

Análisis de transientes de temperatura en las venas superficiales por medio de termografía infrarroja

J. F. G. Benítez Ferro¹, Luis F. Pérez Villa², Mario A. Valenzuela Paz³, A. González Vega¹, Carlos Villaseñor Mora^{1*}

¹Division de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Guanajuato, Campus León. León, Guanajuato. México.

²Instituto Tecnológico de Morelia, Morelia, Michoacán. México.

³Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, Baja California. México.

* vimc790303@yahoo.com.mx

Resumen—Se presenta un análisis del transiente de recuperación energética que presenta el dorso de la mano al ser sometida a un pulso negativo, en la ecuación de transferencia de calor, la temperatura es la más afectada y es la clave de la caracterización de la recuperación térmica de la mano. El estudio del comportamiento del transiente se hizo usando termografía pulsada en el rango de infrarrojo medio, analizando secuencias de imágenes y desde ellas se registró el cambio de temperatura en una sección cercana a venas superficiales del dorso de la mano, para así compararla con distintas regiones cercanas al mismo punto.

Palabras clave—IR(Infrarrojo), Termografía, PDI (Procesamiento Digital de Imágenes), ROI (Region of interest).

I. INTRODUCCIÓN

La termografía infrarroja ayuda a medir la radiación emitida por un objeto, que para temperaturas cercanas al ambiente el rango de longitud de onda comprende el uso de detectores sensibles de 7 a 14 micras[1]. Según la Ley de Planck, una vez fijada la banda de longitudes de onda, la radiación emitida por un cuerpo bajo estudio dependerá mayoritariamente de su temperatura y emisividad, variables que pueden ser medidas usando termografía infrarroja, bien puntualmente o bien en su evolución, tanto con el tiempo como a lo largo y ancho de una superficie[1].

Desde el punto de vista de imágenes, el detector puede ser una cámara que forma imágenes térmicas en diferentes escalas de color a partir de la energía que sale de la superficie a estudiar, estos tonos o colores componen una distribución de la radiación emitida por el organismo en estudio, y da una primera idea cualitativa, del comportamiento térmico [1].

El calor transmitido por radiación térmica, se transfiere por ondas electromagnéticas (fotones) que no requieren un medio para su propagación, en contraste con la transferencia de energía por conducción y convección [2], por lo tanto, el calor emitido por la superficie de la piel sobre la vena, es más alto que el calor de la propia piel y que la piel que cubre el tejido que no es de la vena (siempre y cuando no haya una anomalía que esté produciendo calor), así, la vena se observa en la imagen infrarroja como una zona con mayor o menor energía según sea el caso, esta energía observada no es necesariamente la misma en cada una de las venas, y será

más baja o nula cuando la energía de la vena no alcanza a llegar hasta la superficie de la piel, que es cuando el tejido epitelial es más grueso, si la vena presenta alguna anomalía o si hay alguna enfermedad.

Aquí se presentan los primeros resultados de la recuperación térmica de una extremidad del cuerpo mediante flujo sanguíneo, con el propósito de que a corto plazo se pueda implementar como un complemento de diagnóstico a pacientes con patologías cardíacas o problemas de diabetes. [3].

II. METODOLOGÍA

Estudio poblacional.

El estudio fue realizado con la cooperación de 30 personas de la División de Ciencias e Ingenierías, de la Universidad de Guanajuato, la población estuvo conformada por 15 mujeres y 15 hombres, con una edad promedio de 22 ± 3 años en mujeres y de 23 ± 4 años en hombres, que bajo consentimiento informado, decidieron participar. Se realizó un cuestionario a los voluntarios acerca de su salud física para determinar si tenían algún padecimiento que afectara directa o indirectamente el sistema cardiovascular, como lo es la hipertensión, hipotensión, diabetes, fractura en la mano o dedos, etc., esto con la finalidad de poder relacionar la aparición de algún dato atípico con dicha enfermedad o lesión, no hubo criterios de inclusión o exclusión, y cabe mencionar que cada mano se tomó como una medición distinta de la otra, es decir, se obtuvieron 30 medidas de mujeres y 30 de hombres.

La metodología de este procedimiento consistió en que los voluntarios se quedaran 15 minutos aclimatándose a las condiciones del lugar de la medición, donde se mantuvo un valor de temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ y humedad de 65%. Cuando el participante acudía al laboratorio reposaba en una silla y esperaba el tiempo establecido en una posición de sentado normal, una vez pasando el tiempo se pidió al voluntario introducir su mano a una cubeta de agua a una temperatura de 10°C durante un periodo de 10 segundos para hombre y 8 segundos para mujeres, pasado este tiempo, se retiró la cubeta y se quitó el exceso de agua de la mano para evitar interferencia en la adquisición de imágenes. Se pidió al voluntario que colocara su mano extendida sobre una mesa (Ver Fig.1), para adquirir las imágenes de

recuperación del transiente. Para facilitar el procesamiento posterior a la adquisición de datos, se pidió al voluntario evitar en lo máximo posible el movimiento de la mano. La adquisición de imágenes duró 5 minutos por mano.



Fig. 1.- Postura para la adquisición de imágenes.

Las imágenes fueron adquiridas con una cámara infrarroja Xenics Gobi 640 GIGE con un lente de 18 mm, la cámara está siempre estática a la distancia de 53 cm. Tomando ventaja del software de la cámara, la imagen puede ser vista directamente en el monitor de la computadora, esto ayuda a conseguir un mejor enfoque de la mano. La frecuencia de muestreo fue de 0.83 ± 0.2 Hz con una resolución de 640×480 píxeles y un rango dinámico de 2^{16} niveles de intensidad.

Una vez adquiridas las imágenes, se procedió a procesarlas digitalmente para obtener la relación de energía emitida contra tiempo. Para localizar las venas se eligió la imagen de la secuencia que mostrara mayor contraste entre vena y piel, aun así, se procedió a realizar un reescalamiento lineal (Fig.2) en una ROI que abarcara una parte del dorso de la mano para que se mapeara el valor de intensidad mínimo al 0 y el máximo a 2^{16} .

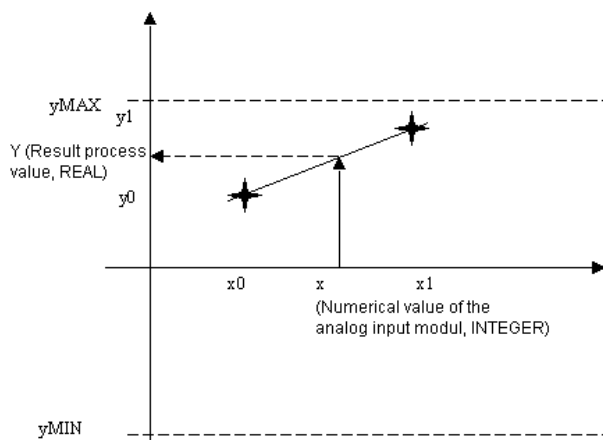


Fig.2.- Escalamiento lineal. [5].

Con base en esa imagen de referencia se eligieron nuevas regiones de interés (Fig. 3), para dar seguimiento al proceso de termorregulación. Se optó por ROI's pequeñas para compensar posibles movimientos. Los píxeles inmersos en estas ROI's fueron sumados y promediados con el área de la ROI correspondiente para tener un valor de intensidad promedio.

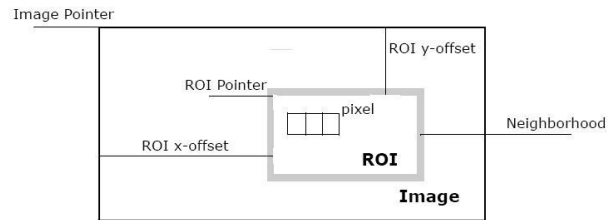


Fig. 3.- ROI (Region of Interest) [6].

Las ROI's propuestas para el experimento comprenden la rama de la vena cefálica, rama de la vena basílica, un área de la mano sin vena y área de la uña del dedo anular, en la Fig.4, se aprecia la imagen obtenida con un campo que abarca las regiones propuestas.

Otra consideración al momento de procesar las imágenes fue corregir los ajustes automáticos de la cámara IR, esto se logró normalizando cada imagen de la secuencia con base en un cuerpo negro de la marca Omega modelo BB703 el cual emitió en una potencia radiante característica a los 37°C . Se utilizó una ROI para seleccionar un área del cuerpo negro y realizar los ajustes con el promedio de intensidad de esa ROI.

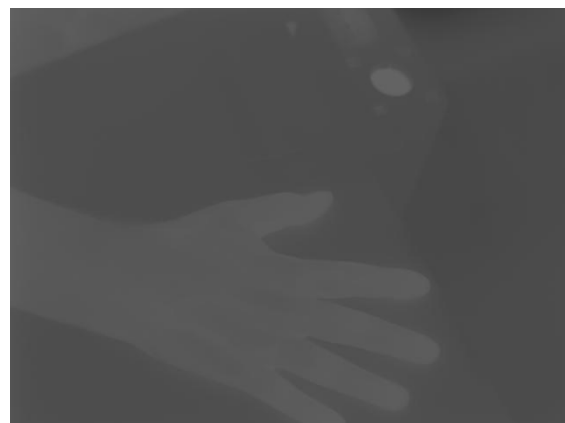


Fig. 4.- Imagen obtenida con la cámara infrarroja.

III. RESULTADOS

Se analizaron cuatro regiones diferentes de las manos; región de la vena cefálica, región de la vena basílica, una región sin vena y una región de la uña del dedo anular.

Los resultados obtenidos en los diferentes sujetos fueron reproducibles entre ellos, teniendo un comportamiento similar en las gráficas de cada una de las regiones obtenidas.

Un ejemplo de las imágenes obtenidas con la cámara infrarroja se puede apreciar en la Fig. 4, en la cual sus niveles de gris no permiten una buena visibilidad de las venas en las manos, para eso se realizó un reescalamiento lineal tomando en cuenta la zona de interés, en este caso el dorso de la mano.

La Fig. 5 muestra la misma imagen de la Fig. 4, pero ya con el reescalamiento aplicado, en donde se puede visualizar e identificar de una mejor manera las regiones de las venas para hacer su análisis. En la Fig. 6 se enumeran las diferentes regiones analizadas, indicando el nombre de cada una de estas.

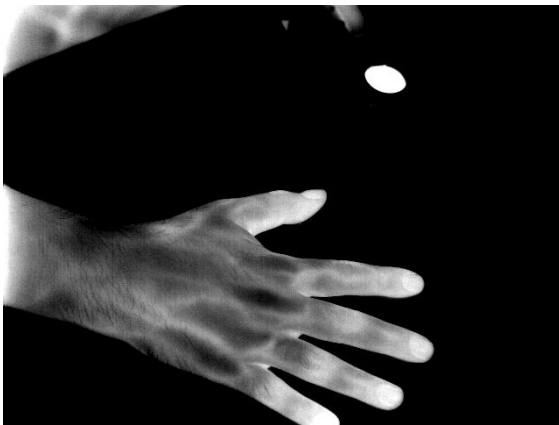


Fig. 5.- Imagen con reescalamiento lineal aplicado.

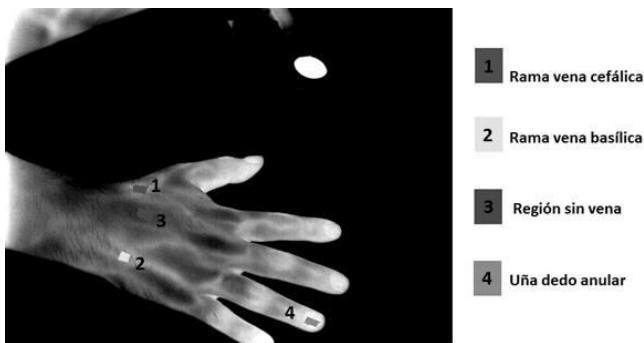


Fig. 6.- Regiones de interés para el estudio y procesamiento.

Entre la vena basilíca y la cefálica se notó un comportamiento similar, mientras que en la región sin vena se mostró una transferencia de calor un poco mayor, lo cual concuerda con la teoría de la homeostasia. En la Fig. 7 se puede observar el comportamiento de la vena cefálica graficando el nivel de intensidad energética contra el tiempo.

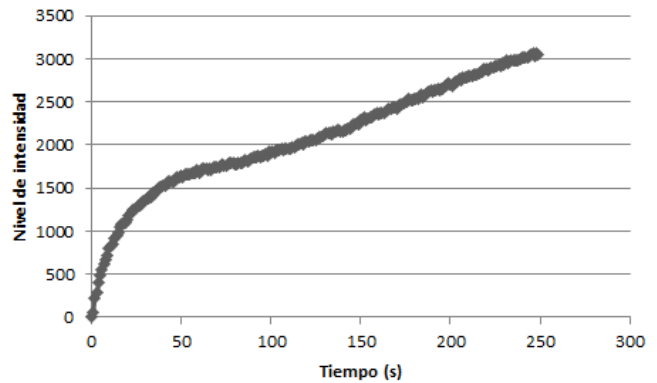


Fig. 7.- Transiente de recuperación de la vena cefálica.

En el caso de la vena basilíca se notó un comportamiento similar, en la Fig. 8 se muestra la representación del comportamiento de recuperación de ésta, notando que tiene una menor amplitud que la vena cefálica.

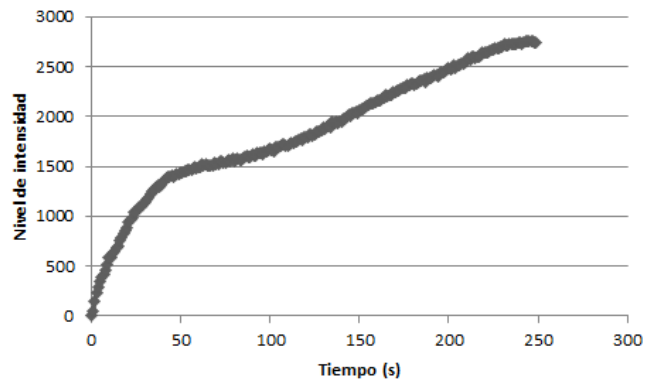


Fig. 8.- Transiente de recuperación de la vena basilíca.

Por otra parte, la región sin vena tendió a ser un poco más estable, esto debido a la termorregulación en forma homogénea en la zona superficial de la piel. Se puede notar este comportamiento sin cambios bruscos en la Fig. 9.

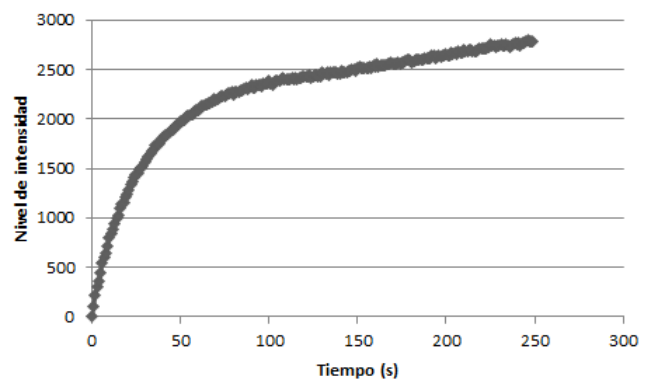


Fig. 9.- Transiente de recuperación en una región sin vena.

Por último se vio la recuperación de la región de la uña en el dedo anular, como se puede observar en la Fig. 10, en esta región la mayoría de las veces se observó un comportamiento con algunos valles antes de llegar a un nivel estable de energía.

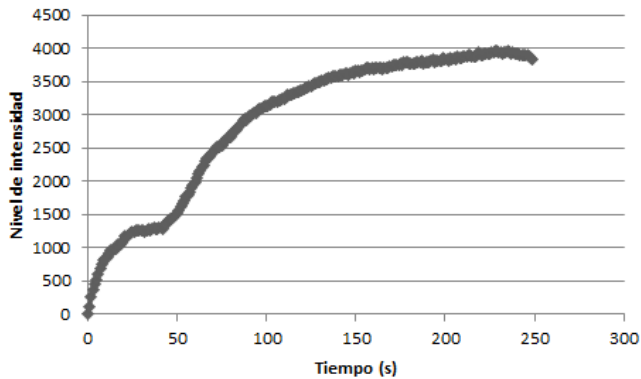


Fig. 10.- Transiente de recuperación en la uña del dedo anular.

IV. DISCUSIÓN

El cuerpo negro resultó ser una buena referencia para normalizar las imágenes con respecto a la ganancia automática de la cámara, esto se comprobó al momento de obtener las gráficas, ya que presentaron un comportamiento suave en su evolución con respecto al tiempo.

Durante la calibración del sistema, se determinó que la cámara IR es una buena herramienta de diagnóstico, pero el modelo de cámara utilizado en el experimento tiene limitación en el rango de muestreo, ya que es deseable obtener un número mayor de imágenes en el tiempo de recuperación para tener un mejor muestreo del transiente de recuperación; modificando la codificación y tamaño de la imagen se determinó la frecuencia de muestreo máxima y esta fue de 75 ± 0.1 Hz en relación al teorema de muestreo de Nyquist el máximo cambio observable es de 38 Hz aproximadamente. Para tener mejor campo de visualización se eligió la más alta resolución de la cámara (640x480 píxeles), y se utilizó una codificación de 16 bits. Bajo estos parámetros la frecuencia de muestreo se redujo a 4 Hz, pero aun así esta frecuencia fue suficiente para observar los cambios de temperatura en la mano y cambios en la región de las venas posiblemente debido a los pulsos cardíacos, pero esto último no se puede asegurar pues la velocidad de adquisición de la cámara no es óptima para definirlo.

La temperatura del agua fue determinada con base en pruebas cualitativas con 30 voluntarios distintos a los de la prueba de recuperación, se sometió la mano por periodos desde 5 y hasta 30 segundos en cubetas distintas a diferentes temperaturas y se preguntaba si el enfriamiento no causaba dolor, la temperatura mínima reportada donde los usuarios

reportaron dolor soportable fue 10°C , en este mismo procedimiento, se observó qué tiempos de recuperación se tenían y se determinó que el balance entre enfriamiento y recuperación era de 10 segundos para hombres y 8 para mujeres.

V. CONCLUSIÓN

La relación de datos obtenidos concuerda con la literatura; la transmisión térmica se da en mayor proporción en el tejido circundante a las venas y arterias, dado que la temperatura en éstas es mayor debido al mecanismo de termorregulación. En promedio las gráficas de datos del experimento arrojaron dicho comportamiento.

Se demostró que la secuencia de imágenes tomadas en el espectro IR, es una buena herramienta para el diagnóstico de patologías referentes a la termorregulación corporal en general, ya que en promedio permite apreciar cambios mínimos referentes a alguna anomalía sanguínea.

El procedimiento propuesto es una técnica no invasiva, y en cierto modo no se requiere personal especializado para lograr localizar arterias o venas. Es portátil, seguro y relativamente económico.

Se propone como trabajo a futuro:

- Realizarlo en personas con anomalías sanguíneas, por ejemplo, diabetes en diferentes etapas con el fin de encontrar una relación recurrente.
- Extender la prueba a distintas poblaciones y ampliar el rango de edad para ampliar la estadística y observar algún cambio significativo.
- Realizar el experimento en condiciones distintas a las establecidas en la metodología para visualizar si existe algún cambio significativo, por ejemplo, variar la temperatura y humedad relativa.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Fujiwara Y., Aso Y., et al. "Thermographic measurement of skin temperature recovery time of extremities in patients with type 2 diabetes mellitus". *Experimental and clinical endocrinology and Diabetes*. 2000.
- [2]. Hernandez Ruiz L., en "Obtención del espectro de absorción óptica de materiales de uso biomédico". Instituto Politécnico Nacional, Diciembre 2008.
- [3]. <http://www.fac.org.ar/tcvc/llave/c149/telayna.PDF>
- [4]. S. Peter Magnusson, The adaptability of tendon to loading differs in men and women, *International Journal of Experimental Pathology*, Volume 88, Issue 4, pages 237–240, August 2007
- [5]. Come si possono standardizzare e destandardizzare i valori analogici con STEP 7 (TIA Portal)? [Fig]. Recuperado de [https://support.industry.siemens.com/cs/document/77316903/come-si-possono-standardizzare-e-destandardizzare-valori-analogici-con-step-7-\(tia-portal\)-?dti=0&lc=it-IT](https://support.industry.siemens.com/cs/document/77316903/come-si-possono-standardizzare-e-destandardizzare-valori-analogici-con-step-7-(tia-portal)-?dti=0&lc=it-IT)
- [6]. Regions of Interest in Intel IPP. [Fig]. Recuperado de <https://software.intel.com/en-us/node/503725>