

# Diseño de un *Scalp Cooling System*

Olga Carolina Ávila Montes<sup>1,ψ</sup>, Elizabeth Barrientos R.<sup>1</sup>, Catalina González Cruz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Ingeniería Biomédica EIA-CES, Línea de Bioinstrumentación, Señales e Imágenes Médicas

Recibido 13 de junio de 2006. Aceptado 20 de octubre de 2006.

---

**Resumen**—La pérdida de cabello inducida por tratamientos contra el cáncer es uno de los efectos secundarios más traumáticos y comunes en los pacientes. El enfriamiento del cuero cabelludo se ha convertido, progresivamente, en un método que previene la alopecia. En este artículo se describe el proceso llevado a cabo para diseñar un sistema de enfriamiento del cuero cabelludo que permita prevenir la pérdida de cabello inducida por la quimioterapia.

**Palabras Claves**—Alopecia, Pérdida del cabello inducida por quimioterapia, Gorro frío, Hipotermia, Enfriamiento del cuero cabelludo, Preservación del cabello.

**Abstract**—Chemotherapy-induced hair loss is one of the most common and distressing side-effects of cancer therapy. Scalp cooling has become an increasingly effective method to prevent hair loss. The aim of this article is to describe the process of design of a scalp cooling system to prevent chemotherapy-induced alopecia.

**Keywords**—Alopecia, Chemotherapy-induced hair loss, Cold cap, Hypothermia, Scalp cooling, Hair preservation.

---

## I. INTRODUCCIÓN

A demás del diagnóstico del cáncer, la alopecia es el efecto secundario con mayor impacto psicológico que experimentan los pacientes expuestos a quimioterapia [1-4]. Usualmente ocurre de 2 a 3 semanas después del primer ciclo de tratamiento, y aunque este evento es reversible, normalmente el color y la calidad del nuevo cabello crece con alteraciones [4].

Para los pacientes en tratamiento de cáncer, la alopecia se considera como un recordatorio constante de la enfermedad, causando cambios negativos en la imagen corporal y autoestima, disminuyendo la actividad social, y alterando las relaciones interpersonales. Estos problemas prácticos y emocionales pueden llevar al paciente a rechazar el tratamiento.

A lo largo de la vida, el ochenta y cinco por ciento de los folículos del cabello humano están en fase anagénica o de división [5]. La quimioterapia como tratamiento para el cáncer afecta rápidamente la división de las células, por lo

tanto, produce una atrofia parcial o total del bulbo de la raíz del cabello originando su pérdida.

Se ha reportado que el problema de alopecia que afecta a los pacientes tratados con quimioterapia puede ser aliviado, y en algunos casos eliminado enfriando el cuero cabelludo [1-4, 6, 7]. Sin embargo, el grado de protección contra la pérdida del cabello es inversamente proporcional a la dosis de droga que se administra, dependiendo de esta como factor crítico [2, 7].

Existen dos razones importantes por las cuales se utiliza el enfriamiento del cuero cabelludo como tratamiento para la alopecia: la primera es la vasoconstricción producida por el enfriamiento, la cual reduce el flujo sanguíneo que va hacia los folículos del cabello y, por lo tanto, reduce la llegada de los agentes citotóxicos suministrados por la quimioterapia. La segunda es la disminución de la actividad bioquímica, lo que hace a los folículos pilosos menos susceptibles a los daños producidos por el medicamento. Esta última razón prima sobre la vasoconstricción [1, 4].

Los estudios han indicado que el tiempo de exposición al frío antes del inicio del tratamiento de quimioterapia debe ser como mínimo de 15min y después de aplicada la droga se requieren por lo menos 30min más de exposición [6, 7]. Posteriormente el cuero cabelludo vuelve a su temperatura normal 10min después de terminar la hipotermia [2].

El tiempo de exposición al frío, el tipo de quimioterapia utilizada y la temperatura se consideran factores influyentes en la efectividad del procedimiento, aunque aún no se tienen claras las razones [1]. Además, este procedimiento es dependiente del tipo de quimioterapia aplicada pues no es efectivo para todas [1].

Tampoco parece ser efectivo para personas con una función anormal del hígado, ya que dicha condición está generalmente asociada a concentraciones más altas y prolongadas de medicamento, lo que implica una mayor permanencia de estos en el torrente sanguíneo, haciendo que el tiempo de exposición al frío del gorro deba ser mayor [6].

Algunos sistemas basados en este principio utilizan paquetes de hielo en trozos. Estos tienen la desventaja de ser incómodos, pesados y se aplican al cuero cabelludo a temperaturas muy bajas (de hasta  $-25^{\circ}\text{C}$ ) que se calienta rápidamente cuando entra en contacto con el cuero cabelludo. Sin embargo, la desventaja más importante se presenta en el uso del dispositivo ya que la enfermera pierde mucho tiempo en la supervisión de la temperatura y en el cambio periódico de los paquetes [2, 4, 6].

Otro equipo conocido es una cubierta para la cabeza que consiste en un bloque congelado de gel el cual se coloca sobre ella. El bloque es pesado y maneja temperaturas de  $-18^{\circ}\text{C}$ , condiciones en las que el material utilizado se siente húmedo. Como la cubierta es rígida e inicialmente muy fría, el dispositivo es incómodo. Otro problema encontrado es que los bloques ganan calor rápidamente y, por lo tanto, no guardan la temperatura por debajo del límite superior durante el período de tratamiento. Con este dispositivo es necesario que el paciente cambie las cubiertas cada 45min, periodo en el cual la temperatura se ha elevado de  $-18^{\circ}\text{C}$  a  $+10^{\circ}\text{C}$  [2, 4, 6].

Los sistemas termocirculares también han sido utilizados desde 1982. Los equipos basados en esta tecnología cubren la cabeza del paciente con un gorro que se refrigera continuamente. El gorro está formado por una cubierta principal que posee dos capas y un espacio intermedio a través del cual circula un fluido refrigerante. El espacio en la cubierta principal está conectado por medio de una manguera a una unidad refrigerante que provee el fluido, por lo tanto, el enfriamiento del cuero cabelludo puede darse a una temperatura mas bien constante y continuamente aplicada durante el período del tratamiento. Esto evita la necesidad

de que el paciente deba ponerse una cubierta rígida en su cabeza tal como en el caso del hielo o el gel. La entrada y la salida de fluidos se distribuyen preferiblemente sobre la cubierta principal, para obtener una buena circulación y refrigerar de modo uniforme el cuero cabelludo [1, 3, 4].

En este artículo se busca exponer un sistema de enfriamiento de cuero cabelludo utilizando un sistema termocircular.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

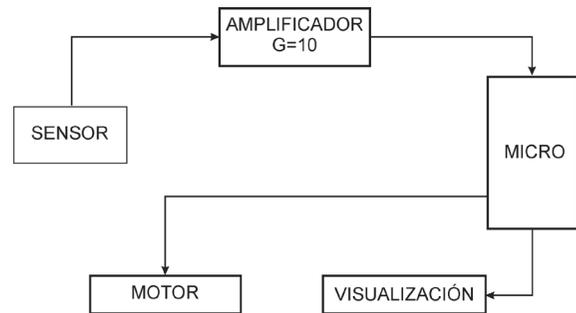


Fig. 1. Diagrama de Bloques del Scalp Cooling System.

### A. Sensado

Se utilizó un sensor de temperatura LM35DZ, ubicado en la parte interna del gorro, el cual posee un circuito integrado de precisión cuyo voltaje de salida es linealmente proporcional a la temperatura medida en grados Celsius. Entre las ventajas de su utilización se pueden enumerar las siguientes: no requiere calibración externa, entrega  $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ , es muy económico y tiene un rango de funcionamiento de  $0$  a  $100^{\circ}\text{C}$ .

### B. Amplificación

Debido a que el sensor entrega  $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ , es necesaria una etapa de amplificación para la cual se utilizó un amplificador operacional UA741 con una configuración no inversora y una ganancia  $G=10$ . De esta forma, la nueva escala es de  $100\text{mV}/^{\circ}\text{C}$  tal que a una temperatura de  $50^{\circ}\text{C}$ , el voltaje de salida es  $5\text{V}$ .

Se debe tener en cuenta que el amplificador fue alimentado con  $+5\text{Vcc}$  y  $-5\text{Vcc}$ , teniéndose estos valores como voltaje de saturación, pero dado que nunca se alcanzan los  $-50^{\circ}\text{C}$  o los  $50^{\circ}\text{C}$  el rango de temperaturas del equipo permite un funcionamiento óptimo.

### C. Conversión A/D

Se utilizó un microcontrolador PIC16F876A que permitió realizar la conversión análogo/digital por el pin RA0, al cual está conectada la salida del amplificador, y por el pin RA1, al cual está conectado un potenciómetro de  $1\text{Kohm}$ .

#### D. Visualización

Para la etapa de visualización se usó una pantalla LCD 16x2 (16 caracteres x 2 líneas). Se utilizaron los pines RB4 – RB7 del microcontrolador para enviar la información hacia las líneas DB4 – DB7 del bus de datos del LCD, y los pines RB2 – RB3 para los pines RS y E.

El LCD muestra la temperatura actual del cuero cabelludo y la temperatura deseada, la cual puede ser modificada por medio del potenciómetro conectado a RA1.

#### E. Control

Para realizar el control de la temperatura se utilizó un control *on-off*, el cual permitió variar la velocidad de bombeo de un motor. Esto es posible con el uso de modulación de ancho de pulsos (PWM por sus siglas en inglés).

Con el PWM se envía al motor un tren de pulsos con un periodo específico (T) pero variando dinámicamente el *duty cycle*, o ciclo de servicio, de manera que si se quiere un motor más lento o más rápido, el tiempo de alta o activación del *duty cycle* disminuye o aumenta respectivamente, pero manteniendo el tiempo restante del periodo (T) inactivada la salida.

Con el potenciómetro conectado a RA1 se modifica el *Set Point*, es decir, la temperatura deseada. En esta etapa se realiza una comparación entre el voltaje que ingresa a RA0 y a RA1 (Fig.2).

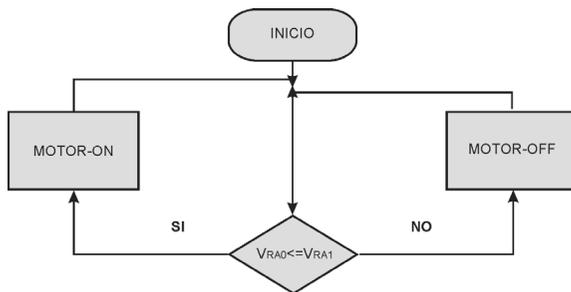


Fig. 2. Diagrama del control.

La velocidad del motor depende de la diferencia entre ambas temperaturas, haciendo que, a mayor diferencia, el motor bombee el flujo con mayor velocidad, y viceversa.

La programación del microcontrolador se realizó en el software PICBASIC PRO, el que tiene un lenguaje sencillo y fácil de entender.

#### F. Gorro

Se diseñó un gorro dentro del cual se instaló un serpentín de cobre cubierto con aluminio y lycra. A él

va conectada una manguera que transporta el líquido refrigerado (Fig. 3).

#### G. Equipo

Se utiliza una cava de icopor, y en su interior se encuentra un serpentín, que transporta el agua que se va a refrigerar. El hielo, que actúa como sistema refrigerante, se pone encima del serpentín.

Dentro de la cava, se encuentra una caja que almacena el líquido refrigerado, y además sirve de soporte para el motor que bombea el líquido. Encima de esta caja se encuentra el circuito que controla el prototipo (Fig. 4).

En la parte externa del equipo se puede observar el LCD, en donde se observan las temperaturas, igualmente hay disponible un potenciómetro que varía el *Set Point* (Fig. 5).

### III. RESULTADOS

Las etapas de sensado, amplificación, conversión A/D y visualización fueron exitosas.

En el funcionamiento del motor se logró controlar la velocidad según el intervalo de temperatura registrado en el gorro.

Se presentaron inconvenientes en el momento de realizar el control del dispositivo, ya que debido al poco tiempo de experimentación y al método escogido de refrigeración (hielos), la temperatura en el cuero cabelludo no alcanzó a ser la deseada (5–10°C).



Fig. 3. Prototipo de gorro del Scalp Cooling System



Fig. 4. Vista interior del equipo.



Fig. 5. Prototipo final del Scalp Cooling System.

#### IV. DISCUSIÓN

En conclusión, el Scalp Cooling System (SCS) es un proyecto viable, que no ha sido utilizado comercialmente en Colombia y es de gran beneficio para pacientes que están sometidos a tratamientos de quimioterapia, mejorando su autoestima y calidad de vida.

Este diseño puede ser utilizado en diversas aplicaciones que tengan relación con la regulación de la temperatura, por ejemplo, para el tratamiento de la hipotermia, utilizando en lugar de un líquido refrigerante, un calentador.

El sistema refrigerante utilizado en este proyecto es muy rudimentario, por lo tanto, puede mejorarse con una unidad refrigerante que permita llegar más rápidamente a las temperaturas deseadas.

Los materiales utilizados para la creación del gorro y del equipo también pueden ser mejorados, con el fin de prolongar el tiempo de vida de ambos y conservar por más tiempo el rango de temperatura deseado.

Se puede implementar un sistema de enfriamiento gradual tal que el paciente no sienta cambios drásticos en la temperatura del gorro y así evitar incomodidades.

Debido a que se buscó un acercamiento a un sistema termocircular, sólo se utilizó un sensor de temperatura. No obstante, se puede utilizar un número mayor de éstos para evaluar si toda el área del cuero cabelludo está siendo refrigerada de forma homogénea.

La aplicación de un software que permita realizar el control desde el computador facilitaría el manejo del equipo por parte del operario y aportaría más soluciones en el área de la salud.

#### AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al doctor Fernando Moreno quien fue el orientador para el planteamiento de la idea del proyecto. A los ingenieros Andrés Torres, Juan Carlos Ramírez, Yesid Montoya y Florián Augusto Kirby por la asesoría en el desarrollo del proyecto. Finalmente a Hernán Yarce y Fabio Zapata por su valiosa colaboración.

#### REFERENCIAS

- [1] Gravelman E. G., Reed W. P. M. Prevention of chemotherapy-induced hair loss by scalp cooling. *Annals of Oncology*, 16, 352-358, 2005.
- [2] Dean J. C., Salmon S.E., Griffith K. S., Prevention of Doxorubicin-induced hair loss with scalp hypothermia. *The New England Journal of Medicine*, 301, 1427-1429, 1979.
- [3] Adams L., Lawson N., Macted K. J., Symonds R. P. The prevention of hair loss from chemotherapy by the use of cold-air scalp-cooling, *European Journal of Cancer Care*, 1, 16-18, 1992.
- [4] Ridderheim M., Bjurberg M., Gustavsson A. Scalp hypothermia to prevent chemotherapy-induced alopecia is effective and safe: a pilot study of a new digitized scalp-cooling system used in 74 patients. *Support Care Cancer*, 11, 371-377, 2003.
- [5] Font, Elisabet. El uso de los champúes, tipos de cabellos y tratamientos específicos, ámbito farmacéutico *Dermofarmacia*, 24, 71-84, 2005.
- [6] Anderson, J.E., Hunt J. M., Smith I. E. Prevention of doxorubicin-induced alopecia by scalp cooling in patients with advanced breast cancer. *British Medical Journal*, 282, 423-425, 1981.
- [7] Tollenaar R. A. E. M., Liefers G. J., Repelaar van Driel O. J., Van de Velde C. J. H. Scalp cooling has no place in the prevention of alopecia in adjuvant chemotherapy for breast cancer. *European Journal of Cancer*, 30A, 1448-1453, 1994.