

# ANTROPOMETRIA DE LA BOCA A PARTIR DE DOS VISTAS

## STEREO AND COLOR-BASED MOUTH ANTHROPOMETRY

FLAVIO PRIETO

*Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Bogotá, Colombia.*

AUGUSTO SALAZAR

*Grupo de Percepción y Control Inteligente, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Manizales, Colombia.*

Recibido para revisar Enero 27 de 2009, aceptado Julio 17 de 2009, versión final Julio 21 de 2009

**RESUMEN:** Se presenta un sistema de antropometría de la boca utilizando imágenes tridimensionales, reconstruidas a partir de dos vistas 2D. De las imágenes 3D, reconstruidas mediante técnicas de visión artificial y procesamiento digital de imágenes 2D, se extraen características faciales especialmente en la región de los labios, las cuales permiten realizar una serie de medidas antropométricas como son: ancho de la boca, alto de la boca, longitud de los lados izquierdo y derecho del labio superior, longitud del labio inferior, ancho del *philtrum*, longitud y concavidad del arco de Cupido. Las medidas antropométricas arrojadas por el sistema fueron comparadas contra medidas similares realizadas por fotogrametría 2D y la medición directa sobre el rostro. Los resultados mostraron errores inferiores al milímetro, con la ventaja que las medidas presentan menor dispersión que los otros dos métodos.

**PALABRAS CLAVE:** Antropometría de la boca, reconstrucción 3D, fotogrametría, visión por computador.

**ABSTRACT:** A mouth anthropometry system using 3D images obtained from two views is introduced. 3D face features in the lips region are extracted from reconstructed 3D images, in order to compute some anthropometric measures, like: wide of the mouth, height of the mouth, length of the left and right sides of the upper lip, length of the lower lip, width of the philtrum, length and concavity of the Cupid's arc. The anthropometric measurements obtained by using the system were compared against similar measurements obtained by 2D photogrammetry and by direct measurement on the face. Results show errors smaller than millimeter, with the advantage that 3D measurements have minor dispersion than the other methods.

**KEYWORDS:** Mouth anthropometry, 3D reconstruction, photogrammetry, computer vision.

### 1. INTRODUCCIÓN

El procesamiento de imágenes faciales es una de las áreas de mayor desarrollo dentro de los sistemas de visión artificial [1-4]. Las medidas faciales han sido variables fundamentales para determinar las características específicas de cierta raza, el establecimiento de reglas para dibujar el rostro y la cabeza, aplicaciones de carácter médico en general; interfaces hombre-máquina a través del reconocimiento automático de rostros y en seguridad. Por ejemplo, en aplicaciones médicas, el estudio de anomalías faciales en niños se realiza comparando sus medidas con datos promedio, obtenidos dentro de la población a la cual pertenece el sujeto. Las

medidas de esta población deben mostrar unos intervalos de normalidad que permitan ubicar las medidas faciales del paciente dentro de un rango, estableciendo la existencia de alteración o no dentro de ella [5].

La determinación de las medidas faciales, hecha de manera manual, es una tarea que toma mucho tiempo y en muchos casos es imprecisa, debido a la valoración subjetiva de quien realiza las medidas. Buscando mejorar la eficiencia del proceso de obtención de dichas medidas, desde inicios de los años 80 se ha venido sistematizando este proceso bajo el nombre de fotogrametría del rostro [6,7]. Sin embargo, estos

trabajos se han basado tradicionalmente en medidas bidimensionales, lo que conlleva a la introducción de un error debido a la forma tridimensional del rostro. Lo anterior, junto con la evolución de los sistemas de adquisición de imágenes tridimensionales [8], que ya han alcanzado un alto grado de precisión, permite que en la actualidad se puedan realizar análisis de imágenes faciales utilizando este tipo de tecnología [9]. No obstante, la gran mayoría de los trabajos actuales de análisis facial utilizando información 3D, están orientados a la identificación de rostros [1-3,10], esto debido posiblemente, al importante número de aplicaciones comerciales y de seguridad, dejando un vacío en aplicaciones de antropometría para cirugía reconstructiva facial [11,12].

Por lo anterior, en este trabajo se presenta un sistema de antropometría facial utilizando imágenes tridimensionales, reconstruidas a partir de dos vistas 2D. Las imágenes tridimensionales suministran información que puede permitir determinar de manera precisa la morfología facial, facilitando la planificación de un tratamiento. El trabajo se centra en la medición automática de algunas características de la boca. Pero siguiendo una metodología similar el sistema se puede ampliar para que realice un análisis antropométrico facial completo. El sistema de adquisición propuesto es un sistema estéreo activo, que combina dos cámaras CCD y una fuente de luz estructurada. Las imágenes adquiridas por las cámaras CCD son imágenes bidimensionales y, sobre ellas se realiza todo el procesamiento para extraer las características faciales de interés. Posteriormente, utilizando una técnica de reconstrucción a partir de dos vistas, estos puntos característicos son llevados al espacio tridimensional, donde se realizan las medidas antropométricas.

Este documento está compuesto, además de esta introducción y de las conclusiones generales, por tres secciones. En la Sección 2 se describen los procedimientos tradicionales de Antropometría Facial, la Sección 3 expone las técnicas para la extracción de características de la boca, y la extracción de características 3D a partir de dos vistas, finalmente se presentan los resultados en la Sección 4.

## 2. ANTROPOMETRÍA FACIAL

Se refiere al estudio de las dimensiones y proporciones de las partes del cuerpo humano, con el propósito de comprender los cambios físicos del hombre y las diferencias entre sus razas. La evaluación antropométrica facial está basada en la determinación de locaciones particulares del sujeto, para el caso más concreto, los puntos característicos del rostro, definidos en términos de las características visibles o palpables del complejo facial. Un conjunto de medidas entre dichos puntos es obtenido empleando procedimientos e instrumentos de medida exactos [13].

### 2.1 Técnicas para el estudio antropométrico facial

#### 2.1.1 Antropometría directa

Las medidas obtenidas por este método, son tomadas directamente de la superficie de la cabeza y la cara. La compleja superficie de la cara requiere un gran número de medidas incluyendo la determinación de la proyección y las distancias lineales tangenciales (medidas en milímetros), las inclinaciones y los ángulos (medidos en grados) [7]. Las medidas antropométricas pueden ser obtenidas utilizando instrumentos, como: calibrador lineal, calibrador angular, paralelómetro y Goniómetro. Para realizar las medidas, ciertas precauciones deben ser tenidas en cuenta, por ejemplo, la cabeza a ser medida debe conservarse en el plano horizontal. De manera general, los puntos de medida deben ser marcados antes de ser medidos.

#### 2.1.2 Fotogrametría bidimensional (2D)

Esta técnica se basa en la realización de las medidas a partir de las imágenes o fotografías 2D de los pacientes. En cirugía plástica reconstructiva, la documentación fotográfica es tan importante como los datos cuantitativos obtenidos de las medidas del esqueleto o de los tejidos blandos del complejo craneofacial [7].

Con estas técnicas de fotografía, las siguientes medidas han cobrado importancia: *i)* Ángulos. Seis ángulos del perfil facial pueden medirse con fiabilidad si las fotografías proporcionan contornos claros de las líneas de perfil facial. *ii)* Inclinaciones. Las medidas pueden tomarse de la frente, de perfil, de la parte superior e inferior del rostro.

### *2.1.3 Antropometría facial con imágenes tridimensionales (3D)*

Durante los últimos años, el uso de imágenes 3D en aplicaciones relativas con el rostro humano se ha incrementado, especialmente por la disponibilidad de estas tecnologías después de más de 20 años de investigación [8]. Sin embargo, el mayor número de estos trabajos se ha orientado a la identificación de rostros [1-3].

En [11] se evaluó el potencial de los sensores 3D con luz estructurada para la realización de medidas de la geometría del rostro humano. El objetivo era crear modelos virtuales del rostro humano, a partir de datos 3D obtenidos al numerizar el rostro de los sujetos y caracterizar la precisión de tales medidas. Se concluyó que la calidad de los datos 3D es suficiente para la realización de medidas con propósitos antropométricos. Sin embargo, las medidas que se realizaron estaban orientadas hacia la geometría del rostro. Adicionalmente, los puntos en los datos 3D utilizados para las medidas, se seleccionaban manualmente y no de forma automática.

Tal vez el único trabajo, a nuestro conocimiento, directamente relacionado con la antropometría facial, es el presentado en [9]. El objetivo fue comparar tres métodos diferentes de realizar medidas faciales: antropometría directa, fotogrametría 2D y estereofotogrametría 3D. Los resultados obtenidos con el método utilizando estereofotogrametría, mostraron ser comparables con los obtenidos por el método de antropometría directa. Esto no sucedió con el método de fotogrametría 2D, que arrojó medidas más alejadas. En este trabajo, se pusieron marcas en los rostros de los sujetos numerizados, para poder obtener las medidas por el tercer método. El sistema para las medidas tridimensionales

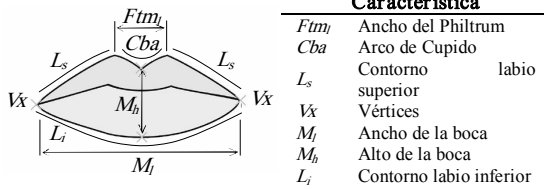
utilizó dos conjuntos de tres cámaras CCD sincronizadas, para la captura de la imagen.

En [14] se presenta un estudio que examina y compara las superficies faciales de niños con y sin labio y/o paladar hendido. Las superficies son obtenidas mediante un sistema de adquisición que utiliza tecnología láser. Las medidas utilizadas para la comparación se obtienen seleccionando, manualmente, puntos sobre las superficies digitales. En el trabajo presentado en [15], se propone un algoritmo que, si bien es utilizado para el reconocimiento de rostros, hace un análisis interesante de ciertas medidas alrededor de la nariz y los ojos. Los puntos utilizados para estas medidas son obtenidos automáticamente, a partir de los datos 3D. Un trabajo que hace un análisis biométrico de las orejas es presentado en [16], pero las medidas son utilizadas para identificación de rostros y no para análisis antropométrico. La obtención de las medidas es realizada de manera automática utilizando contornos deformables.

## **2.2 Análisis antropométrico facial**

Si bien este trabajo puede ser visto como una propuesta metodológica para realizar un análisis antropométrico facial, está enfocado al estudio antropométrico de la región de la boca. Esto debido a la importancia e impacto social que tiene la reconstrucción quirúrgica de los labios y su posterior control, en pacientes (niños) con labio y/o paladar hendido corregido.

En la reconstrucción quirúrgica de los labios, uno de los factores más importantes para evaluar los resultados de la intervención, es la estética [17]. Desafortunadamente, existe un gran número de características que deben ser consideradas para lograr una evaluación objetiva [6,7,17,18]. En este trabajo nos centraremos en el análisis del contorno externo de los labios, mediante la obtención de un conjunto de características que son consideradas como buenas descriptoras de la morfología de la boca (Figura 1). Adicionalmente, consideraremos la característica conocida como concavidad del arco de Cupido.



**Figura 1.** Características antropométricas de la boca  
**Figure 1.** Anthropometric mouth features

Las medidas serán obtenidas proporcionalmente al ancho de la boca. Este conjunto de características está orientado a establecer asimetría en las medidas, debido a su importancia para establecer la calidad de la reconstrucción quirúrgica [19].

### 3. EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE LA BOCA

Las imágenes para este trabajo fueron adquiridas bajo condiciones controladas. Para la detección y extracción de características de la boca, se utilizan técnicas basadas en imagen-píxel, las cuales presentan un desempeño adecuado cuando la calidad de las imágenes es buena. Dentro de estas técnicas se pueden destacar: el filtrado del tono, escala de grises [20] y bordes horizontales [21], entre otras.

#### 3.1 Ubicación de la boca

Inicialmente, se procede a determinar la región de la imagen donde se halla la boca, mediante el procedimiento de detección por análisis de regiones predominantes o Método DARP. Este método se encuentra descrito en [22].

#### 3.2 Extracción de los vértices

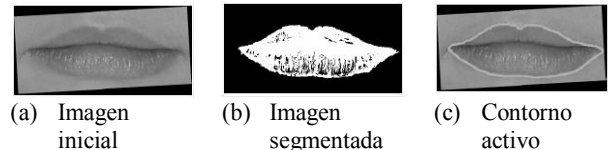
Los puntos donde se encuentran las fronteras extremas de los labios superior e inferior, son llamados vértices. La extracción de estos se realizó utilizando dos procedimientos: el método del gradiente vertical [23] y un método de reducción del espacio de búsqueda a partir de la segmentación [22].

### 3.3 Extracción del contorno exterior de los labios

Una vez se han encontrado los vértices, se toman las coordenadas de éstos como punto de partida para la extracción del contorno exterior de los labios. El siguiente paso, consiste en una segmentación detallada del contorno labial. No se utiliza la técnica de filtrado de tono porque la región resultante, a pesar de detectar correctamente la boca, no hace una adecuada descripción del contorno. Para solucionar este problema se utiliza una forma alternativa de segmentación llamada realce de rojo y umbralización dinámica (RRUD) [24].

#### 3.4 Plantilla de la boca basada en contornos activos

Con la segmentación lograda en la etapa anterior, se evidencia la posibilidad de describir de manera precisa el contorno exterior de los labios. Como una primera aproximación a dicho contorno, se utilizan contornos activos (Figura 2). El modelo empleado es el presentado en [25], donde un contorno activo es una curva paramétrica  $v(u, t) = [x(u, t), y(u, t)]$ ;  $u \in [0, 1]$ , y  $t$  determina la posición temporal de un punto en la secuencia, moviéndose a través del dominio espacial de una imagen.



**Figura 2.** Primera aproximación del contorno exterior de la boca

**Figure 2.** First outer lip contour approach

Un contorno activo es definido como una función de energía a ser minimizada, tal como la Ecuación siguiente:

$$E_{\text{Contorno Activo}} = \int_0^1 E_{\text{int}}(v(u)) + E_{\text{image}}(v(u)) + E_{\text{ext}}(v(u)) du,$$

donde,  $E_{\text{int}}$ ,  $E_{\text{image}}$  y  $E_{\text{ext}}$  son llamadas energía interna, energía de la imagen y energía externa, respectivamente. Con el objeto de reducir el tiempo de cómputo, se utilizó un algoritmo para hallar contornos activos rápidos por muestreo [26]. Después de minimizar la función de

energía del contorno, se procede con la estimación de la plantilla de la boca mediante el ajuste de cuatro funciones paramétricas polinomiales. El grado de estas es seleccionado de tal forma que la curva resultante ajuste la región de la mejor manera posible.

3.4.1 Labio inferior

Para ajustar el labio inferior se usa sólo una función que permita capturar asimetrías, ya que la imagen del contorno de los labios puede ser frontal o lateral. Las funciones de grado tres no pueden ajustar, de manera completa, la zona del labio (Figura 3(a)), por lo que se selecciona una función de grado cuatro, no necesariamente simétrica (Figura 3(b)).

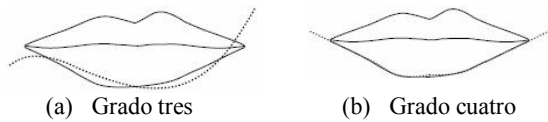


Figura 3. Ajuste del labio inferior por medio de una función polinómica

Figure 3. Polynomial approach of the lower lip

3.4.2 Labio superior

Para el ajuste del labio superior, se mantiene el mismo criterio utilizado para el ajuste del labio inferior. Ahora se requieren tres funciones polinomiales: una para el lado izquierdo, otra para el lado derecho y una tercera para el arco de Cupido. Las primeras dos funciones son utilizadas para describir  $L_s$  en los dos lados (ver la Figura 1). Una función de grado dos no permite un ajuste adecuado (Figura 4(a)), por lo que se selecciona una función de grado tres (Figura 4(b)). La última función es utilizada para ajustar  $C_{ba}$ . Con el propósito de ajustar adecuadamente toda la zona del arco de Cupido, una función de grado tres no es suficiente (Figura 4(c)), por lo que se seleccionó una función de grado cuatro (Figura 4(d)).

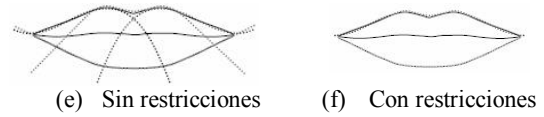
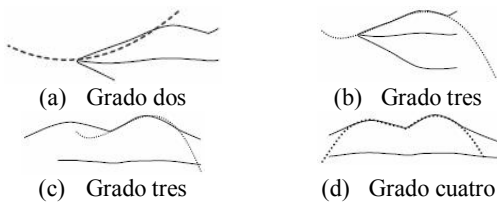


Figura 4. Ajuste de los labios usando polinomios

Figure 4. Lip polynomial approach

Las funciones son obtenidas mediante la descomposición de valores singulares del sistema de ecuaciones con restricciones, usando los puntos del contorno. Los vértices son los puntos fronteras entre la función cúbica (regiones de los lados) y las funciones de ajuste del labio inferior. Los puntos de la frontera caen sobre la proyección del punto más bajo del arco de cupido, entre la función representando la región media y las regiones de los lados. Para preservar la continuidad entre las funciones, ellas son estimadas usando puntos comunes de su vecindario (Figura 4(e) y 4(f)).

3.5 Características 3D en dos vistas

En este trabajo, se propone utilizar dos vistas del rostro para obtener un modelo tridimensional de este. Para realizar esta labor, se combinan las técnicas de extracción de características 2D de la boca, con el algoritmo de reconstrucción tridimensional presentado en [27].

Sobre la nube de puntos de un rostro (Figura 5), obtenida mediante reconstrucción estéreo utilizando la técnica presentada en [27], se debe realizar una selección de los puntos más cercanos a las zonas de interés: vértices, arco de Cupido, fronteras de la mucosa labial, etc, los cuales, en conjunto, describen las características utilizadas para la medición.

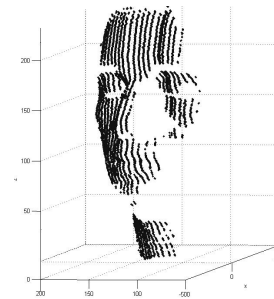


Figura 5. Nube de puntos de un rostro

Figure 5. 3D points of a face

Cada uno de los puntos que conforman la nube, corresponde a un único punto en las dos imágenes empleadas para la reconstrucción estéreo. Posteriormente, se buscan las características de manera independiente en cada una de las imágenes y luego se hace un apareamiento de los puntos encontrados.

Los puntos a poner en parejas corresponden a los puntos de la imagen que conforman el contorno exterior de los labios, obtenidos como se expuso en las subsecciones precedentes. Los puntos de control del contorno coinciden con los puntos entre los cuales se establecen las diferentes medidas antropométricas estudiadas en este trabajo. La Figura 6 muestra la extracción del contorno en dos de las imágenes utilizadas para la reconstrucción. Los puntos en color rojo corresponden a los vértices. El punto color azul en el labio superior, representa el punto más bajo del arco de Cupido, determinado a partir de los puntos de inflexión de la función que lo representa. El punto azul en el labio inferior se determina, al igual que el de arriba, con la ayuda de los puntos de inflexión; estos dos puntos se usan para la medición del alto de la boca. Los puntos color cian corresponden a la base de las columnas del *philtrum*. Los puntos de color verde, en conjunto, ayudan a que la medición de la longitud de superficie sea posible.

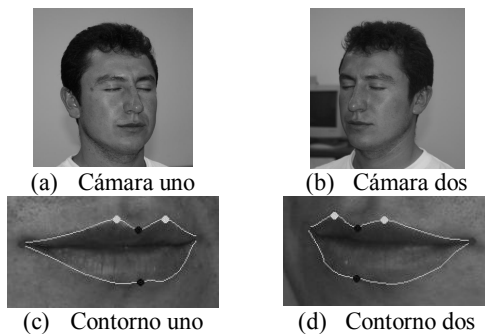


Figura 6. Contornos de los labios

Figure 6. Lips contour

Una vez seleccionados los puntos del contorno de manera independiente, deben ser puestos en parejas. Con los puntos de color rojo, azul o cian este apareamiento es sencillo, ya que ellos tienen una correspondencia uno a uno. Para los puntos verdes, este proceso de apareamiento es más difícil. Debido a la perspectiva, el número de puntos de contorno en cada imagen no es igual, y

es difícil saber cuáles puntos se corresponden con cuáles. El problema se resuelve empleando las siluetas segmentadas obtenidas como se presenta en [27] y la utilización del Algoritmo 1.

---

#### Algoritmo 1. Correspondencia del contorno

---

##### Requiere:

$Ps^j_k$ : puntos procedentes de cada una de las  $k$  siluetas segmentadas. El superíndice  $j$  determina la cámara de la cual proviene la imagen.

$Pc^j_i$ : conjunto de puntos del contorno, resultado de la evaluación de las funciones paramétricas.

##### Salida:

$Cc^j_i$ : vector de correspondencias de los puntos del contorno.

**Paso 1.** Calcular la distancia euclidiana  $d^n_m$  de  $Pc^j_i$  a los puntos  $Ps^j_m$ .

**Paso 2.** A partir de las distancias encontradas, determinar los puntos  $Ps^j_k$  cuya distancia es mínima a cada punto  $Pc^j_i$ .

**Paso 3.** Determinar los puntos  $Pc^2_i$ , correspondientes con los puntos hallados en el paso anterior.

**Paso 4.** Repetir el paso 1, únicamente con los puntos  $Pc^2_i$ .

**Paso 5.** Los puntos  $Cc^1_i$  corresponden a los puntos de contorno  $Pc^1_i$ , los puntos  $Cc^2_i$  corresponden a los puntos encontrados en el paso 4.

---

Después de determinar los puntos correspondientes se procede a reconstruir la posición tridimensional de los puntos del contorno siguiendo la técnica expuesta en [27]. La Figura 7 muestra algunos de los resultados de reconstrucción del contorno.

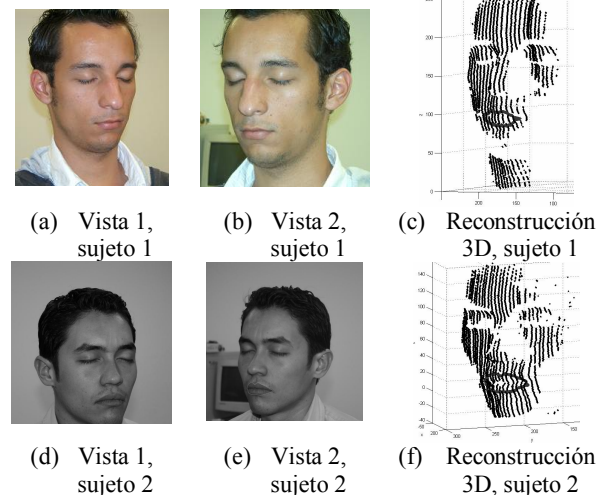


Figura 7. Reconstrucción 3D del contorno de los labios

Figure 7. 3D Lips contour reconstruction

### 4. RESULTADOS

Las medidas de la boca fueron tomadas empleando los tres métodos: Antropometría directa, Fotogrametría 2D y Antropometría con imágenes 3D. En esta Sección se presentan y comparan los resultados obtenidos por las tres técnicas.

#### 4.1 Antropometría directa

Las medidas de referencia (*Gold Standard*) con las cuales se determina la precisión de los métodos, corresponden a las obtenidas mediante antropometría directa. La Tabla 1 muestra cada una de las medidas y los instrumentos utilizados para su obtención. Los instrumentos son notados como: *CL*, Calibrador Lineal; *CM*, Cinta Métrica y *O*, Observación.

Las medidas fueron tomadas a 5 personas (3 hombres y 2 mujeres), que participaron de forma voluntaria, luego de ser informados del objeto del estudio y de que los métodos empleados no implican ningún riesgo para su salud. Las edades de los sujetos oscilan entre 23 y 27 años, y ninguno posee malformaciones faciales. Al momento de realizar la medición el sujeto estaba sentado en posición relajada. Cada una de las medidas fue tomada cinco veces, esto con el fin de evaluar la repetitividad. Los resultados de las mediciones son mostrados en la Tabla 2;  $\mu$  indica la media y  $\sigma$  la desviación estándar. Los valores están dados en milímetros. NA significa que la medida No Aplica.

**Tabla 1.** Medidas e instrumentos utilizados

**Table 1.** Measurements a tools used

Medida	Notación	Instrumento
Ancho de la boca	$M_f$	<i>CL</i>
Alto de la boca	$M_b$	<i>CL</i>
Longitud del labio superior (cada lado separadamente)	$L_s$	<i>CM</i>
Longitud del labio inferior	$L_i$	<i>CM</i>
Ancho del Filtrum	$Ftm_f$	<i>CM</i>
Longitud del arco de cupido	$Cba_f$	<i>CM</i>
Concavidad del arco de cupido	$Cba$	<i>O</i>

**Tabla 2.** Medidas obtenidas por antropometría directa

**Table 2.** Direct anthropometry results

Medida	Suj. 1		Suj. 2		Suj. 3		Suj. 4		Suj. 5	
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
$M_f$	56.1	2.46	48.3	2.38	50.9	2.76	57.5	2.42	51.1	2.52
$M_b$	17.1	2.15	18.2	2.48	39.3	2.49	20.4	2.31	17.9	2.43
$L_s$ derecho	21.2	3.48	25.8	3.13	25.9	2.99	31.9	3.30	23.3	3.14
$L_s$ izquierdo	20.5	2.97	27.6	3.25	27.5	3.15	30.1	3.11	25.1	3.17
$L_i$	69.9	3.69	65.1	3.69	65.5	3.93	69.6	3.69	61.2	3.78
$Ftm_f$	10.8	1.96	14.7	2.56	18.9	2.15	11.0	2.26	15.4	2.32
$Cba_f$	21.2	2.59	26.9	2.88	27.1	3.98	18.7	2.73	18.7	3.19
$Cba$	OK	NA	OK	NA	OK	NA	OK	NA	OK	NA

Como se muestra en la Tabla 2, los valores que presentan mayor variabilidad, corresponden a las medidas tomadas con la cinta métrica, esto se debe en gran parte a que la escala de la cinta está en milímetros, lo que implica que las décimas de milímetros deben ser aproximadas por la persona que realiza la medida.

#### 4.2 Fotogrametría 2D

La adquisición de las imágenes faciales se realiza en una escena con condiciones de iluminación controladas y ajustadas a las necesidades de la extracción automática de las características del rostro. Esto no es una limitante del sistema, ya que generalmente estas medidas se realizan en consultorios o sitios cerrados, donde estas condiciones se pueden controlar. Dentro de la configuración de la geometría de la escena, el sujeto está sentado en una silla fija, en posición frontal a la cámara fotográfica con una separación de dos metros aproximadamente. Para determinar las equivalencias entre las dimensiones de los píxeles de la imagen y el mundo real, se emplea un patrón de calibración, ubicado al costado derecho del rostro del sujeto (Figura 8). Este patrón está compuesto de cuadros blancos sobre fondo negro.



**Figura 8.** Patrón de calibración para fotogrametría 2D

**Figure 8.** Calibration pattern for 2D photogrammetry

El factor de conversión se determina contando la cantidad de píxeles que representan un centímetro en la imagen y con este valor se estima la correspondencia en milímetros. La medida utilizada, corresponde a la distancia entre los centros de masa de dos cuadros vecinos. El factor de escala con el que se trabaja, se obtiene al calcular el valor medio de las distancias calculadas de todos los cuadros visibles en la imagen. Por ejemplo, para la imagen mostrada en la Figura 8,  $1\text{mm} = 3.85$  píxeles, ó  $1$  píxel =  $0.259\text{mm}$ . La obtención de las medidas antropométricas por medio de la fotogrametría 2D, se realiza de forma automática, empleando las técnicas de extracción de características de la boca expuesto en la Sección 3 y los algoritmos descritos en [22,23]. Se tomaron cinco fotografías de cada uno de los individuos, y se realizó el mismo procedimiento que en la antropometría directa. La Tabla 3 muestra las medidas obtenidas. No se tienen en cuenta todas las medidas propuestas inicialmente, debido a que algunas de ellas corresponden a medidas de superficie. Por lo tanto, no es posible obtenerlas a partir de una sola imagen en 2D.

**Tabla 3.** Medidas obtenidas por fotogrametría 2D  
**Table 3.** Photogrammetry results using a 2D image

Medida	Suj. 1		Suj. 2		Suj. 3		Suj. 4		Suj. 5	
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
$M_f$	55.1	1.25	49.4	1.14	50.0	1.65	56.8	0.95	49.9	1.32
$M_h$	16.6	1.48	16.9	1.75	39.3	1.46	19.7	0.87	16.5	1.87
$Ftm_f$	11.2	0.98	14.1	1.16	20.8	1.26	10.8	1.12	13.6	1.59

Los resultados en la medición muestran que la obtención de las medidas de manera automática posee menor dispersión con respecto a la medición directa. Esto se debe a la estandarización del método y a la objetividad, producto del procesamiento digital de la imagen. Este resultado de menor dispersión era de esperarse, evidentemente la automatización de estos procesos elimina la subjetividad que en este tipo de medidas introducen los operarios humanos. Para evaluar la precisión de las medidas, se comparan los resultados obtenidos por esta técnica con los resultados obtenidos con la técnica de antropometría directa. Se calcula el error promedio ( $\langle \epsilon \rangle$ ) y el error cuadrático medio ( $\Delta \epsilon$ ), con sus magnitudes dadas en milímetros. Los valores son mostrados en la Tabla 4, ellos evidencian la precisión del método, con errores

promedio alrededor de  $1\text{mm}$  y valores de dispersión menores a  $1\text{mm}$ . Esto nos permite sugerir que esta técnica es precisa y consistente, medición tras medición. La gran desventaja de la técnica recae en su limitado campo de acción, al no poder realizar mediciones de superficie. Esta limitación no se presenta, en la técnica de antropometría con imágenes tridimensionales.

**Tabla 4.** Fotogrametría 2D vs Antropometría directa  
**Table 4.** 2D photogrammetry vs. Direct anthropometry

Medida	$\langle \epsilon \rangle$	$\Delta \epsilon$
$M_f$	1.01	0.19
$M_h$	0.79	0.60
$Ftm_f$	1.13	0.67

#### 4.3 Antropometría con imágenes 3D

La alternativa de solución al problema antes mencionado es la utilización de modelos tridimensionales del rostro, utilizando las técnicas presentadas en la Sección 3 y en [27]. Siguiendo lo descrito en dicha sección, se reconstruyó el rostro de cada uno de los individuos, utilizando un sistema de adquisición como el que se presenta en la Figura 9. El sistema combina dos cámaras CCD (estéreo), separadas entre ellas a un metro de distancia, y una fuente de luz estructurada. La fuente de luz estructurada se obtiene a partir de un haz de láser de diodo, que pasa por un elemento refractor, haciendo que este se proyecte como una línea. Un motor de paso se encarga de mover un espejo que refleja el haz láser, haciendo posible el barrido del objeto a adquirir. Este dispositivo de luz estructurada es la caja negra sobre el escritorio en la Figura 9. El paciente se ubica a dos metros de la fuente de luz estructurada. La densidad de la nube de puntos de la imagen reconstruida depende de la resolución de la cámara, de la distancia al objeto y del paso de barrido de la línea de luz estructurada.



**Figura 9.** Sistema de adquisición de imágenes 3D  
**Figure 9.** 3D image acquisition system



Sobre las imágenes reconstruidas se realizaron las mismas medidas que en la antropometría directa. La Tabla 5 muestra las medidas obtenidas. Los resultados en la medición antropométrica con imágenes tridimensionales muestran menor dispersión con respecto a las medidas por antropometría directa. Esto es debido, entre otras razones, a que las medidas son totalmente objetivas. Esta baja dispersión, reafirma la importancia que esta tecnología tiene para la realización de medidas en este tipo de aplicaciones. Las medidas estándar utilizadas en la antropometría facial son las obtenidas por medio de la antropometría directa, por esta razón, en la Tabla 6 se presentan el error promedio  $\langle \varepsilon \rangle$  y el error cuadrático medio  $\Delta \varepsilon$  (magnitudes dadas en milímetros), de las medidas realizadas mediante la antropometría con imágenes tridimensionales y la antropometría directa.

**Tabla 5.** Medidas antropométricas con imágenes 3D  
**Table 5.** Anthropometry results using a 3D image

Medida	Suj. 1		Suj. 2		Suj. 3		Suj. 4		Suj. 5	
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
$M_l$	55.9	0.99	49.1	1.05	49.8	0.89	58.3	1.02	52.2	0.99
$M_h$	16.8	0.79	19.1	1.45	38.7	0.91	21.1	1.12	18.7	1.61
$L_s$ derecho	20.6	1.24	26.2	1.99	24.7	1.58	32.5	1.61	24.3	1.73
$L_s$ izquierdo	19.8	1.13	28.1	1.92	26.9	1.98	31.3	1.52	25.9	1.81
$L_i$	69.1	1.56	65.9	2.04	64.8	2.02	70.4	1.80	62.1	1.95
$Ftm_l$	11.1	1.17	15.2	1.69	17.6	1.34	12.8	1.43	16.3	1.49
$Cba_l$	20.9	1.14	27.4	1.59	26.5	2.12	19.9	1.36	19.2	1.69
$Cba$	OK	NA	OK	NA	OK	NA	OK	NA	OK	NA

**Tabla 6.** Antropometría 3D vs Antropometría directa  
**Table 6.** 3D Anthropometry vs. Direct anthropometry

Medida	$\langle \varepsilon \rangle$	$\Delta \varepsilon$
$M_l$	0.80	0.37
$M_h$	0.66	0.23
$L_s$ derecho	0.76	0.33
$L_s$ izquierdo	0.76	0.27
$L_i$	0.74	0.15
$Ftm_l$	0.78	0.39
$Cba_l$	0.62	0.34
$Cba$	OK	NA

Los valores mostrados en la Tabla 6, evidencian la precisión de esta técnica, con errores promedio menores a 0.8 mm y valores de dispersión menores a 0.4 mm. Estos valores permiten concluir que esta técnica es precisa, ya que además de presentar un error bajo, cuando se compara con la técnica de antropometría directa, presenta un valor de dispersión mucho menor.

Finalmente, al comparar las tablas 4 y 6, se concluye que la metodología propuesta, presenta mejor desempeño que la técnica de fotogrametría 2D. Lo que se evidencia no sólo por los valores de error promedio y de error cuadrático medio más bajos, sino también por el mayor número de medidas antropométricas que se pueden realizar. Esto debido a la invariancia del método con respecto a la rotación de la cabeza del sujeto, y gracias a que al utilizar dos imágenes de intensidad, no se tienen los problemas de perspectiva que se presentan en la fotogrametría 2D, que sólo utiliza una. También, al utilizar varias imágenes 2D, se logra reproducir la forma tridimensional de los rostros, lo que permite realizar medidas en superficies.

### 5. CONCLUSIONES

Se ha propuesto un sistema de antropometría facial utilizando imágenes tridimensionales, reconstruidas a partir de múltiples vistas 2D. El sistema se evaluó en cinco sujetos. Sobre cada uno se realizaron 8 medidas. Cada medida fue tomada cinco veces, con el fin de evaluar la repetitividad. Con el objeto de evaluar los resultados, las medidas se realizaron también por la técnica de antropometría directa y por la técnica de fotogrametría 2D. Los resultados mostraron las bondades del sistema propuesto, al ser comparados contra la técnica de fotogrametría 2D: mayor número de medidas antropométricas, mayor precisión y menor dispersión. Al compararse contra la técnica de antropometría directa, la cual es considerada la medida estándar, arrojó un error que en general fue inferior al milímetro, con la ventaja que las medidas presentan menor dispersión.

La región facial de interés en este trabajo fue la región de la boca, por lo que el proceso de extracción de características fue orientado hacia esta región. Sin embargo, un gran número de los algoritmos y técnicas empleados, pueden extenderse para la extracción de otras características faciales. Finalmente, es de anotar que un sistema de antropometría facial como el presentado, puede tener múltiples aplicaciones: determinación de los índices de normalidad facial, planificación de cirugías y seguimiento

del proceso de cicatrización, desarrollo de modelos faciales realísticos para animación por computador, etc.

## REFERENCIAS

- [1] BOWYER, K.W., CHANG, K. AND FLYNN, P. A survey of approaches and challenges in 3D and multimodal 3D+2D face recognition. *Computer Vision and Image Understanding*, 101, 1-15, 2006.
- [2] ANSARI, A.N. AND ABDELMOTTALEB, M. Automatic facial feature extraction and 3D face modeling using two orthogonal views with application to 3D face recognition. *Pattern Recognition*, 38, 2549-2563, 2005.
- [3] ZHAO, W., CHELLAPPA, R., ROSENFELD, A. AND PHILLIPS, P. Face recognition: A literature survey. *ACM Computing Surveys*, 35(4), 399-458, 2003.
- [4] PANTIC, M. AND ROTHKRANTZ, J.M. Automatic analysis of facial expressions: The state of the art. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(12), 1424-1436, 2000.
- [5] QUINTERO, C., CHACÓN, J.A., MONTOYA, J. Y LÓPEZ, J.F. Antropometría facial en niños entre 3 y 5 años de la ciudad de Manizales. *Reporte Técnico*, Manizales, Caldas: Universidad de Caldas, 1999.
- [6] FARKAS, L.G., BRYSON, W. AND KLOTZ, J. Is photogrammetry of the face reliable? *Plastic and Reconstructive surgery*, 66, 1980.
- [7] FARKAS, L.G. Antropometría normal y patológica en cabeza y cara. *Cirugía Plástica, Reconstructiva y Estética*, 2, 1994.
- [8] BLAIS, F. Review of 20 years of range sensor development. *Journal of Electronic Imaging*, 13(1), 231-240, 2004.
- [9] GHODDOUSI, H., EDLER, R., HAERS, P., WERTHEIM, D. AND GREENHILL D. Comparison of three methods of facial measurement. *Int. Jour. Oral Maxillofac. Surg.*, 36, 250-258, 2007.
- [10] CHANG, K.I., BOWYER, K.W. AND FLYNN, J.F. Multi-modal 2D and 3D biometrics for face recognition. *Proceedings of IEEE International Workshop on Analysis and Modeling of Faces and Gestures (AMFG03)*. Nice, France, 187-194, October 2003.
- [11] CARNICKÝ, J. AND CHORVÁT, D. JR. Three-dimensional measurement of human face with structured-light illumination. *Measurement Science Review*, 6(1), 1-4, 2006.
- [12] BIANCHI, S.D., SPADAB, M.C., BIANCHI, L., VERZÈ, L. VEZZETTI, E., TORNINCASA, S. AND RAMIERI, G. Evaluation of scanning parameters for a surface colour laser scanner. *Proceedings of the 18th International Congress and Exhibition: Computer Assisted Radiology and Surgery*. Chicago, USA, 1162-1167, June 2004.
- [13] DECARLO, D., METAXAS, D. AND STONE, M. An anthropometric face model using variational techniques. *Proceedings SIGGRAPH*, Orlando, USA, 67-74, July 1998.
- [14] DUFFY, S., NOAR, J.H., EVANS, R.D. AND SANDERS, R. Three-dimensional analysis of the child cleft face. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal*, 37(2), 137-144, 2000.
- [15] CHANG, K.I., BOWYER, K.W. AND FLYNN, P.J. Multiple nose region matching for 3d face recognition under varying facial expression. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 28(10), 1695-1700, 2006.
- [16] YAN, P. AND BOWYER, K.W. Biometric recognition using 3D ear shape. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 29(8), 1297-1308, 2007.
- [17] MILLARD D.R. *Cleft Craft: The Evolution of its Surgery*, Vol I. Unilateral

deformity. Little, Brown and company, Boston, Massachussets, 1976.

[18] KRIMMEL, M., KLUBA, S., BACHER, M., DIETZ, K., REINERT, S., FARKAS, L., BRYSON, W., AND KLOTZ, J. Digital surface photogrammetry for anthropometric analysis of the cleft infant face. *Cleft Palate-Craniofacial Journal*, 43, 2006.

[19] FERRARIO, V.F., SFORZA, C., DELLAVIA, C., TARTAGLIA, G.M. COLOMBO, A. AND CARÙ, A. A quantitative three-dimensional assessment of soft tissue facial asymmetry of cleft lip and palate in adult patients. *The Journal of Craniofacial Surgery*, 14, 2003.

[20] RAO, R. AND MERSEREAU R. Lip modeling for visual speech recognition. *Proceedings of 28th Annual Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computer*, Pacific Grove, USA, 2, November 1994.

[21] STIEFELHAGEN, R. YANG, J. AND MEIER, U. Real time lip tracking for lip reading. *Proceedings of Eurospeech*, Rhodes, Greece, September 1997.

[22] SALAZAR A. AND PRIETO, F. Extracción y clasificación de posturas labiales en niños entre 5 y 10 años en la ciudad de Manizales. *DYNA: Revista de la Facultad de Minas Universidad Nacional de Colombia*, 150, 175-188, 2006.

[23] COIANIZ, T., TORRESANI, L. AND CAPRILE B. 2D deformable models for visual speech analysis. *Tech Report, Istituto per la Ricerca Scientifica e Tecnologica*, 1996.

[24] SALAZAR, A., HERNÁNDEZ, J. AND PRIETO, F. Automatic quantitative mouth shape analysis. *Lecture Notes in Computer Science*, 4673, 416-423, 2007.

[25] KASS, M., WITKIN, A. AND TERZOPOULOS, D. Snakes: Active contour models. *Int. J. Computer Vision*, 1(4), 321-331, 1987.

[26] HERNÁNDEZ, J., PRIETO, F. AND REDARCE, T. Fast active contour for sampling. In *CERMA 06: Proceedings of the Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference*, Cuernavaca, México, 9-13, Octubre 2006

[27] SALAZAR, A., SÁNCHEZ, L. AND PRIETO, F. Sistema de adquisición de imágenes de rango con base en estéreo-activo. *DYNA: Revista de la Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia*, 153, 301-311, 2007.