a los estímulos externos, algunas responden mas fácilmente a los sonidos y otras a las imágenes, ya sea para inducir a un estado de relajación o para provocarle una situación de estrés agudo.

La retroalimentación basada en los datos mostrados en los visualizadores de 7 segmentos es de mayor utilidad para el usuario que el método de iluminar una barra de leds que es usado en equipos similares. El uso de visualizadores permite conocer en forma cuantitativa y precisa el control efectuado por el usuario en sus reacciones fisiológicas.

La versatilidad del circuito temporizador 555 nos permite usarlo como tal para activar el registro de sostenimiento y además en una configuración como oscilador controlado por el voltaje analógico de salida del circuito sensor lo que permite obtener una señal de retroalimentación a través de los audífonos.

El uso del conversor analógico digital ADC 0804 en configuración “free running” evita la necesidad de utilizar una señal de reloj externa para activar el muestreo del voltaje de salida del circuito sensor. Con esto prescindimos del uso de un circuito temporizador adicional con el consiguiente ahorro en el consumo de energía y de espacio en la placa del circuito impreso.

## **5. BIBLIOGRAFÍA**

[1] Robert Coughlin, Frederick Driscoll, Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales (3ra. Edición, México, Prentice-Hall, 1999)

[2] Tortora y Anagnostakos, Principios de Anatomía y Fisiología (6ta Edición, México, Harla, 1993), pp 134-1022

[3] Carlos Del Águila, Electromedicina (Buenos Aires, Hispano Americana S.A., 1990) Capítulo 25

[4] Mosby's Medical, Nursing and Allied Health Dictionary (4ta Edición, Mosby-Year Book, Inc., 2001)

[5] Joel Swerdlow, “La piel al descubierto”, Revista National Geographic, Vol. 11, No. 5 (Noviembre 2002), pp 36-61

[7] Methodist Health Care System, 2002, La Dermatología. Anatomía de la piel/  
<http://www.methodisthealth.com/spanish/dermo/anatomy.htm>