

# Hacia la Automatización del Análisis Funcional de las Articulaciones

A. Salazar y F. Prieto

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Sede Manizales  
{aesalazarj ; fprieto0} @unal.edu.co

O. Carloza

HOSPITAL INFANTIL UNIVERSITARIO. Manizales

L. Salamanca

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA. Manizales

F. Alvarez

UNIVERSIDAD DE CALDAS

Recibido para revisión May-2006, aceptado Jun-2006, versión final recibida Jun-2006

**Abstract:** This document shows the development of a system to automatic measure of movility arches used to evaluate joint functionality. The system applies digital image processing techniques to identify body markers, which are employed to estimate the movement amplitude. Results show good performance under different scene configurations. Validation of the outputs is carried out by comparison with goniometer, similar results are obtained.

## 1 INTRODUCCIÓN

Este documento presenta un sistema diseñado para la evaluación de la funcionalidad articular vía medición de arcos de movilidad con la ayuda de técnicas de procesamiento digital de imágenes. Para el caso específico se enfoca el problema a la rehabilitación de los pacientes con secuelas de quemaduras de la clínica de quemados del hospital infantil universitario Rafael Henao Toro de la ciudad de Manizales, pues este trabajo es uno de los resultados del proyecto de investigación "Diseño de una herramienta diagnóstica para el análisis funcional de personas con secuelas de quemaduras" cuya fuente de financiación es COLCIENCIAS.

Aunque los sistemas de procesamiento de imágenes se han utilizado en el tratamiento de quemaduras, estos han sido en general orientados al tratamiento estético [Roa, Gómez-Cla y Serrano (1999), Draaijers, Tempelman, Botman, Kreis, Middelkoop y van Zuijlen (2004) y Jones, Wilson y Andrews (2003)] y muy poco a la rehabilitación funcional [Tsap, Goldgof y Sarkar (2000)]. Los sistemas de visión artificial, en combinación con el modelado de la dinámica del cuerpo humano, permiten desarrollar una herramienta de bajo costo, para la ayuda a la rehabilitación funcional. Inicialmente se diseña el sistema de adquisición de imágenes, el cual consta de una cámara digital y unos marcadores corporales en forma de brazaletes: la iluminación utilizada proviene del flash que

viene con la cámara y las bombillas que posea el lugar donde se realice la adquisición. Posteriormente se hace el procesamiento de las imágenes (eliminación de ruido, segmentación), para la ubicación de las articulaciones de interés en la imagen.

Una vez determinadas estas características se establece el arco de movilidad el cual es fundamental para evaluar la funcionalidad.

## 2 ANÁLISIS DE LA FUNCIONALIDAD ARTICULAR

La evaluación y seguimiento de las alteraciones de la función articular se realiza con los datos del interrogatorio (dolor, limitación del movimiento o incapacidad para realizar las actividades cotidianas), contorno de los tejidos blandos alrededor de la articulación (presencia de edema, aumento en el diámetro por derrame articular, alteración en la forma, posturas rígidas o secundarias a contracturas musculares), y arcos de movimiento que pueden ser: flexión, extensión, abducción, aducción, rotación interna y externa, entre otros, los cuales dependen del tipo de articulación.

Para que la evaluación sea más objetiva se han utilizado algunos dispositivos (métodos de medición de los arcos de movimiento articular). El método más usado es el goniómetro, que consiste en una escala angular y métrica transparente que valora el movimiento angu-

lar en un solo plano. Es económico y disponible para cualquier entorno, pero tiene amplia variabilidad en los resultados entre los diferentes observadores limitando, no la detección de la anormalidad, sino el seguimiento de las terapias instauradas para recuperar la función y asumir decisiones quirúrgicas.

Por estas razones nace la necesidad de desarrollar un procedimiento que elimine estos problemas y establezca de manera rápida y confiable la amplitud de la movilidad articular. Además, el sistema debe ser de bajo costo, pues para que se tenga un alto impacto social debe poder ser utilizado en instituciones de primer y segundo nivel en las cuales se atiende a la mayoría de los pacientes con secuelas de quemaduras.

### 3 HACIA LA AUTOMATIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA FUNCIONALIDAD ARTICULAR

Como se mencionó en la sección anterior en el diagnóstico de la función articular influyen diversos factores, siendo el arco de movilidad uno de los más discriminantes.

Para darle objetividad a la medición de los arcos de movilidad, el primer paso es estandarizar el protocolo de evaluación de cada una de las articulaciones ya que de este modo se elimina el problema de la variación de la medida en las diferentes etapas de la rehabilitación. Este protocolo define desde la posición del paciente hasta la forma en como el evaluador debe sujetar las extremidades. La estandarización del protocolo obliga de igual forma a definir marcas corporales que sirven de guía para determinar la amplitud del movimiento.

Estas marcas están hechas de tal manera que tomen la forma de la parte del cuerpo sobre la que se coloquen, lo que indica que están hechas de un material elástico y a su vez no reflectivo para disminuir el preproceso.

El siguiente paso es automatizar la medición de los ángulos para esto se utilizan técnicas de procesamiento de imágenes que aprovechan la información de color para identificar áreas donde predomine un color en específico, además se emplea análisis de regiones para seleccionar de manera adecuada las porciones de la imagen que corresponden al marcaje corporal. Por último se hace la medición del ángulo aprovechando la información suministrada por los marcadores.

La obtención automática de la magnitud del ángulo consta de las siguientes etapas:

1. Eliminación del fondo.
2. Segmentación del marcaje corporal.
3. Determinación del eje de la extremidad en movimiento y medición del ángulo.

#### 3.1 Eliminación del Fondo

El sistema diseñado en este trabajo debe funcionar en diferentes locaciones en las cuales no se cuenta con condiciones especiales. Debido se incluye una etapa que disminuye los requerimientos de la escena de adquisición (fondo de un solo tono, iluminación controlada, tipo de vestuario, entre otras).

Para lograr esto se plantea un algoritmo con el cual se puede identificar cuales de las porciones de la imagen son útiles para obtener la magnitud del ángulo. Dicho procedimiento se describe a continuación:

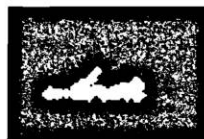
1. Tomar una imagen del lugar sin la presencia de ningún sujeto (Figura 1(a)).
2. Tomar la imagen de la evaluación del movimiento (Figura 1(b)).
3. Reducir la imagen de fondo al 5% de sus dimensiones originales.
4. Transformar las dos imágenes al espacio de color YCbCr.
5. Restar las imágenes componente a componente y umbralizar para de esta manera obtener las regiones diferentes (Figura 1(c)).
6. Aumentar el tamaño de la imagen binaria a las dimensiones de la imagen de fondo.
7. Hacer una AND entre la imagen binaria y la imagen de evaluación para obtener la región de búsqueda (Figura 1(d)).



(a) Imagen de fondo



(b) Imagen de búsqueda original.



(c) Silueta extraída



(d) Imagen de búsqueda resultante.

Figura 1: Eliminación del Fondo

### 3.2 Segmentación del Marcaje Corporal

Como ya se ha dicho este sistema requiere que a los pacientes se les coloquen unos marcadores en la extremidad comprometida con la articulación a evaluar, tratando de ubicarlos lo más separadamente posible. Estos marcadores son de color rojos, lo que da la primera clave para la ubicación automática de estos dentro de la imagen. Como se mostró en la sección anterior la región de búsqueda se disminuyó a las coordenadas de no fondo de la imagen de evaluación. Partiendo de esta imagen se desarrolla el procedimiento para la segmentación del marcaje corporal:

1. Reducir la imagen inicial (Figura 2(a)) al 20% de sus dimensiones originales.
2. Detectar las regiones donde el color rojo prevalezca y dejar las dos regiones con la mayor área (Figura 2(b)).
3. Determinar los centros de masa de cada una de las dos regiones obtenidas anteriormente y convertir sus coordenadas para ubicarlos en la imagen inicial.
4. A partir de cada uno de los centro de masa y de las dimensiones de las regiones obtenidas en el paso 2, extraer una porción de la imagen inicial (Figuras 2(c) y 2(e)).
5. La segmentación del marcador se obtiene mediante crecimiento de regiones, creciendo a partir del centro de masa de la imagen y empleando como criterio de crecimiento la predominancia del color rojo (Figuras 2(d) y 2(f)).

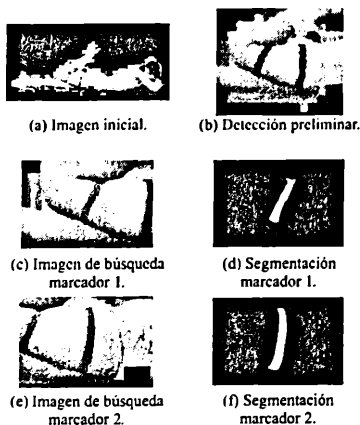


Figura 2: Segmentación del Marcaje Corporal

### 3.3 Determinación del Eje de la Extremidad en Movimiento

Una vez se tienen ubicados los marcadores dentro de la escena, se debe determinar el eje del movimiento de la extremidad y de esta manera hacer el análisis de funcionalidad articular. Para esto se lleva a cabo el siguiente procedimiento:

1. Realizar el proceso de segmentación del marcaje corporal a las imágenes inicial y final del movimiento evaluado (Figuras 3(b) y 3(f)).
2. Determinar los centros de masa de cada uno de los marcadores y trazar la línea formada por estos (Figuras 3(e) y 3(f)).
3. La magnitud del ángulo de movilidad articular se determina por el ángulo formado por las líneas obtenidas de las imágenes de las posiciones inicial y final del movimiento.

Cabe anotar que debido a que cada movimiento posee características especiales, se le debe indicar al sistema que articulación y movimiento se van a evaluar. Estas consideraciones son básicamente para los puntos de referencia que toma el sistema para determinar la magnitud del ángulo.

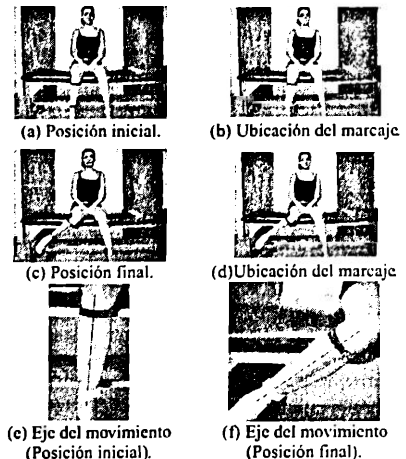


Figura 3: Determinación del Eje de la Extremidad en Movimiento

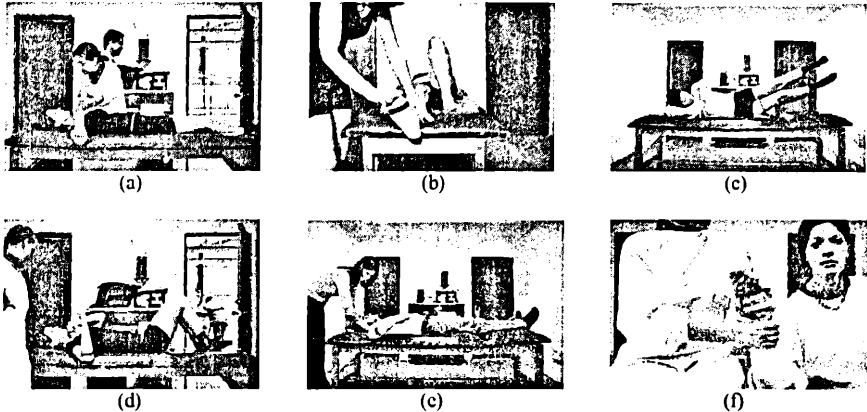


Figura 4: Pruebas bajo Diferentes Condiciones de Adquisición

## 1 RESULTADOS

### 1.1 Segmentación

El principal objetivo de las pruebas es mostrar como el sistema puede funcionar bajo diferentes configuraciones de la escena de adquisición. Como puede verse en la Figura 4 se probó el segmentador colocando diferentes fuentes de ruido tales como sujetos adicionales al paciente y al evaluador, la utilización de accesorios (aretas, collares) por parte de los sujetos, puertas abiertas, rótulos en las paredes, entre otras.

Las pruebas muestran buenos resultados aunque todavía se debe seguir trabajando en el análisis de regiones ya que en el caso donde se presenta una región roja más predominante que el marcaje corporal, la segmentación es errónea (Figura 5(b)) y de igual forma cuando la iluminación es muy pobre tonos naranjas se identifican como rojos (Figura 5(d)).

### 1.2 Arcos de Movilidad

La validación de la medición de los arcos de movilidad se hizo mediante comparación con las mediciones hechas con el goniómetro. Los resultados obtenidos muestran la precisión del método pues en el peor de los casos el error no supera los tres grados (3°), esto se debe en gran medida a que los pacientes no permanecen totalmente quietos al momento de la medición.

## 5 DISCUSIÓN

Hasta el momento se han hecho pruebas con sujetos que no poseen ningún tipo de secuela por quemaduras y con unos pocos pacientes con secuelas. Esto se debe a que el proyecto de investigación está en la etapa de diseño, pero esto da una idea de que la herramienta no está acotada a los pacientes con secuelas de quemaduras, sino que de algún modo puede utilizarse en el tratamiento de cualquier anomalía que comprometa la movilidad articular.

## 6 CONCLUSIONES

Los algoritmos de segmentación propuestos mostraron buenos resultados sin importar las fuentes de ruido presentes en la escena.

La utilización de los marcadores es indispensable para darle objetividad a la medición del arco de movilidad, ya que sin estos se tendrían los mismos problemas presentes al medir con el goniómetro.

Los errores presentados en la medición de los arcos de movilidad, indican que el sistema propuesto está listo para ser aplicado en las terapias de rehabilitación de pacientes con secuelas de quemaduras.

El sistema desarrollado es de bajo costo y de fácil accesibilidad.

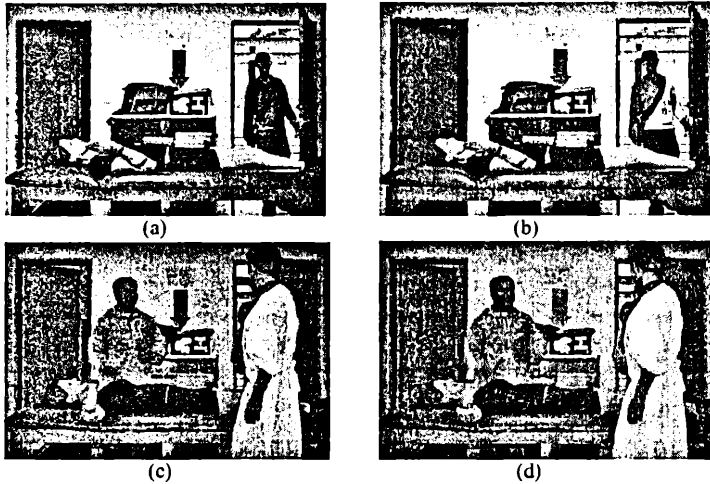


Figura 5: Fallas en la Segmentación

#### AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a los pacientes de la clínica de quemados del hospital infantil universitario Rafael Henao Toro de la ciudad de Manizales, ya que sin su colaboración no sería posible la realización de este tipo de trabajos.

#### REFERENCIAS

- Draaijers, L., Tempelman, F., Botman, Y., Kreis, R., Middelkoop, E. y van Zuijlen, P. (2004), 'Colour evaluation in scars: tristimulus colorimeter, narrow-band simple reflectance meter or subjective evaluation?'. *Elsevier, Burns* 30, 103-107.
- Jones, C., Wilson, D. y Andrews, S. (2003), 'The reliability of digital images when used to assess burn wounds', *Journal of Telemedicine and Telecare* S1. 22-21.
- Roa, L., Gómez-Cfa, T. and Acha, B. y Serrano, C. (1999), 'Digital imaging in remote diagnosis of burns', *Elsevier, Burns* 25, 617-623.
- Tsap, L., Goldgof, D. y Sarkar, S. (2000), 'Nonrigid motion analysis based on dynamic refinement of finite element models', *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 22(5), 526-543.

