



EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE ROSTRO HUMANO A PARTIR DE IMÁGENES

ADRIANA XIMENA QUINTERO FORERO

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA EN MULTIMEDIA
BOGOTÁ D.C.
2016

Este documento está preparado para ser impreso a doble cara.

Extracción De Características Morfológicas De Rostro Humano A Partir De Imágenes

Adriana Ximena Quintero Forero

Trabajo de grado para optar por el título de:
Ingeniería En Multimedia

Director: Eduard Leonardo Sierra Ballén
Ingeniero de Sistemas
Docente

Universidad Militar Nueva Granada
Facultad De Ingeniería
Ingeniería En Multimedia
Bogotá D.C.
2016

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá D.C., 22 de Enero de 2016.

A mi familia por ser el motor que
ha inspirado todas mis luchas.

*“La travesía de mil millas
empieza con un paso.”*

Lao -Tsé.

Agradecimientos

El autor expresa sus agradecimientos:

Primero que todo a Dios, por hacer posible que cada mañana vea la luz de un nuevo día y guiarme en este camino.

A mi familia, pues sin su entrega, dedicación, paciencia y enormes esfuerzos nada de esto hubiese sido posible, por ser ese motor que me impulsa siempre para alcanzar mis metas sin importar que tan difícil es el camino, pues es la única manera que tengo para retribuirles todo lo que hacen por mí.

A mi compañero de vida, Heymar Hernández P. por ser mi apoyo incondicional en los momentos de crisis y ayudarme a ver desde otras perspectivas los problemas a los que me enfrenté en el desarrollo de este proyecto.

A mis amigos y compañeros por compartir sus conocimientos, que como pequeños granos de arena fueron contribuyendo en mi formación como profesional.

A todos los docentes del programa, por ser quienes a diario aportan y comparten sus conocimientos y experiencia con nosotros y a su vez, por incentivar ese interés por la investigación y el desarrollo. Gracias a mi director de proyecto Eduard Sierra por apoyarme y alentarme en el desarrollo de este proyecto.

Este trabajo se enmarca en el proyecto INVING1763, “Identificación de características de personajes a partir de una historia”, de 2015, financiado con recursos de la Universidad Militar Nueva Granada, los autores agradecen el apoyo brindado por la UMNG.

Resumen

Los avances en el desarrollo de metodologías para el análisis de rostros humanos evolucionan de manera constante debido a la gran demanda que existe actualmente para dar lugar al desarrollo de contenidos en diferentes áreas a partir de este análisis. Una de las más grandes dificultades es que aún no se ha logrado obtener una metodología que sea totalmente confiable, ya que es una temática difícil de abordar desde el punto de vista de que hay un sinnúmero de variables involucradas que pueden alterar los resultados de estos desarrollos, dentro de las que se encuentran los rasgos faciales, el color de la piel, características propias de la población, la edad, entre otros.

Dada esta problemática, y por medio de un sólido trabajo de investigación y conocimientos previos, el trabajo que se presenta a continuación tiene como fin describir el proceso de desarrollo y aplicación de una técnica que servirá para la extracción de características morfológicas del rostro humano a partir de imágenes.

El trabajo se basa en un estudio teórico de los componentes biométrico, morfológico, antropométrico y forense, que sirven de base para la identificación de las características o medidas cuantitativas y características o descriptores cualitativos útiles para dichos estudios y referentes para poder crear técnicas o métodos computacionales. De este estudio se identifican 12 medidas cuantitativas, se relacionan con 24 descriptores cualitativos que apoyan un vocabulario asociado a la descripción de rostros.

Para la extracción de características se propone un método que se compone de cuatro partes fundamentales: Detección de características, segmentación, identificación de puntos faciales y finalmente extracción de características. Para la implementación de este método se desarrolla una técnica basada en procesamiento de imágenes que permite identificar 35 puntos de referencia con los cuales se calculan las 12 medidas y las 24 características del rostro.

Las pruebas para evaluar el desempeño de la técnica de extracción de características morfológicas se realizó con la base de datos FERET de la cual se seleccionaron 96 imágenes con diferentes características poblacionales, diferentes

edades y se realizaron pruebas con algunos objetos adicionales en el rostro con el fin de poner a prueba el método bajo diferentes condiciones.

Palabras Clave – Biometría, morfología, antropometría, imagen, procesamiento de imágenes, extracción, detección de rostros.

Contenido

	Pág.
Capítulo 1. Introducción	1
Capítulo 2. Objetivos	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
Capítulo 3. Planteamiento del Problema	5
3.1. Definición del problema	5
3.2. Justificación	6
3.3. Delimitación	6
Capítulo 4. Marco de Referencia	9
4.1. Antecedentes	9
4.2. Patrones faciales	11
4.2.1. Rostro	12
4.2.2. Somatotipo facial	12
4.3. Biometría	16
4.4. Detección de rostros	17
4.5. Métodos de detección de rostros y sus características	18
4.5.1. Métodos basados en rasgos faciales [9]	19
4.5.2. Métodos basados en la imagen o técnicas holísticas	19
4.5.3. Algoritmos de Boosting	20
4.6. Método de Viola-Jones	20
4.6.1. Descripción del método	21
4.7. Procesamiento de imágenes	25
4.7.1. Modelo de color	26
4.7.2. Segmentación	29
Capítulo 5. Método de extracción de características morfológicas de rostro humano a partir de imágenes	33
5.1. Materiales	33
5.1.1. Software	33
5.1.2. Imágenes de prueba	34
5.2. Método	36
5.2.1. Partes del sistema	37
Capítulo 6. Resultados	57

6.1. Preparación de la imagen.....	57
6.2. Resultados de la detección de rasgos.....	58
6.2.1. Detección de rostros.....	58
6.2.2. Detección de las características ubicadas dentro del rostro.....	59
6.3. Segmentación y detección de los puntos faciales.....	60
6.3.1. Ojos.....	60
6.3.2. Cejas.....	64
6.3.3. Nariz.....	67
6.3.4. Boca.....	69
6.4. Características cuantitativas y cualitativas.....	73
6.4.1. Rostro.....	74
6.4.2. Altura del Labio Superior.....	75
6.4.3. Altura del Labio Inferior.....	75
6.4.4. Separación de los ojos.....	76
6.4.5. Nariz.....	77
Capítulo 7. Conclusiones.....	79
Capítulo 8. Bibliografía.....	81
Anexo 1. Estudio de medidas faciales.....	85
Anexo 2. Vocabulario.....	86
Anexo 3. Medidas Faciales encontradas.....	87
Anexo 4. Proporciones faciales.....	91

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 - Clasificación de las 96 imágenes seleccionadas.	35
Tabla 2 - Propiedades de los objetos a detectar.....	40
Tabla 3 - Proporciones de los rasgos a encontrar.	41
Tabla 4 - Tamaño de las imágenes de entrenamiento de Viola-Jones.....	42
Tabla 5 - Puntos faciales antropométricos.....	50
Tabla 6 - 12 Medidas Faciales utilizadas en el desarrollo de la técnica	53
Tabla 7 - Comparación entre diferentes factores de escala de la imagen.....	57
Tabla 8 - Porcentaje de aciertos de detección de las características del rostro..	59
Tabla 9 - Resultados de la detección de los puntos del Ojo Izquierdo.	62
Tabla 10 - Resultados de la detección de los puntos del Ojo Derecho.....	62
Tabla 11 - Resultados de la detección de los puntos de la ceja Izquierda.	65
Tabla 12 - Resultados de la detección de los puntos de la ceja Derecha.	65
Tabla 13 - Resultados de la detección de los puntos de la nariz.	68
Tabla 14 - Resultados de la detección de los puntos de la boca.	70
Tabla 15 - Ejemplo de las medidas faciales obtenidas	73
Tabla 16 - Ejemplo de las proporciones faciales	74

Lista de Gráficas

	Pág.
Gráfica 1 - Desempeño de la segmentación en la región ocular	61
Gráfica 2 - Detección total de los puntos del Ojo Izquierdo.	62
Gráfica 3 - Detección total de los puntos del Ojo Derecho.....	63
Gráfica 4 - Desempeño de la segmentación de la ceja.	64
Gráfica 5 - Detección total de los puntos de la ceja Izquierda	65
Gráfica 6 - Detección total de los puntos de la ceja Derecha	66
Gráfica 7 - Desempeño de la segmentación de la nariz.....	67
Gráfica 8 - Detección total de los puntos de la nariz	68
Gráfica 9 - Desempeño de la segmentación de la boca	69
Gráfica 10 - Detección total de los puntos de la boca.....	70
Gráfica 11 - Forma de la cara	74
Gráfica 12 - Alto del labio superior	75
Gráfica 13 - Alto del labio Inferior	75
Gráfica 14 - Separación de los ojos	76
Gráfica 15 - Análisis de la nariz	77

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 - Formas faciales de Pösch	12
Figura 2 - Ejemplo de puntos faciales	13
Figura 3 - Medidas de la cabeza.....	14
Figura 4 - Medidas Faciales	14
Figura 5 - Medidas orbitarias.....	15
Figura 6 - Medidas Nasolabiales	15
Figura 7 - Clasificación de los Sistemas Biométricos.....	17
Figura 8 - Tipos de características Haar utilizados por Viola-Jones.	21
Figura 9 - Ejemplo de los rasgos que puede capturar una característica.....	22
Figura 10 - Cálculo de la imagen integral.....	23
Figura 11 - Descripción de los clasificadores cascada propuestos por Viola-Jones.....	24
Figura 12 - Modelo de color RGB.....	26
Figura 13 - Modelo de color L*a*b*.....	27
Figura 14 - Modelo de color HSL/HSV	28
Figura 15 - Modelo de color YCbCr	28
Figura 16 - Comparación entre algoritmos de segmentación	31
Figura 17 - Ejemplo de la muestra seleccionada de la base de datos a color FERET. ..	35
Figura 18 - Esquema general del sistema.....	37
Figura 19 - Esquema de detección de rostros.	39
Figura 20 - Detección de rostros.	39
Figura 21 - Esquema de detección de las zonas de interés ubicadas dentro del rostro. .	40
Figura 22 - Área de búsqueda de los ojos y detección de estos.....	42
Figura 23 - Área para ubicación de las cejas.	42
Figura 24 - Área de búsqueda de la nariz y la detección de esta en la cara.	43
Figura 25 - Recortes de la imagen con los rasgos encontrados.	43
Figura 26 - Esquema de Segmentación de rasgos.....	44
Figura 27 - Ejemplo de ajuste de la intensidad en una imagen de ojo derecho.	45
Figura 28 - Pre-procesamiento y segmentación de los ojos.....	46
Figura 29 - Pre-procesamiento y segmentación de las cejas.....	47
Figura 30 - Pre-procesamiento y segmentación de la nariz.....	48
Figura 31 - Pre-procesamiento y segmentación de la boca.	49

Figura 32 - Esquema de Puntos Faciales.	50
Figura 33 - Esquema de extracción de medidas.	52
Figura 34 - Resultados de la detección de rostros en las imágenes de prueba.....	58
Figura 35 - Comparación de la detección de características en el rostro.....	59
Figura 36 - Ejemplo de la segmentación de los ojos.	61
Figura 37 - Esquema del proceso de detección de los puntos de los ojos.....	63
Figura 38 - Esquema del proceso de detección de los puntos de las cejas.....	66
Figura 39 - Esquema del proceso de detección de los puntos de la nariz	68
Figura 40 - Esquema del proceso de detección de los puntos de la boca.....	71
Figura 41 - Puntos faciales detectados de manera automática por la técnica.	72
Figura 42 - Ejemplo de los puntos detectados	73

Capítulo 1

Introducción

La constante evolución de las tecnologías y de áreas como la inteligencia artificial, computación gráfica, procesamiento de imágenes, entre otras, han tenido como objetivo primordial la búsqueda constante de desarrollos que le permitan a la humanidad obtener resultados que sean día a día más eficientes en relación con el tiempo. Es así, como las nuevas tecnologías nos permiten llegar a desarrollos que hace unas décadas hubieran sido difíciles de lograr, aprovechando las posibilidades actuales como las mejoras en los sistemas de procesamiento y los avances de diferentes ciencias.

Ese constante interés por optimizar los procesos y crear estándares para analizar a gran escala diferentes variables, ha sido evidente en muchas áreas, en el caso de lo que compete al estudio de rasgos faciales y la detección de sus características, se tienen antecedentes desde el siglo XIX cuando se plantean estudios para la identificación de personas por medio de la técnica del *Bertillonaje* donde se construían fichas que incluían datos acerca de los rasgos de la frente, la nariz, orejas, entre otros, esta técnica en ese entonces fue implementada como herramienta para identificar los rasgos de los criminales. [1]

Desde entonces y con diferentes intereses, se han ido estructurando poco a poco métodos computarizados que en conjunto con el procesamiento de imágenes han dado lugar a numerosos sistemas de detección de rostros orientados principalmente al reconocimiento facial para la identificación de personas, pero, en los últimos años, estos sistemas también se han involucrado en el desarrollo de contenidos para el entretenimiento, como seguimiento de rasgos faciales, análisis de expresiones faciales, animación, sistemas de interacción hombre-máquina, entre otros. El problema con estos sistemas en la mayoría de los casos es que tienen la información de variantes faciales de diferentes países con rasgos poblacionales muy específicos, además de problemas ya de por sí comunes en el procesamiento de los rostros como la variación de la forma de la cara definida por características genéticas, biológicas, rasgos faciales y la simetría.

Dada esta problemática, y por medio de un sólido trabajo de investigación y conocimientos previos, se pretende seguir avanzando en el área de investigación y desarrollo, proponiendo así, el desarrollo de una técnica de extracción de características morfológicas de rostro humano a partir de imágenes, en donde no intervenga de forma determinante aspectos como el origen poblacional, por el contrario, lograr un desarrollo que permita ingresar una fotografía y obtener como salida la identificación de las principales características del rostro, sin limitarse a obtener la información de la ubicación de las áreas de la nariz, los ojos y la boca.

El documento que se desarrolla a continuación está organizado por capítulos de la siguiente manera:

Capítulo 3, encontramos la definición del problema, la justificación y la delimitación de cómo este será tratado en el desarrollo de la investigación.

Capítulo 4, correspondiente a la estructura teórica que fue utilizada como soporte para el desarrollo del presente trabajo de grado.

Capítulo 5, es el capítulo principal de este trabajo, pues en este se explica el proceso y las metodologías utilizadas para el desarrollo de la técnica de extracción de características morfológicas de rostro humano a partir de imágenes y los respectivos métodos computacionales implementados a los que se dieron lugar a partir de la investigación.

Capítulo 6, despliega los resultados de las pruebas de la técnica de extracción realizadas a una serie de imágenes a partir de las cuales se da una discusión sobre estos resultados.

Capítulo 7, se presentan las conclusiones desarrolladas a partir de todo el proceso de exploración, desarrollo e implementación y además, las recomendaciones para la continuación del trabajo a futuro.

Capítulo 2

Objetivos

2.1 Objetivo general

Desarrollar una técnica que permita extraer características morfológicas de rostro humano a partir de imágenes.

2.2 Objetivos específicos

1. Identificar características cualitativas y cuantitativas para la descripción morfológica de un rostro.
2. Implementar una técnica para extraer características morfológicas de un rostro a partir de imágenes.
3. Evaluar los resultados de la técnica de extracción de características morfológicas de rostro humano a partir de imágenes.

Capítulo 3

Planteamiento del Problema

3.1 Definición del problema

El estudio de la identificación de características morfológicas del rostro humano se encuentra en constante evolución, presentado cada vez métodos y sistemas que en conjunto con estudios realizados previamente completan teorías que dan lugar a mejores resultados. Sin embargo, se tienen aún varios inconvenientes, debido a que los rostros humanos son estructuras complejas que pueden variar dependiendo del tamaño, la forma, el color, las expresiones faciales, entre otros. Debido a esto, se han desarrollado diferentes sistemas computarizados que se alimentan de acuerdo a variantes faciales de cada país y, de esta manera se centran en una población específica como es el caso del modelo “La cara del mexicano” ^[1], lo que conduce a que su aplicación en otros contextos poblacionales no siempre alcance los resultados más efectivos.

Entonces, cabe preguntar ¿Cómo desarrollar una técnica que permita la extracción de características morfológicas específicas de rostro humano a partir de imágenes, independiente de factores externos como las características poblacionales?

Por este motivo se plantea el desarrollo de una técnica que permita la detección de características morfológicas cualitativa y cuantitativamente, por medio de la implementación de técnicas fundamentadas en los aspectos matemáticos propuestos por estudios biométricos, morfológicos, antropológicos, antropométricos y forenses, de tal forma que sirvan como base para la construcción de herramientas de generación de rostros humanos de forma digital ya sea 2D o 3D, y sea basada en un método matemático que interactúe directamente con los puntos principales tomados a partir de imágenes de rostros reales.

^[1] Villanueva, María. Forma y fenotipo facial, citado por Rodríguez Cuenca, José Vicente. *La antropología forense en la identificación humana*. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia, 2004. pág. 186.

3.2 Justificación

Actualmente gracias a la tecnología se han ido mejorando procesos y métodos para el análisis de rostros humanos en imágenes aplicados a la identificación, extracción de facciones, reconocimiento y generación de rostros digitales. A pesar de esta constante evolución se evidenció en el estado del arte, que en casos como la identificación de rasgos morfológicos faciales, no siempre se obtienen resultados positivos, debido a que los métodos en algunos casos han sido desarrollados basados en una población específica o no tienen la precisión que desea el usuario, ya que identifican características muy generales en la imagen como el contorno del rostro, la ubicación de la nariz, los ojos y la boca, lo que no permite hacer un estudio completo de las características específicas del rostro.

A partir de esta problemática, por medio de los conocimientos y las investigaciones previas, la propuesta de desarrollo de una técnica de extracción de características morfológicas de rostro humano a partir de imágenes requiere un análisis que incluye diferentes áreas de conocimiento como la biometría, el procesamiento de imágenes, ciencias computacionales, morfología, antropología, entre otros; con el fin de desarrollar una herramienta importante en diferentes contextos, ya que permite avanzar en estudios de computación para la extracción, búsqueda, recuperación e indexación de información para aplicaciones basadas en texto e imagen. En particular para el desarrollo y construcción de rostros humanos 2D o 3D de forma semiautomática o automática, un paso importante dentro del desarrollo de producción audiovisual, multimedia interactiva, videojuegos y sus posibles aplicaciones en las ciencias naturales, la antropología, ciencias forenses, entre otras.

3.3 Delimitación

El método de extracción de características morfológicas de rostro humano que se ha realizado se encuentra orientado a diferentes áreas de desarrollo de contenido que se encuentran interesadas en el uso de la descripción de características faciales ya que la detección de estos puntos de referencia tienen aplicación en varias perspectivas como en la interacción hombre-máquina, la animación facial, el análisis de expresiones faciales, la construcción de rostros humanos de forma digital (ya sea en 2D o en 3D), creación de contenidos multimedia, identificación de rostros, entre otros; esto con el motivo de facilitar el trabajo en estas áreas o generar un aporte para crear contenido más personalizado.

Para la utilización del método, las imágenes funcionan como la entrada para el proceso de extracción de las correspondientes medidas y características morfológicas, en este, se identifican las dimensiones de la captura obtenida y se reconocen los objetos presentes, es decir, se reconoce la presencia del rostro y dentro de este, algunas zonas de interés.

De esta forma se delimitan las características de la imagen de entrada teniendo en cuenta que esta debe estar a color, debe contener el rostro de frente de una sola persona, en pose neutral, tomada de los hombros hacia arriba, con fondo uniforme, en lo posible de un mismo tono.

Capítulo 4

Marco de Referencia

El siguiente marco de referencia contiene las bases teóricas utilizadas para el desarrollo de este trabajo, ya que es necesario tener un fuerte conocimiento previo para poder abordar de la manera más clara una temática que aún presenta varias dificultades en su desarrollo, se tratan temas las principales las características y medidas faciales, una sección dedicada al estudio de detección de rostros y los principales métodos que permiten realizar este proceso. Otra sección dedicada al estudio del procesamiento de imágenes, analizando el tema de modelos de color y segmentación.

Esto con el fin de darle a conocer al lector, algunos de los conocimientos previos para comprender los procedimientos usados para el desarrollo del presente proyecto.

4.1 Antecedentes

La biometría es una ciencia que ha sido usada infinidad de veces por nosotros mismos casi sin darnos cuenta ya que a diario reconocemos individuos por sus características ya sea por la forma de su cara, la voz, entre otras. De esta forma se puede decir que ha sido estudiada desde hace muchos años, por ejemplo en la época de los faraones en el Valle del Nilo, se utilizaban los principios más básicos de la biometría con el fin de verificar la identificación de las personas que participaban en diferentes operaciones comerciales y judiciales.

En el siglo XIX se inician estudios donde se planteaba la identificación de personas mediante la técnica del Bertillonaje, donde se construían fichas que incluían los rasgos de la frente, nariz, orejas, dando a cada una escala de 7, según la forma, la dimensión y grado de inclinación, incluyendo el color del iris izquierdo, marcas, estigmas particulares, señales y rasgos distintivos de la fisionomía y otras partes del cuerpo. Esta información era completada con fotografías estandarizadas y datos personales como la edad, sexo, y lugar de nacimiento. [1] Esta técnica en

aquel entonces fue implementada como una herramienta para identificar los rasgos de criminales, aunque estaba poco alejada de los métodos forenses actuales, Alphonse Bertillon se convirtió en el padre de las investigaciones forenses contemporáneas.

Las primeras investigaciones con un ámbito más científico fueron desarrolladas por Goldstein y Lesk [2] quienes usaron 21 marcadores subjetivos específicos como el color del cabello y grosor de labios para automatizar el reconocimiento facial, este, al igual que las soluciones planteadas anteriormente tenían el problema de que eran técnicas que se computaban manualmente.

A medida que se estructuraban los métodos computarizados en conjunto con el procesamiento de imágenes, Kirby y Sirobish [3] proponen la aplicación de una técnica sobre una galería de imágenes de rostros que eran normalizadas previamente para alinear los ojos y bocas de los rostros presentes en las imágenes utilizando el método de Análisis de Componentes Principales (PCA) que está basado en la construcción de una transformación lineal que escoge un nuevo sistema de coordenadas para el conjunto original de datos y sirve para hallar las causas de la variabilidad de los datos y ordenarlos por importancia, quedándose con los más importantes ya que esta reducción de datos remueve información que no es útil y descompone una estructura de baja dimensión de patrones faciales.

Posteriormente Turk y Pentland [4] implementan la técnica de *eigenpictures* que presentaba valores mucho más compactos que los valores de los píxeles de la imagen, para de esta forma implementar un sistema de reconocimiento facial y así rebautizar el modelo de *eigenpictures* por *eigenfaces* [5], aunque aún presentaban una aproximación forzada por factores ambientales creó un interés significativo que permitió el desarrollo de muchos algoritmos de reconocimiento e identificación de características faciales.

Aunque en los años 80 del siglo XX el número de trabajos realizados fue escaso debido al alto coste del hardware requerido, pero a pesar de esto surgieron los primeros algoritmos basados en técnicas heurísticas y antropométricas, en los años 90 se incrementó la investigación tomando como objetivo sistemas de reconocimiento facial completamente automáticos, en ese entonces se utilizaban métodos que extraían rasgos locales de la imagen de la cara en los que se buscaban determinados elementos que componen el rostro, como los ojos, la nariz, la boca, entre otros. Técnicas basadas en la imagen, en las cuales los métodos trabajan con la imagen completa o zonas concretas de la misma de la que se extraen características que puedan representar el objeto buscado, aparecieron después, pero aun no suplantando la técnica de extracción de rasgos locales. Por el contrario, a raíz de esto nacieron los enfoques híbridos, en los que se utiliza tanto la información local como la global, basándose en el hecho de que el sistema de percepción humano distingue tanto características locales como globales dentro del rostro [6].

Según Du et al ^[2] la mayoría de los métodos disponibles para la detección de puntos faciales se pueden clasificar en dos tipos principales: globales y locales.

Los métodos globales utilizan información como el contorno de la cara o texturas para localizar puntos de referencia. En los métodos locales los algoritmos encuentran elementos como las esquinas de los ojos o de la boca sin necesidad de utilizar información de otras partes de la cara, detectan componentes faciales utilizando la información de color y propiedades geométricas para localizar los puntos en la cara [7].

Como conclusión se entiende que la detección de caras y la extracción de características es un tema de investigación en sí mismo, ya que el simple hecho de la localización de un rostro en una escena es una tarea difícil cuando el fondo de la imagen contiene otros objetos. [8]

Hoy en día los investigadores trabajan en sistemas que eviten restricciones de condiciones controladas para afrontar problemas de iluminación, edad, rotación, expresiones faciales, gafas, la resolución de la imagen, entre otros. Es por este motivo que el diseño de algoritmos efectivos ante estos cambios están en fase de investigación [8], ya que sus aplicaciones varían desde el reconocimiento facial automático, el seguimiento de caras en secuencias de vídeo, en la estimación de poses, compresión, en recuperación de imágenes, en sistemas de interacción hombre-máquina o en el análisis de expresiones faciales.

4.2 Patrones faciales

Los patrones faciales son determinados por la carga genética expresada en el fenotipo de cada individuo, lo cual permite visualizar las características particulares de cada persona [9].

La forma y el tamaño facial están definidos por un carácter evolutivo representado en el ciclo de vida de cada ser humano, ya que en los primeros años de vida tienen una tasa de crecimiento del componente facial mayor, comparada con otras partes del cuerpo. [10] A medida que el individuo va creciendo las proporciones del cuerpo van cambiando de forma significativa, ya que el crecimiento cerebral es menor a partir de los 4 o 5 años. Aunque en la edad de la niñez, las estructuras de los ojos son grandes, en la etapa de la adolescencia y la adultez, los ojos parecen más pequeños ya que la mitad de la cara se agranda, puesto que la región nasal se vuelve más ancha y prominente, y la región

^[2] Du, Chunhua et al. *SVM based ASM for Facial Landmarks Location*. Citado por Silva, Caroline, et al. *Detecção de landmarks em imagens faciais baseada em informações locais*. Universidad Federal de Bahia. Salvador. [28]

mandibular toma una forma más cuadrada por el crecimiento del mentón y la erupción de la dentición permanente.

4.2.1 Rostro

El rostro es un objeto dinámico que posee un alto grado de variabilidad en su apariencia, lo que lo convierte en un problema de difícil tratamiento pues está conformado por diferentes objetos como los ojos, la nariz, la boca, las orejas, el cabello y el contorno del rostro, los cuales pueden tener variaciones de formas, color, entre otros. A partir de esta identificación se pueden medir y analizar estos componentes para así poder asociar esta información al reconocimiento de una persona, como parámetro de estudio o para creación de contenidos.

4.2.2 Somatotipo facial

El rostro se describe por las características contenidas desde la línea de cabello hasta su proporción mandibular y su forma en general. Además de características como el sexo, el origen poblacional (lo que determina una variación en el color de la piel, el tamaño de los elementos característicos del rostro como los ojos, la nariz, la boca, entre otros.) es importante tener en cuenta la edad ya que después de los 40 años se observan procesos involutivos, decaen la nariz y las orejas, se aplanan los labios y se profundizan los surcos frontales y naso-bucles.

En cuanto a la forma de la cara, existe una clasificación denominada los 10 tipos faciales de Pöch, los cuales se detallan en la Figura 1.

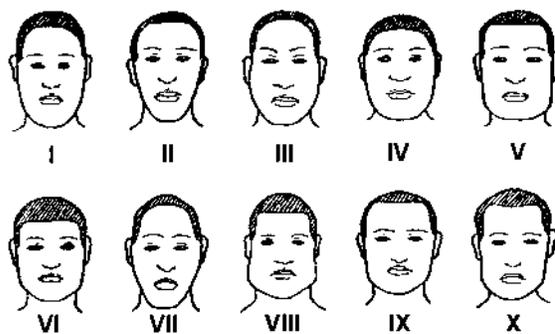


Figura 1 - Formas faciales de Pöch: I- Elíptica, II- Oval, III- Oval invertida, IV-Redondeada, V- Rectangular, VI- Cuadrangular, VII- Romboidal, VIII- Trapezoidal, IX- Trapezoidal invertida, X- Pentagonal ^[3]

^[3] Tomada de: Rodríguez Cuenca, José Vicente. *La antropología forense en la identificación humana*. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia, 2004. pág. 188. [1]

La forma está definida a partir de medidas faciales, para las que se hace necesario, encontrar puntos faciales o *landmarks*, tema que será tratado a continuación.

a. Puntos faciales

En los rostros de frente, se utilizan algunos puntos para identificar características específicas de este, generalmente, aunque no siempre son puntos craneales pues estos son los que marcan el rostro.

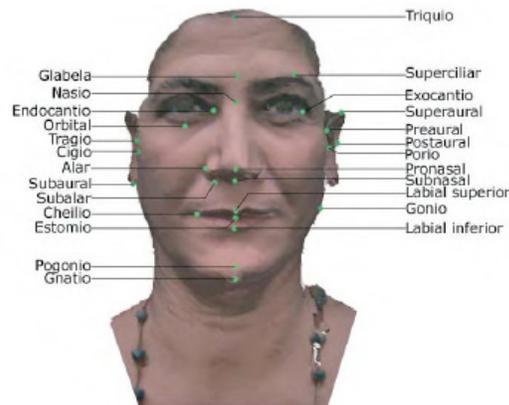


Figura 2 - Ejemplo de puntos faciales. ^[4]

Los puntos faciales habitualmente utilizados según la descripción de Martin y Seller en la posición frontal del rostro, son: [11]

- Alar (Al): Punto más lateral del contorno de las alas de la nariz.
- Trichion (Tr): Punto ubicado en la línea donde nace el cabello.
- Zygon (Zy): Punto más saliente de los arcos cigomáticos, hacia los lados.
- Endocantion (En): Punto interno de la comisura de los ojos cercano al lacrimal.
- Extocantion (Ex): Punto externo de la comisura de los ojos.
- Glabella (G): Punto más prominente del entrecejo, coincidente entre el borde superior de las cejas.
- Gnation O Mentón (Gn): Punto más bajo de la barbilla (mandíbula).
- Gonion (Go): Vértice más lateral del ángulo mandibular entre sus ramas horizontal y ascendente.
- Nasion (N): Punto situado en la raíz de la nariz a la altura de la sutura nasofrontal.
- Pogonio (Pg): Punto central anterior de la barbilla.

^[4] Tomada de: Alemán, I., y otros. *Identificación humana mediante superposición de imágenes*. Una propuesta metodológica. SciELO España - Scientific Electronic Library Online. Julio de 2008. [11]

- Prosthion (Pr): Punto más bajo de la encía, entre los incisivos medios superiores.
- Subnasal (Sn): Punto más profundo situado en el ángulo entre la unión del tabique nasal y el tegumento labial superior.
- Chelion (Ch): Vértice de la comisura labial.

b. Medidas del rostro

Los puntos faciales son el parámetro de partida para el proceso de toma de medidas faciales, estas se dividen en 4 tipos:

- Medidas de la cabeza (Ver Figura 3)
 - Ancho de la cabeza
 - Ancho de la frente
 - Altura de la cabeza

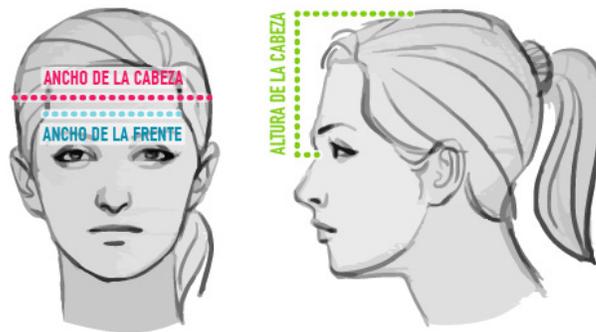


Figura 3 - Medidas de la cabeza

- Medidas faciales (Ver Figura 4)
 - Altura facial
 - Altura facial superior
 - Ancho mandibular
 - Ancho facial

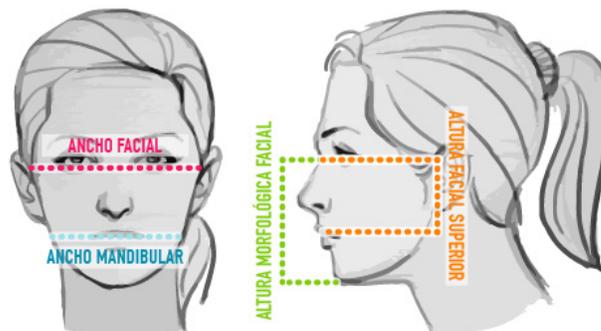


Figura 4 - Medidas Faciales

- Medidas orbitarias (Ver Figura 5)
 - Distancia intercantal externa
 - Distancia intercantal interna

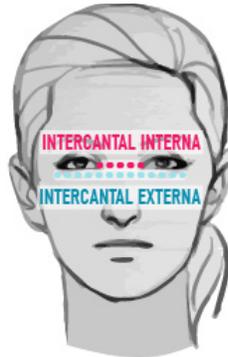


Figura 5 - Medidas orbitarias

- Medidas nasolabiales (Ver Figura 6)
 - Altura nasal
 - Ancho nasal
 - Altura cutánea del labio superior
 - Altura del labio superior

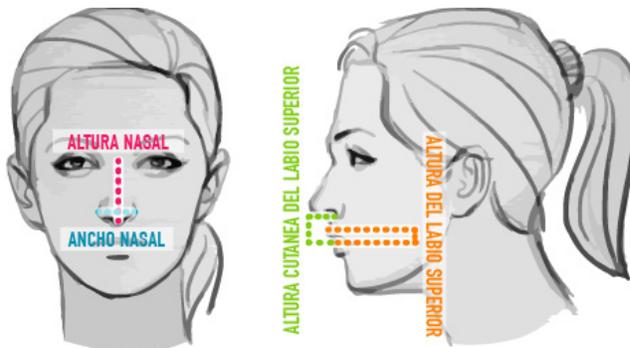


Figura 6 - Medidas Nasolabiales

c. Armonías faciales

A partir de estudios de antropometría se establecen las reglas básicas que permiten reconocer relaciones proporcionales entre los elementos que conforman el rostro. Por ejemplo:

- 1 -La altura cráneo-facial total se divide en tres partes iguales de *trichion* a *nasion*, de *nasion* a *subnasal* y de *subnasal* a *gnathion*
- 2 -La longitud de la nariz es igual a la longitud de la oreja.
- 3 -La distancia intraocular o intercantal interna es igual al ancho de la nariz.

- 4 -La longitud de la fisura ocular es igual a la distancia intraocular.
- 5 -El ancho de la boca es aproximadamente el 150% del ancho de la nariz.
- 6 -El ancho de la cara es alrededor de 4 veces el ancho de la nariz.
- 7 -La distancia entre los ojos o intercantal interna es equivalente al ancho de un solo ojo, conocido como canon de proporción orbital.
- 8 -Los bordes mediales del iris tienen una separación equivalente al ancho de la boca, relación conocida como canon de proporción iridio oral.
- 9- El *endocantion* y el punto medio inferior de los labios forman un triángulo equilátero conocido como triangulo facial.

4.3 Biometría

El término de biometría proviene de las palabras griegas “*bios*” de vida y “*metron*” de medida ^[5]. Según el Biometric Consortium [12], la biometría incluye los métodos de reconocimiento de una persona y la autenticación de los mismos basados en características fisiológicas entre las que están la huella dactilar, el iris, la geometría de la mano y el rostro o de comportamiento como la voz, la firma, la dinámica del tecleo o la forma de caminar. De esta forma, dependiendo de las características es posible establecer dos grupos: Biometría estática y Biometría dinámica o conductual (Ver Figura 7).

En general, las definiciones encontradas en la literatura acerca de la biometría se centran en el hecho de que es una ciencia que estudia los aspectos biológicos, físicos, fisiológicos o de comportamiento de los seres humanos ya que son característicos y medibles, lo que permite diferenciar un individuo de otro. [8]

De las ventajas más reconocibles que ha aportado esta ciencia es la capacidad de ser más cómoda, segura y efectiva con respecto a los sistemas de seguridad tradicionales como las contraseñas, las llaves, o los carné; la biometría es un elemento de identificación propio que hace parte por naturaleza de los seres humanos, de esta manera la medición biométrica es considerada actualmente como el método ideal para la identificación humana.

^[5] González Soto, Diana. Aplicación de un sistema embebido en una FPGA para el análisis de imágenes utilizando la transformada Wavelet, citado por López P., Nicolás y Toro A., Juan José. *Técnicas de biometría basadas en patrones faciales del ser humano*. Departamento de Ciencias de la Computación, Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, 2012.

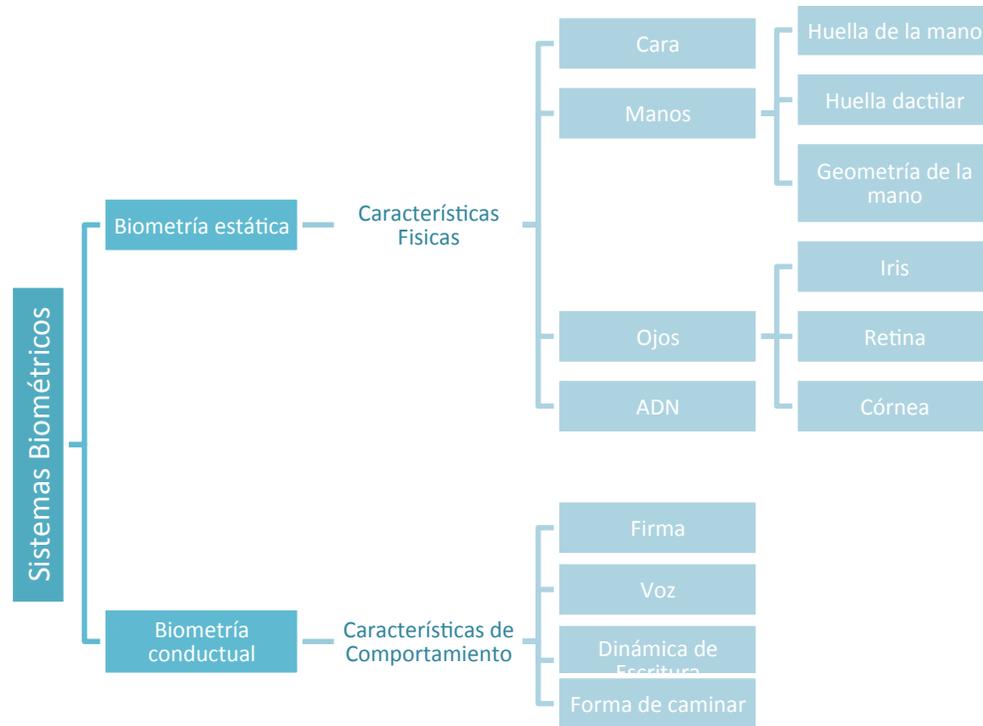


Figura 7 - Clasificación de los Sistemas Biométricos.

4.4 Detección de rostros

El rostro al igual que el resto de las características fisiológicas es un elemento que hace diferente a un ser humano de otro, en particular, el rostro es una característica que se recuerda con facilidad debido a que la capacidad cerebral humana identifica los aspectos físicos de un rostro y es capaz de asociar, diferenciar, reconocer e incluso darle características de propiedad a un determinado individuo. [9] Este proceso de identificación se hace de manera holística, ya que es hecho en la cotidianidad sin ser conscientes de este proceso. Desde el punto de vista biológico según el Doctor Lopera [13] este proceso compromete actividad de múltiples regiones cerebrales:

- 1 - **La corteza de asociación visual:** En la construcción del precepto ^[6].
- 2 - **Hipocampos y regiones frontotemporales:** En el proceso de comparación del percepto con las imágenes mnémicas ^[7] para activar sentimientos de familiaridad.
- 3 - **Regiones Témpero-parietales:** En la memoria semántica relacionada con las personas.

^[6] Percepto: “El objeto tal como lo percibe el sujeto” [25]

^[7] Imágenes mnémicas: “Son huellas de memoria de caras previamente aprendidas y almacenadas.” [26]

4 - **Hemisferio Izquierdo:** En la activación de estructuras lingüísticas que codifican la información para el acceso al nombre.

Como se puede observar, el reconocimiento de rostros nació como una fórmula innovadora para el desarrollo de los sistemas de seguridad actuales, pero el secreto del éxito en los resultados de estos sistemas depende en gran parte de la detección de los rostros y la extracción de sus características, tema que se considera como el eje central de esta investigación.

La detección de rostros es un área que presenta muchos inconvenientes pues *a priori* no se tiene información acerca del tamaño del rostro o la localización de este dentro de una imagen. Por estos motivos, es un problema difícil de tratar y los algoritmos de detección tienen que estar preparados para encontrar rostros de muchos tamaños y diferentes apariencias como la iluminación, la posición, entre otras. [14] Una gran parte de las aplicaciones para detección de rostros requiere un pre-procesamiento de la imagen, por tal razón constantemente se hacen investigaciones para lograr que estas técnicas sean lo más eficientes posible.

El problema de detección de rostros puede ser planteado como: dada una imagen, se desea saber si hay rostros presentes en la imagen, además de las coordenadas de ubicación de los rostros en la imagen. Los principales problemas de la detección de rostros son:

- Pose y orientación de la cara.
- Tamaño de la cara.
- Presencia de componentes estructurales: como lentes, barba, gorro, entre otros.
- Expresión facial.
- Oclusiones parciales.
- Problemas de iluminación.
- Ruido en el proceso de adquisición de las imágenes.
- Cantidad desconocida de caras en la imagen.

4.5 Métodos de detección de rostros y sus características

Estos métodos son implementados con el fin de encontrar las coordenadas de la posición de la cara dentro de la escena para determinar la sub-imagen formada por la zona de la cara, delimitado por orejas, frente y mentón.

A continuación se presenta el estado del arte de los diferentes métodos que existen actualmente para detectar una cara:

4.5.1 Métodos basados en rasgos faciales [9]

Estos métodos son utilizados para buscar determinados elementos que componen una cara como ojos, ubicación de la boca, entre otros.

a. Análisis a bajo nivel

Las desventajas de este sistema es que suelen obtener información ambigua, por ejemplo, en el caso de tener elementos que tengan color similar al modelo de color utilizado para la detección de la piel.

Dentro de este modelo se encuentran el sistema de detección de bordes, el filtrado de componentes, entre otros. Este sistema detecta aproximadamente 3 de 4 caras, con 2% de falsos positivos aunque puede trabajar con dificultad si el fondo no es uniforme, o si la cara no está de frente es totalmente ineficiente.

b. Análisis de rasgos

Están basados en la geometría de la cara. En estos métodos se utilizan elementos que describen un rostro parcialmente como ojos, boca, nariz o líneas de puntos a partir de los cuales se calculan los valores de las características.

Estos métodos no solo tiene aplicación en la obtención de características geométricas sino también en el área de seguimiento de individuos en secuencias de video, en análisis de expresiones faciales o el ajuste de puntos de control en un modelo 3D. Dentro de los métodos de análisis de rasgos están el sistema de búsqueda de rasgos, uso de plantillas flexibles de rasgos, análisis de constelaciones, entre otros.

4.5.2 Métodos basados en la imagen o técnicas holísticas

Estos métodos trabajan con la imagen completa o zonas concretas de esta, efectuando cálculos para determinar si hay o no una cara, sin búsqueda de rasgos en concreto, utilizan la imagen completa como un patrón.

a. Análisis de componentes principales (PCA) o también llamada *Eigenfaces*

Se utiliza para la localización de caras en fondos que contienen además otros objetos. Un sistema detecta la presencia de una cara en una escena para posteriormente localizarla mediante el método de PCA, este método trabaja con las imágenes completas como patrones de entrada.

De esta técnica se derivan otras como el método de *Fisherfaces*.

b. Análisis de discriminantes lineales de Fisher o *Fisherfaces* (FLD)

En 1997 Belhumeur, Hespanha y Kriegman desarrollan esta técnica también llamada Proyecciones lineales sobre clases específicas, fue desarrollada principalmente para soportar variaciones de iluminación y pose de los individuos. Su éxito depende de que se tengan varias tomas del mismo individuo en diferentes condiciones de iluminación y pose.

4.5.3 Algoritmos de Boosting

El algoritmo *AdaBoost*, es un algoritmo de boosting que busca mejorar el desempeño de clasificadores. El trabajo de Viola-Jones, es una de las técnicas más utilizadas debido a su capacidad de procesar imágenes rápidamente y con altos porcentajes de detección. En este, se utiliza algoritmo de *AdaBoost* propuesto por Freund y Schapire en 1995 para seleccionar características Haar para detectar rostros de frente y además se utiliza una representación de imágenes conocida como Imagen integral, que permite reducir el tiempo de cálculo de las características y determinar la existencia o no de rostros.

Este método de detección de rostros fue implementado para la realización de la base fundamental de este proyecto, por eso se tiene una consideración especial en la explicación de este método.

4.6 Método de Viola-Jones

Viola y Jones utilizan un algoritmo que busca, entre una gran cantidad de *features* o características de la imagen aquellos que más información aportan acerca de una cara. [15] Una aplicación de estas características es la forma de clasificadores, los cuales son utilizados por los autores de esta técnica para distinguir objetos que son cara y los que no lo son. [16]

El desarrollo de esta técnica logró obtener tasas de acierto similares a las mejores publicaciones en el área para esa época y con una ventaja mayor, alcanzada en la velocidad del proceso puesto que la clasificación se realiza mediante características en vez de píxel a píxel, de esta manera, reportan un 93.9% de detecciones correctas en imágenes de 384x288 píxeles con un desempeño de 15 fotogramas por segundo con un procesador convencional de 700 MHz.

4.6.1 Descripción del método

En el desarrollo de su método, Viola y Jones plantean el uso de características simples que se basan en los niveles de intensidad de los píxeles de la imagen en escala de grises. La principal razón por la que se usan características en lugar de píxeles es porque permite hacer una asociación entre el conocimiento aprendido y el análisis de los datos adquiridos. [17]

a. Construcción de los clasificadores

Estos clasificadores, como se mencionó anteriormente permiten distinguir objetos que son cara de los que no lo son. [14]

La construcción de los clasificadores para la detección de rostros utiliza una variante de características llamadas características de Haar, “*Haar-like features*”, las cuales permiten obtener información de una zona concreta mediante una operación aritmética simple.

Las características de Haar están definidas por estructuras simples divididas en dos o más regiones rectangulares y el cálculo del valor de la característica consiste en la diferencia entre la suma de las intensidades de los píxeles contenidos en la región negativa (región negra) y la suma de los píxeles en la región positiva (región blanca), para computar rápidamente las características se usa una representación de imagen llamada “Imagen Integral”.

El conjunto de los tipos de características posibles usados por Viola-Jones se presentan en la Figura 8.

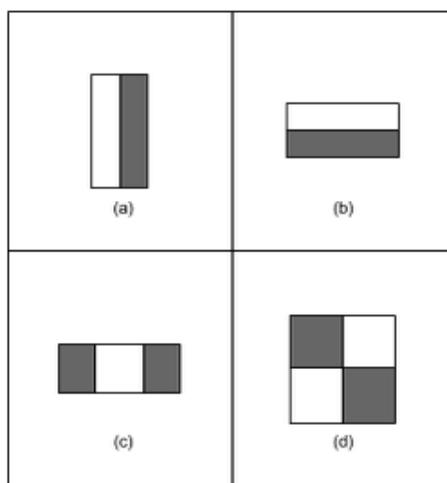


Figura 8 - Tipos de características Haar utilizados por Viola-Jones
 (a) y (b) características de dos rectángulos (Two-rectangle feature), (c) Características de tres rectángulos (Three-Rectangle Feature) y (d) Características de cuatro rectángulos (Four-rectangle feature).

Las características Haar capturan muchos rasgos presentes en una cara, por ejemplo en la Figura 9, la zona de los ojos suele ser más oscura que la zona superior de las mejillas (a) y el puente nasal suele ser más claro que los ojos (b). Este tipo de características se llaman características simples ya que son fáciles de calcular. Aportan poca información de manera individual, pero poseen la característica de poder calcularse en forma extremadamente rápida, en orden constante, y se pueden combinar para formar clasificadores que brindan mayor información. [16]

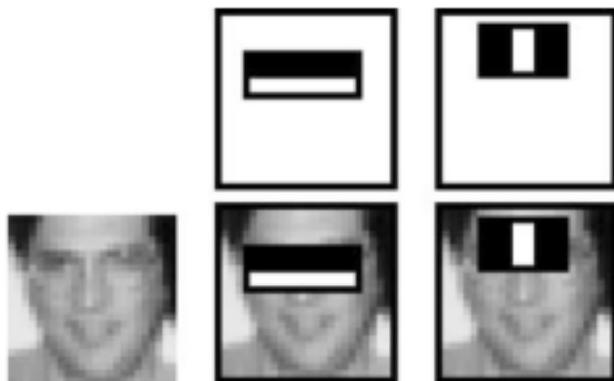


Figura 9 – Ejemplo de los rasgos que puede capturar una característica. ^[8]

En la etapa de entrenamiento, el método de Viola-Jones construye un clasificador fuerte utilizando la estrategia llamada *boosting*, este es un algoritmo de aprendizaje supervisado, ya que aprende una función a partir de un conjunto de muestras de entrenamiento. El algoritmo de *boosting* más conocido es *AdaBoost* o *Adaptive Boosting*, es adaptativo porque se va ajustando a los clasificadores simples que se van agregando al clasificador fuerte, con base a las muestras mal clasificadas por los clasificadores simples ya agregados.

b. Imagen integral

La imagen integral como ya se mencionó anteriormente, permite calcular muy velozmente los *features* de la imagen utilizados tanto en el entrenamiento como en la detección, en estas dos etapas las imágenes utilizadas son en escala de grises. Esta nueva representación contiene las mismas dimensiones de la imagen que representa, pero el valor de cada punto (x,y) consiste en la suma de los valores de todos los puntos localizados en la región superior izquierda en la imagen original.

^[8] Tomada de: Morelli Andrés, Ariel y Padovani, Sebastián. *Detección y Reconocimiento de Caras*. Departamento de Computación, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires: s.n., 2011. [16]

En la Ecuación (1), se describe el cálculo de la imagen integral $ii(x, y)$ dada una imagen i de tamaño $n \times m$.

$$ii(x, y) = \sum_{\substack{1 \leq x', y' \leq x \\ 1 \leq y' \leq y}} i(x', y') \quad \text{para } 1 \leq x \leq n, \quad 1 \leq y \leq m \quad (1)$$

Utilizando las ecuaciones recursivas (ver Ecuaciones (2) y (3) se puede lograr que el cálculo de la imagen integral sea eficiente, ya que se recorre solamente una vez la imagen original.

$$s(x, y) = s(x, y - 1) + i(x, y) \quad (2)$$

$$ii(x, y) = ii(x - 1, y) + s(x, y) \quad (3)$$

En donde $s(x, y)$ es la suma acumulada de los píxeles de la columna x . Para el cálculo de la suma en la imagen integral se tiene que:

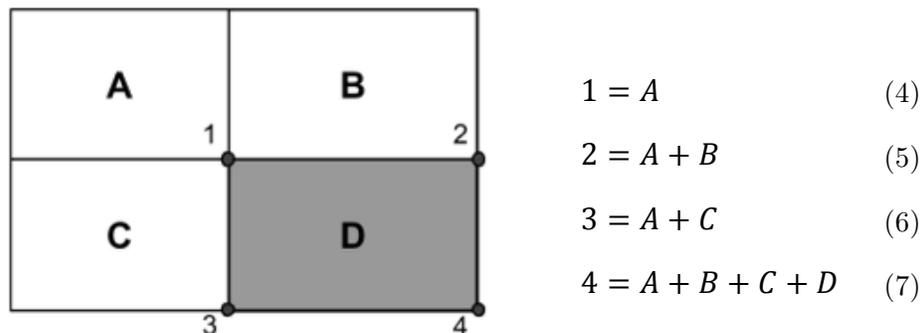


Figura 10 - Cálculo de la imagen integral.

De esta forma, la imagen integral permite el cálculo de la suma de todos los píxeles de cualquier rectángulo, en el caso de la Figura 10, utilizando solo los 4 valores en las esquinas del rectángulo ya conocidos anteriormente (ver Ecuaciones (4), (5), (6) y (7)).

$$D = 1 + 4 - (2 + 3) \quad (8)$$

$$D = A + (A + B + C + D) - ((A + B) + (A + C)) \quad (9)$$

$$D = D \quad (10)$$

Como se puede ver y demostrar en las ecuaciones (8), (9)(10), el procedimiento de la imagen integral es muy rápido ya que el cálculo de las características implica únicamente operaciones aritméticas básicas con números enteros.

También hace más rápida los cálculos que hacen posible la detección de caras de varios tamaños dentro de la misma imagen. Para realizar esta detección multi-escala en el trabajo de Viola y Jones se re-escalan los *features* durante la detección, lo que hace este sistema más rápido en comparación con el cálculo que se realiza en otras implementaciones que consiste en una pirámide de imágenes que se van re escalando y aplicando filtros.

c. Clasificadores Cascada

Viola-Jones presenta un método para combinar los clasificadores fuertes en una estructura en forma de cascada lo que permite descartar rápidamente regiones que no son de interés en la imagen, denominadas *background*, es decir, todo aquello que no es un rostro y centrarse en el procesamiento en aquellas zonas que posiblemente contengan una cara.



Figura 11 - Descripción de los clasificadores cascada propuestos por Viola-Jones

En la Figura 11 se presenta el esquema de los clasificadores cascada el cual está compuesto por n etapas, a su vez, cada etapa está compuesta por un único clasificador fuerte, en caso de que en una etapa una sub imagen sea reconocida como *background*, esta será descartada. Pero si por el contrario si es cara, seguirá en la siguiente etapa para ser evaluada. Finalmente en la última etapa, las sub imágenes detectadas como caras son el resultado final del algoritmo de detección.

Para este esquema de cascada y su diseño se tiene en cuenta:

- *Tasa de Falsos positivos (FPR)*: Este índice mide la cantidad de objetos que no son caras y que son detectados como si lo fueran.
- *Tasa de Falsos Negativos (FNR)*: Mide la cantidad de caras que no son detectadas como caras.

- *Tasa de detección (DR)*: Mide el porcentaje de detecciones respecto al total de las caras.

Al tener entrenados los clasificadores cascada, este se utiliza como parte del algoritmo de detección. Para cumplir con este objetivo, se realiza una exploración dentro de la imagen que se logra al utilizar una ventana que es la que evaluará las características para encontrar los rostros dentro de la imagen, teniendo en cuenta el tamaño inicial de la ventana que va a explorar la imagen, un factor de escala y la cantidad de desplazamiento.

El tamaño inicial de la ventana comienza con un valor mínimo, lo que indica, valga la redundancia, el tamaño mínimo que puede tener un rostro en la imagen para detectarlo. En el algoritmo de Viola-Jones implementado este tamaño corresponde a 160×220 *pixeles*.

El factor de escala S es usado como parámetro para agrandar el tamaño de la ventana cada vez que ésta completa su recorrido en la imagen. Este valor debe ser mayor a 1, y mientras más alto sea este valor más rápido será ejecutado el algoritmo, esto se traduce en una ventaja ya que en lugar de escalar la imagen se escalan las características.

La cantidad de desplazamiento varían de acuerdo a un Δ de píxeles seleccionado, que determina el paso del detector. Cuanto mayor es este paso mayor es la velocidad del detector pero también puede hacer que sea menor su precisión.

A pesar de todas las ventajas y la eficiencia que genera este algoritmo, aún tiene algunas limitaciones, como por ejemplo que su mayor grado de efectividad se encuentra solo con las imágenes frontales, ya que es muy difícil tener buenos resultados por ejemplo con un rostro girado 45° en el eje vertical, es muy sensible a las condiciones de iluminación de la imagen y se pueden tener múltiples detecciones de la misma cara por el traslapo de las sub-ventanas generadas por las características Haar.

4.7 Procesamiento de imágenes

El procesamiento de imágenes es uno de los componentes más importantes para el desarrollo de este proyecto, ya que esta base teórica es la que permite implementar todas las soluciones a los diferentes problemas que se van presentando en el desarrollo del proyecto.

4.7.1 Modelo de color

El color como propiedad de percepción visual de los objetos tiene una consideración especial en temas como computación gráfica, codificación de imágenes, impresión, entre otros. Teniendo en cuenta las diferentes necesidades en diversas áreas de aplicación, se utilizan diferentes métodos para representar el color, cada uno basado en diferentes medidas matemáticas, con diferentes ventajas y limitaciones [18], dentro de los que se encuentran RGB, CIE 1976 $L^*a^*b^*$, HSL/HSV, YCbCr, CMYK, entre otros.

Para el caso de aplicación de este proyecto nos centraremos en los 4 primeros modelos de color mencionados.

a. Modelo RGB

RGB es descrito por sus siglas en inglés que corresponden a rojo, verde y azul respectivamente. Tomando las características de sus tres canales se tiene una representación geométrica como coordenadas cartesianas en un espacio 3D donde cada canal representa un eje, gráficamente en este modelo, el vértice en la posición $(0,0,0)$ es equivalente a negro y el vértice en la posición $(1,1,1)$ es equivalente al color blanco, permitiendo que la transición del color se muestre en cada uno de los ejes mientras se varía de posición entre 0 a 1. (Ver Figura 12)

Este modelo de color es utilizado principalmente en medios digitales, es el más extendido en dispositivos de captura y generación de color.

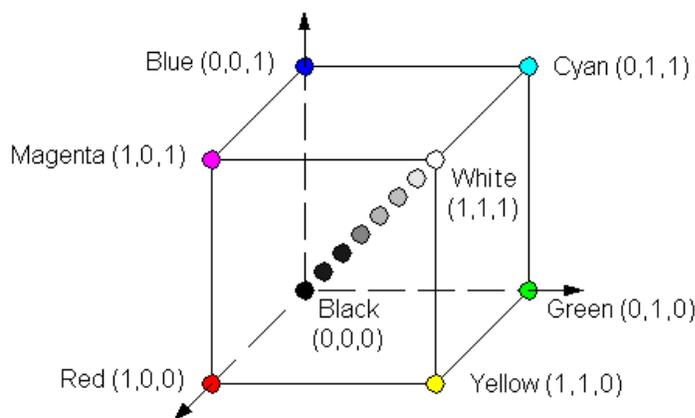


Figura 12 - Modelo de color RGB ^[9]

^[9] Tomada de: Ji, Jun. Chapter 2. *Ji's Home*. [En línea] <http://jun.hansung.ac.kr/DI/IMAGES/ch02/color-cube.gif>.

b. Modelo CIE 1976 $L^*a^*b^*$

Este modelo de color, también conocido como Lab , tiene como objetivo generar mayor percepción lineal comparado con los demás espacios de color, esto quiere decir que un cambio en el valor de un color genera igual importancia tanto numérica como visualmente. L^* , es la componente de luminosidad del color que va desde 0 hasta 100, lo que representa el color negro y blanco, respectivamente.

a^* , representa los colores entre rojo/magenta como $a+$ y verde como $a-$. De forma similar funciona la componente b^* quien representa colores entre amarillo $b+$ y azul $b-$, sus valores van desde -128 hasta 127, para un total de 256 variaciones para ambos canales.

En la comunidad científica se habla de que este modelo de color es uno de los que brinda mejores resultados al momento de procesar imágenes. Sus ventajas se dan porque al estar orientado más a la percepción humana, sus correcciones de color se logran de forma efectiva y simplificada al modificar sencillas curvas de salida en los componentes a^* y b^* .

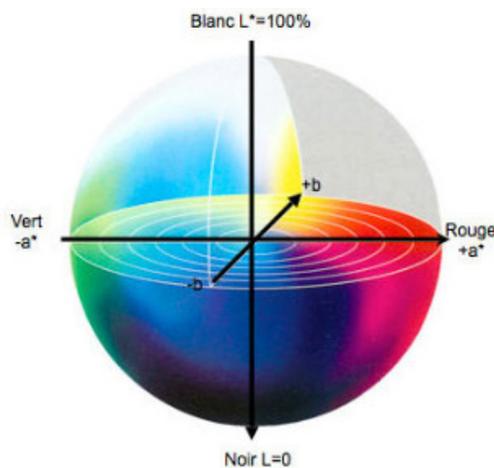


Figura 13 - Modelo de color $L^*a^*b^*$ ^[10]

c. Modelo HSL/HSV

HSV es descrito por las siglas en inglés Hue (Matiz), Saturation (Saturación) y Value (Valor). Es una transformación del modelo de color RGB.

En este espacio la componente de matiz es representada como un ángulo entre 0° a 360° . La saturación es determinada como la distancia al eje de brillo ya que representa la pureza del color. Por último, la componente de valor representa la altura del eje, sus colores varían entre negro y blanco.

^[10] Tomada de: Frich, Arnaud. Color spaces in color management. *Color Management guide by Arnaud Frich*. [En línea] <http://www.color-management-guide.com/color-spaces.html>

Una de sus desventajas está ligada a que ignora la complejidad de la apariencia de color.

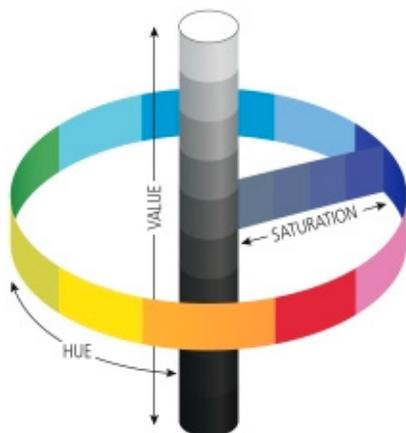


Figura 14 - Modelo de color HSL/HSV ^[11]

d. Modelo YCbCr

Es una representación codificada no lineal del espacio RGB. La componente Y indica la luminancia, y los parámetros Cb y Cr indican el tono del color: Cb ubica el color en una escala entre el azul y el amarillo, y Cr indica la ubicación del color entre el rojo y el verde.

La separación de los componentes de la luminancia (brillo) con la crominancia (color) hace que este espacio sea atractivo en procesamiento de imágenes para la segmentación del color de la piel.

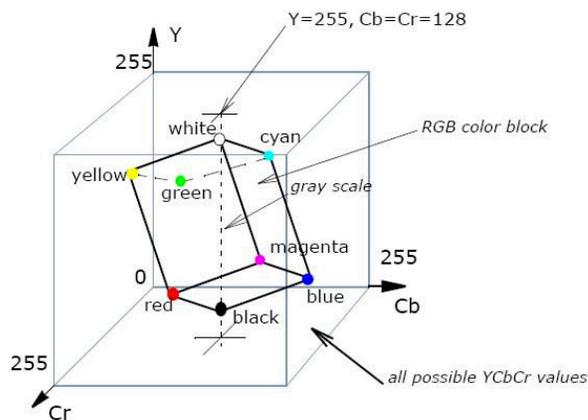


Figura 15 - Modelo de color YCbCr ^[12]

^[11] Tomada de: Ji, Jun. Chapter 2. *Ji's Home*. [En línea] <http://jun.hansung.ac.kr/DI/IMAGES/ch02/color-hsi.jpg>

^[12] Tomada de: Color Models | Intel® Developer Zone. [En línea] <https://software.intel.com/en-us/node/503873>

4.7.2 Segmentación

La segmentación es un concepto clave en el procesamiento de imágenes. Esta, implica detecciones de elección de los contornos o regiones de la imagen, basándose en la información de intensidad y/o información espacial [19]. Una de las propiedades fundamentales que ha sido utilizada para desarrollo de trabajos mediante la segmentación ha sido la propiedad del color, por eso es necesario conocer las diversas propiedades de los modelos de color existentes [18]. (Ver Sección 4.7.1)

La segmentación de imágenes es definida como la partición de una imagen en regiones, las cuales pueden ser homogéneas respecto a alguna característica como la intensidad o la textura. Si el dominio de la imagen está dado por I entonces el problema de segmentación consiste en determinar el conjunto $S_k \{ I$ cuya unión es la imagen I completa. Por lo tanto, el conjunto que conforma la segmentación debe satisfacer la Ecuación (11).

$$I = \bigcup_{K=1}^K S_K \quad (11)$$

Donde $S_k \cap S_j = \emptyset$ para $k \neq j$, y cada S_k esta conectado.

Los métodos de segmentación se pueden dividir en diferentes categorías: métodos de umbralización, métodos de región creciente, clasificadores, métodos de agrupamiento (*cluster*), modelos de campos aleatorios de Markov, redes neuronales artificiales, modelos deformables y modelos guiados por plantilla.

Particularmente, en esta teoría se hará énfasis en el método de segmentación por medio de la umbralización, el cual es considerado un método de clasificación de pixeles, al igual que los clasificadores, *cluster*, y campos aleatorios de Markov. [20]

a. Umbralización

La umbralización, conocida también como *thresholding* es un método que busca segmentar imágenes creando una partición binaria de las intensidades.

La umbralización trata de determinar el valor de intensidad, llamado umbral (*threshold*), que separa las clases deseadas. La segmentación por medio de este método se logra agrupando todos los pixeles con mayor intensidad al umbral en una clase y los pixeles por debajo de esa intensidad en otra clase. [20]

Los principios que rigen este método son la similitud entre los pixeles pertenecientes a un objeto y sus diferencias respecto al resto.

Al aplicar un umbral T a una imagen en escala de grises, $f(x,y)$, quedará binarizada $g(x,y)$, etiquetando con 1 los pixeles correspondientes al objeto (Blanco) y 0 aquellos que son del fondo (Negro). (Ver Ecuación (12))

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{si } f(x,y) > T \\ 0 & \text{si } f(x,y) \leq T \end{cases} \quad (12)$$

En particular, el método de Otsu, elige un umbral óptimo maximizando la varianza entre clases mediante una búsqueda exhaustiva, este método es considerado uno de los mejores aplicado a imágenes del mundo real. [21]

▪ *Método de Otsu*

Utiliza técnicas estadísticas para resolver el problema de la segmentación, principalmente se utiliza la varianza, la cual es una medida de dispersión de valores, para este caso de niveles de gris.

Imagen es una función bidimensional de la intensidad del nivel de gris y contiene N pixeles cuyos niveles de gris se encuentran entre 1 y L . El número de pixeles con nivel de gris i se denota como f_i , y la probabilidad de ocurrencia del nivel de gris i en la imagen está dada por la Ecuación (13). [21]

$$P_i = \frac{f_i}{N} \quad (13)$$

Si se fija un valor del umbral T en el nivel de intensidad k , es decir, $T=k$, el conjunto de pixeles se divide en 2 clases, como se describió en la Ecuación (12).

En definitiva, la medida de separabilidad que se aplica en el método de Otsu se da por el cociente de la varianza de estas dos clases y la varianza global, la cual es constante mientras exista mayor diversidad de niveles de intensidad entre las clases, mayor será esta medida. (Ver Ecuación (14))

$$\mu^* = \frac{\sigma_B^2(k^*)}{\sigma_{BG}^2} \quad (14)$$

A continuación en la Figura 16 se presenta un ejemplo de segmentación usando el método de Otsu (imagen derecha) comparado con el uso de un algoritmo global de segmentación (imagen izquierda).

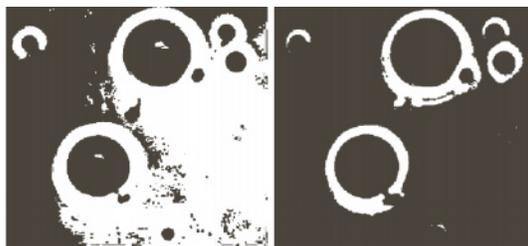


Figura 16 - Comparación entre un algoritmo global de segmentación y el método de Otsu ^[13]

Como conclusión, la umbralización es sólo el paso inicial para una secuencia de operaciones de procesamiento de imágenes, este método de segmentación para el caso de este proyecto fue compensado con el método conocido como Operaciones morfológicas.

b. Operaciones Morfológicas

Las operaciones morfológicas se centran en la geometría y la forma. Este método permite que las formas sub-yacentes sean identificadas y reconstruidas a partir de sus formas distorsionadas y con ruido, de esta forma suprimen ruidos y simplifican la forma.

Sus formas más conocidas son la dilatación y erosión, y son sobre las cuales se hará énfasis en esta sección.

▪ *Dilatación*

Esta operación depende de un elemento estructural, el cuál es un patrón de ajuste que puede tener formas de disco, cuadrado, diamante, entre otras; y un tamaño simétrico, que es conocido como tamaño de filtro, ya que el elemento estructural se puede utilizar como un filtro de convolución.

La dilatación se obtiene a pasar el elemento estructural por toda la imagen y en este caso el elemento estructural no debe estar totalmente contenido en la región, solo necesita tocar por lo menos una parte de esta. Es así como la dilatación expande la imagen y hace posible ver detalles de la imagen que se encontraban de un tamaño menor.

▪ *Erosión*

En este caso, al igual que en la dilatación, la operación depende de un elemento estructural definido de la misma forma, en este caso el elemento estructural también se desplaza como un filtro de convolución solo que a

^[13] Tomada de: González, Rafael C., Woods, Richard E. *Digital Image Processing*. 2da Edición. Prentice Hall. New Jersey, 2002.

diferencia de la dilatación, en la erosión el elemento estructural debe estar contenido por completo en la forma que componen las regiones de la imagen segmentada, si no es así, omite estos puntos.

La erosión permite limpiar la imagen segmentada y hace que las regiones sean más pequeñas, o en el caso de que estas regiones sean ruido, desaparezcan con el tamaño apropiado de un elemento estructural.

Capítulo 5

Método de extracción de características morfológicas de rostro humano a partir de imágenes

El método de extracción de características morfológicas de rostro humano a partir de imágenes ha sido realizado para ayudar a diferentes áreas de desarrollo de contenidos de entretenimiento como reconocimiento y seguimiento de rasgos faciales, análisis de expresiones faciales, animación facial, sistemas de interacción hombre-máquina, entre otros.

En este capítulo se presentan los materiales y la metodología utilizada para el desarrollo de esta técnica.

5.1 Materiales

Para desarrollar y analizar el comportamiento del método de extracción de características se han utilizado diferentes herramientas dentro de las que se encuentran el software para el desarrollo y la base de imágenes con las cuales se realizaron las pruebas del método.

5.1.1 Software

El software de desarrollo utilizado para la realización y prueba del método de extracción de características morfológicas fue MATLAB R2015a.

a. MATLAB®

Es un herramienta que maneja lenguaje de alto nivel propio (.m) y un entorno interactivo utilizado por una gran población científica por la flexibilidad que tiene ya que permite desde la manipulación de matrices, la representación de datos, la implementación de algoritmos y su desarrollo, creación de interfaces de usuario (GUI), entre otros.

b. *visionSupportPackages*

Computer Vision System Toolbox™ es un paquete de MATLAB® que provee algoritmos y funciones para diseñar y simular sistemas de procesamiento de imagen y visión por computador.

Para el caso del desarrollo de este proyecto, este paquete fue utilizado para la utilización e implementación del algoritmo de detección de rostros propuesto por Viola-Jones.

5.1.2 Imágenes de prueba

Para analizar el comportamiento del método de extracción de características morfológicas de rostro humano se utilizó una base de imágenes tomada de la base de datos a Color FERET desarrollada por el Programa de Tecnología Antidrogas del Departamento de Defensa que patrocinó al programa *Facial Recognition Technology* (FERET). La recolección de las imágenes que conforman las bases de datos se tomaron entre 1993 y 1996.

Esta base de datos se utiliza como un estándar para desarrollar, probar y evaluar los algoritmos de detección y reconocimiento facial.

Esta base de datos contiene una galería de imágenes que se divide en los siguientes conjuntos de prueba:

- Variación de expresión.
- Variaciones de orientación.
- Variación en iluminación.
- Tomadas en menos de 18 meses.
- Tomadas en los 18 meses siguientes.
- Sujetos usando gafas.

De esta base de datos se seleccionaron 96 imágenes bajo diferentes condiciones y características entre las que se destacan 19 imágenes de rostros con presencia de componentes estructurales, de las cuales 8 portan gafas y 11 tienen barba y/o bigote. En general, en las 96 imágenes seleccionadas los rostros presentan diversidad de origen poblacional, de edad y de género, lo que ayuda a comprobar la eficiencia del método planteado. (Ver Tabla 1)

Género	Edades Promedio (años)				Color de piel				Total
	16-25	25-40	40-60	60-80	Clara	Media	Moreno	Oscuro	
Hombres	8	35	12	4	17	29	13	0	59
Mujeres	11	15	10	1	18	15	1	3	37
	19	50	22	5	35	44	14	3	96

Tabla 1 – Clasificación de las 96 imágenes seleccionadas.

Las dimensiones de las imágenes de esta base de datos corresponden a 512×768 *pixeles* las cuales están dadas en formato *Portable Pixmap* (.ppm) el cuál es un formato gráfico simple en color diseñado para representar color RGB completo. En la Figura 17 se presenta un ejemplo de las imágenes seleccionadas de la base de datos FERET.

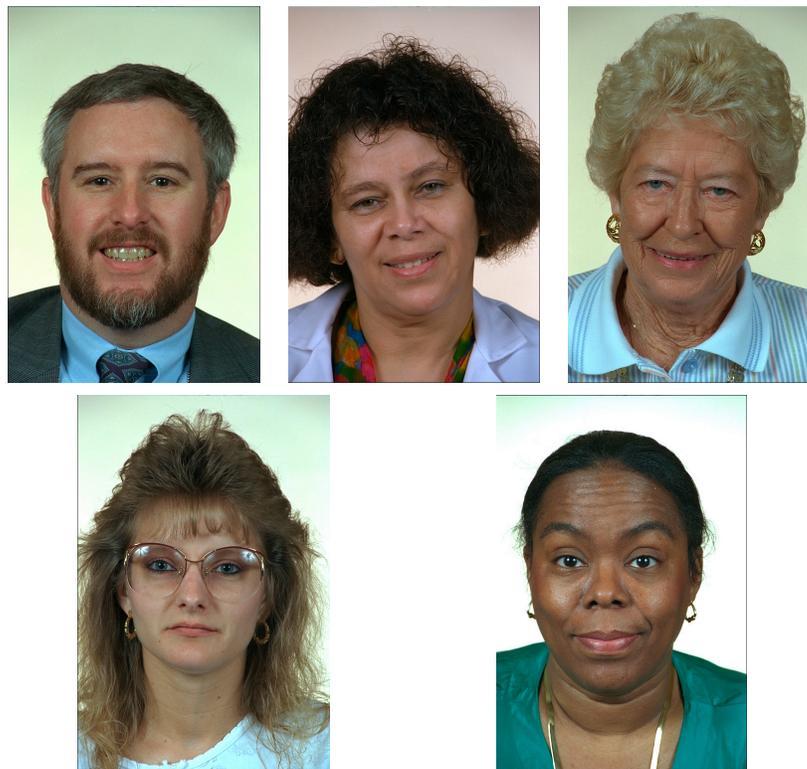


Figura 17 - Ejemplo de la muestra seleccionada de la base de datos a color FERET.

5.2 Método

La extracción de características morfológicas de rostro humano a partir de imágenes tiene como finalidad principal aportar un elemento diferenciador a ciertas áreas, como lo son: el área de desarrollo de contenidos en lo que respecta el reconocimiento y seguimiento de rasgos faciales, análisis de expresiones faciales, creación de rostros digitales, animación facial, sistemas de interacción hombre-máquina, el área de computación gráfica, entre otros. Este estudio se centra en las características morfológicas que describen los rasgos del rostro usando imágenes. Las características que serán estudiadas en el presente proyecto son: Las cejas, los ojos, la nariz, la boca y la forma del rostro. De esta forma se delimitan las características de la imagen de entrada teniendo en cuenta que esta debe estar a color, debe contener el rostro de frente de una sola persona, en pose neutral, tomada de los hombros hacia arriba, con fondo uniforme, en lo posible de un mismo tono.

A través de este proceso, el sistema es capaz de identificar la presencia del rostro y sus principales rasgos, realizará un procesamiento en las zonas de interés para de estas lograr identificar los puntos faciales, a partir de estos obtener las medidas cuantitativas entre ellos y después de este proceso lograr clasificar estas medidas en características cualitativas.

En la Figura 18 se presenta el esquema de descripción general del método que corresponde a los pasos principales para extraer las características. El método se puede implementar siguiendo diferentes métodos, técnicas, algoritmos, o procedimientos, propios del área de procesamiento de imágenes y visión por computador. A continuación, se presenta del desarrollo de la técnica que detalla cada paso del método para obtener una extracción de características morfológicas del rostro humano.

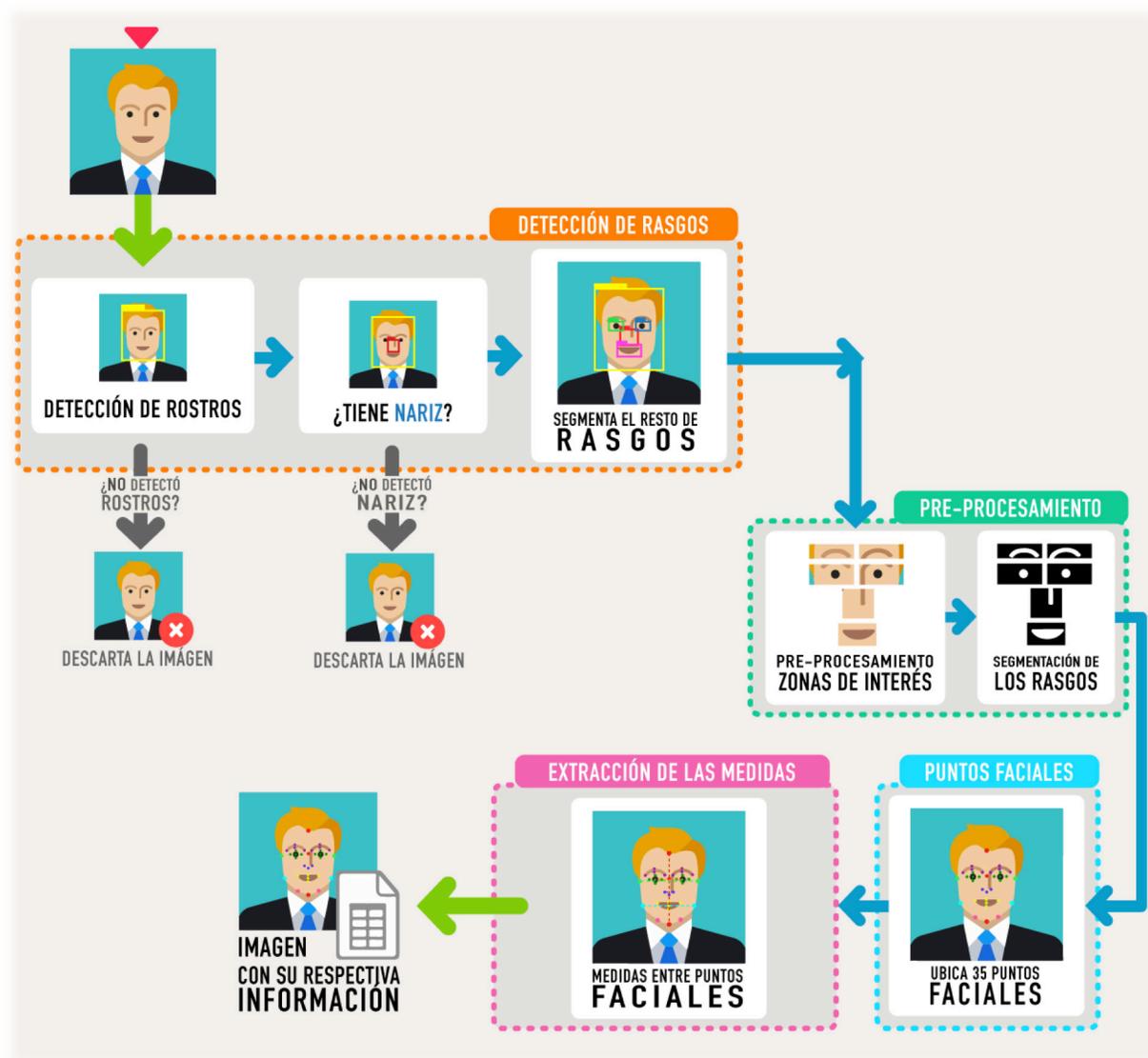


Figura 18 - Esquema general del sistema.

5.2.1 Partes del sistema

Para poner en marcha el método es necesario iniciar con el ingreso de una imagen a color con el rostro de una sola persona, de frente, de los hombros hacia arriba, con un fondo de color uniforme, de ser posible.

De manera general, el funcionamiento del método se centra en cuatro partes principales: Detección de zonas de interés, segmentación de rasgos o facciones, identificación de puntos faciales y extracción de medidas.

a. Detección de zonas de interés

Como se explicó anteriormente, para iniciar el uso del método, es necesario ingresar una imagen, esta será la entrada para esta parte del sistema que consiste en 2 partes: la primera, se encarga de detectar la presencia de los rostros en la imagen y la segunda, se encarga de encontrar las zonas de interés del rostro, para obtener como resultado el recorte del rostro detectado y el recorte de las zonas de interés dentro del mismo.

- *Detección de rostros*

Esta primera parte del proceso consiste en que a partir del ingreso de una imagen, el sistema procede a revisar si en ella hay presencia de rostros, de no ser así, la imagen será descartada, pero en el caso de que si detecte la presencia de estos pasará al siguiente sub-proceso.

Para la detección de rostros se utilizó el algoritmo de detección rápida de objetos propuesto por Viola-Jones, el cual viene incluido en el paquete *visionSupportPackage* en MATLAB. Este algoritmo es implementado por medio de OpenCV utilizando el llamado de la función *vision.CascadeObjectDetector()*, la cual tiene como fundamento el análisis de archivos *.xml* que contienen información acerca de las imágenes con las cuales fue entrenado el algoritmo de detección, en donde se identifican si estas corresponden o no a las características que se están analizando ya sean rostros, ojos, nariz, entre otros. Al aplicar esta implementación del algoritmo de Viola-Jones, se encontró que este permite identificar las regiones del rostro, sin embargo, también identificaba algunas regiones que no correspondían a rostros como se ve en la Figura 20, dónde identifica la presencia de un rostro ubicado en el saco de la persona.

Debido a que es necesario comprobar si en realidad el objeto detectado es un rostro, se afina la técnica presentando una condición adicional en la que se plantea: “Sí dentro del objeto que ha marcado como rostro el sistema detecta una nariz, entonces este se marca definitivamente como un rostro, de no ser así se descarta el objeto”. El funcionamiento de esta parte del sistema es detallado en el esquema que se presenta en la Figura 19. Al igual que al inicio, en el caso de que no detecte ningún rostro en la imagen esta será descartada por el sistema. De esta forma, como resultado se tendrá que en caso de haber detectado un rostro en la imagen, esta será recortada para su estudio en los siguientes procesos, de no ser así, da por terminado el proceso.



Figura 19 - Esquema de detección de rostros.

En la Figura 20 se presenta un ejemplo de cómo funciona la condición de la presencia de la nariz para marcar definitivamente como rostro el objeto detectado, condición que fue planteada para evitar este tipo de errores, ya que esta es una de las etapas con mayor peso en el funcionamiento del método, pues si desde un comienzo no se detecta de forma correcta la presencia del rostro en la imagen, esto acarreará problemas posteriores para la segmentación y detección de los rasgos faciales dentro de la imagen.

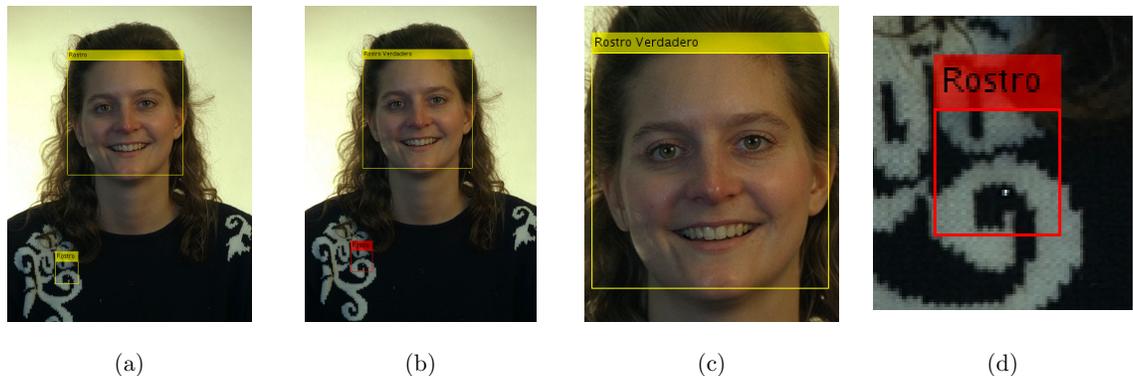


Figura 20 - Detección de rostros: (a) Detección de rostros sin tener en cuenta la condición de la nariz, en (b) se tiene en cuenta esta condición donde se obtiene la detección correcta del rostro (c) y la detección errónea de este (d).

- *Detección de zonas de interés dentro del rostro*

Esta parte del proceso, descrita en el esquema que se presenta en la Figura 21 funciona teniendo como entrada la sub-imagen que corresponde a la región del rostro que ha sido detectado en el sub-sistema anterior, a partir de este, y como proceso principal denominado *Detección de zonas de interés del rostro*, se identifican sub-ímagenes los rasgos presentes en el rostro que para el caso de este

proyecto son las áreas dónde se ubican los ojos, las cejas, la nariz y la boca. La segmentación de estas zonas se hace con la aplicación del algoritmo de Viola-Jones, que como ya se explicó anteriormente en la sección 4.6 utiliza la imagen integral para calcular velozmente las características Haar presentes en las imágenes. Así como existen un gran número de características que pueden diferenciar un rostro de otro, estos también comparten algunas propiedades similares, justamente estas similitudes son las que se marcan por medio del uso de las características Haar.



Figura 21 – Esquema de detección de las zonas de interés ubicadas dentro del rostro.

Algunas propiedades en común son:

- La región de los ojos es más oscura que la región superior de las mejillas.
- El puente de la nariz es más brillante que las cejas y los ojos.
- La ubicación del puente de la nariz, ojos y mejillas están ubicados en un lugar casi estándar.
- La intensidad de los pixeles tienen valores muy diferentes entre cada una de las partes del rostro. [22]

Teniendo esto en cuenta y por medio del uso de la función `vision.CascadeObjectDetector()`, se hace un llamado al clasificador `CascadeObjectDetector`, al definir el tipo de objeto a detectar, el clasificador es capaz de encontrar variedad de objetos, lo que es controlado por la propiedad `ClassificationModel`, el cuál es un parámetro *string* que describe el tipo de objeto a detectar, los utilizados en este proyecto se describen en la Tabla 2.

Objeto a detectar	<i>String</i>	<i>.xml</i> llamado por el <i>string</i>
Ojo Derecho	' <i>RightEye</i> '	'haarcascade_mcs_righteye.xml'
Ojo Izquierdo	' <i>LeftEye</i> '	'haarcascade_mcs_lefteye.xml'
Nariz	' <i>Nose</i> '	'haarcascade_mcs_nose.xml'
Boca	' <i>Mouth</i> '	'haarcascade_mcs_mouth.xml'

Tabla 2 - Propiedades de los objetos a detectar.

Este parámetro *string* lo que hace es llamar un archivo *.xml*, que da los parámetros de configuración según el modelo especificado, estos archivos *.xml* fueron creados a partir de la función de entrenamiento del detector con el que viene por defecto el algoritmo de Viola-Jones que se utilizó en MATLAB. La detección de las zonas de interés se dio por medio del uso de los clasificadores anteriormente mencionados y sus respectivos archivos *.xml*.

Además de esto, y con motivo de asegurar la correcta detección de los elementos presentes en la cara, se hizo un análisis acerca de los tamaños promedio de los rostros en diferentes partes del mundo, información obtenida a través de bibliografía y compendios de información de estos datos, esta información se presenta con mayor detalle en el Anexo 1. Estudio de medidas faciales.

Como resumen de esta información y teniendo en cuenta que el clasificador funciona de una forma más precisa cuando se le aporta un dato adicional como el tamaño mínimo de la característica que debe buscar en el rostro, se tomó el posible tamaño de rostro más grande con los rasgos que podría tener un rostro pequeño, lo que nos permitió encontrar las proporciones que se presentan en la Tabla 3.

Característica	Ancho		Alto	
	Tamaño en mm	%	Tamaño en mm	%
Cara	165	100	220	100
Boca	33	20	13	5
Ojos	17	10	20	8
Nariz	35	22	42	19

Tabla 3 - Proporciones de los rasgos a encontrar.

Estos porcentajes fueron multiplicados por las dimensiones del rostro encontrado, lo que nos aporta el tamaño mínimo de la característica que se está buscando, sin embargo, hay que tener en cuenta que este tamaño no debe ser menor que el tamaño de las imágenes de entrenamiento, de esta manera se adiciona otra condición de que en caso que el tamaño mínimo encontrado sea menor que el tamaño de entrenamiento, entonces, el parámetro del tamaño mínimo sea igual al tamaño de la imagen de entrenamiento, estos tamaños están representados en la Tabla 4.

Para encontrar el resto de las características en el rostro, después de ya haber sido detectada la nariz, se asigna el tamaño mínimo que pueden tener los ojos a detectar y además de esto, como parámetro de la región de búsqueda de estas características se asigna un área de búsqueda, con el fin de evitar que los ojos

derecho e izquierdo sean detectados en el mismo lugar o que seleccione los ojos en otras áreas que no corresponden, como se detalla en la Figura 22.

Característica	Tamaño de las imágenes de entrenamiento	
	Ancho mínimo (en pixeles)	Alto mínimo (en pixeles)
Cara	160	220
Ojos	20	20
Boca	33	13
Nariz	26	39

Tabla 4 - Tamaño de las imágenes de entrenamiento del algoritmo de Viola-Jones implementado.

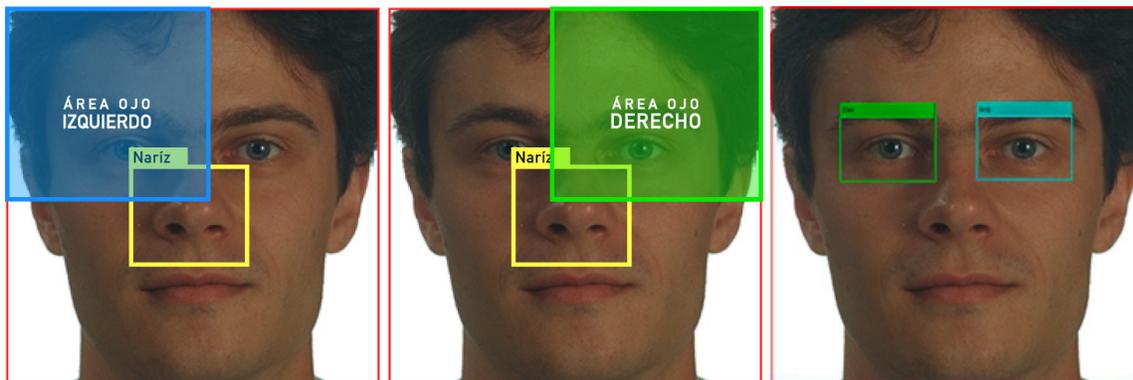


Figura 22 - Área de búsqueda de los ojos y detección de estos.

A partir de la detección de los ojos, se puede encontrar la ubicación del área aproximada de las cejas, como se puede detallar en la Figura 23.

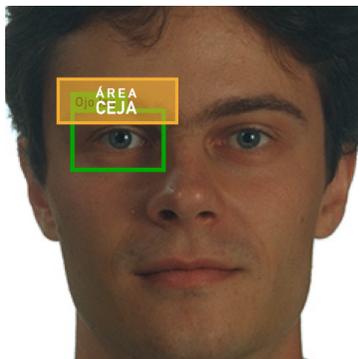


Figura 23 - Área para ubicación de las cejas.

Después de encontrar las cejas en el área calculada, se habilita el sistema para la búsqueda de la boca, de igual forma que para los ojos, se asigna el tamaño mínimo a buscar y se le facilita el detector el área promedio calculada en donde está ubicada la boca (ver Figura 24), para de esta forma, detectar la boca.



Figura 24 - Área de búsqueda de la nariz y la detección de esta en la cara.

Como resultado de esta sección de detector de rasgos, se obtiene el recorte de cada característica encontrada, lo que permite tener la entrada para el siguiente proceso de pre-procesamiento de las zonas de interés, para el ejemplo, se encontraron las siguientes zonas que se presentan en la Figura 25.



Figura 25 - Recortes de la imagen con los rasgos encontrados.

b. Segmentación de rasgos

Esta parte del sistema tiene como objetivo, analizar las zonas de interés para posteriormente desarrollar un procesamiento que permita realizar una segmentación que delimite de la mejor manera el objeto presente en las zonas analizadas.

En el esquema de la Figura 26, se puede observar que la primera parte del sistema depende del ingreso de los recortes de las zonas de interés, a partir de estos, se hace el tratamiento de imágenes de cada una para posteriormente, identificar específicamente la técnica que genere la segmentación más apropiada para cada una de las características a identificar en estas zonas de interés.

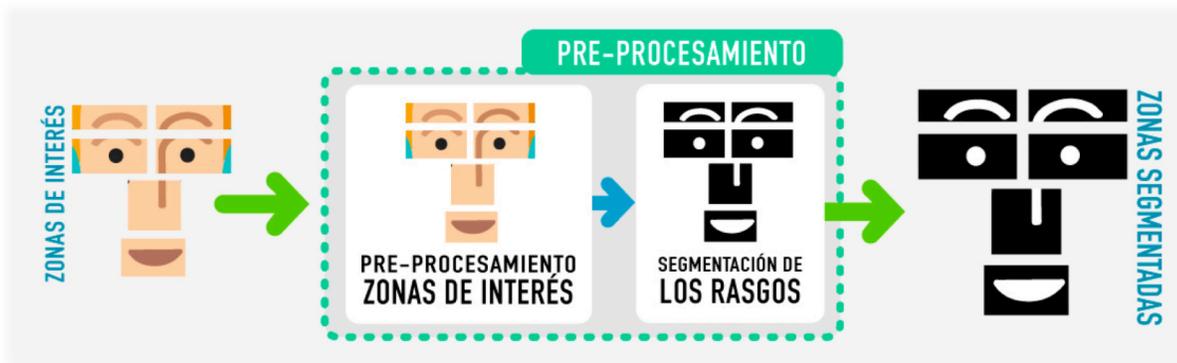


Figura 26 - Esquema de Segmentación de rasgos.

- *Pre-procesamiento de las zonas de interés*

Los recortes de las zonas de interés obtenidos como resultado en el sistema anterior se convierten en la entrada de este proceso, en el cuál se le realiza un pre-procesamiento a las imágenes de entrada, a las cuales se les aplican algunos procedimientos en común (como se detallará a continuación) y a su vez, dependiendo de las características que se estén analizando particularmente dentro de estas, cada una tendrá un tratamiento específico debido a sus notables diferencias entre sí, como de forma, color, ubicación en el rostro, entre otras (procesos, que serán descritos en detalle posteriormente).

- i. *Ajustar la intensidad de la imagen*

En esta sección, con el fin de compensar la iluminación de la imagen, esta es mejorada por medio de la función *imadjust*, la cual ajusta la intensidad en las imágenes, tomando como límites el valor menor y mayor de la intensidad de cada uno de los canales RGB de la imagen.

En la Figura 27, se presenta un ejemplo de este ajuste, la cual muestra una clara mejora en la saturación de los colores, y se logra apreciar con mayor intensidad cada uno de ellos, ya que en la imagen original los tonos de los colores se tornan algo grisáceos.



Figura 27 - Ejemplo de ajuste de la intensidad en una imagen de ojo derecho.

ii. Filtro de suavizado

En algunos casos se hizo uso del filtro gaussiano con el fin de mejorar un poco las variaciones de intensidad entre los píxeles vecinos, como en el caso de la nariz, para no tener errores en la segmentación y ubicación de los puntos faciales a analizar.

iii. Conversión a espacios de color

Teniendo en cuenta que cada una de las zonas de interés tiene diferentes características en cuanto al color y la forma, estas fueron aprovechadas para hacer uso de diferentes espacios de color, que en algunos casos dieron lugar a mejores resultados. Como se explicó en la sección 4.7.1, algunos modelos de color tienen la facilidad de permitir segmentar ciertas características de las imágenes con más precisión, por ejemplo, la presencia del rojo en la imagen, la detección de las zonas de brillo, entre otros.

▪ *Segmentación de los rasgos encontrados*

Para esta parte del sistema, la entrada está compuesta por los respectivos pre-procesamientos realizados a cada una de las imágenes, a partir de estos y con el fin de que sea ubicada específicamente la región de la característica de estudio, procedemos a realizar la segmentación de cada una. A continuación se presenta de manera superficial como fue desarrollado este proceso.

i. Binarización

Para esta sección del proceso se utilizó el modelo de segmentación del umbral de Otsu, el cuál a partir de la entrada de la imagen en niveles de gris, detecta automáticamente el nivel de gris más apropiado para ser el umbral.

En otros casos, también se hizo binarización pero se utilizó un umbral que pudo ser determinado a través de diferentes pruebas realizadas en el desarrollo del proyecto, en las que se logró ver que podía utilizar un umbral en común para la detección de los objetos de interés.

ii. Operaciones morfológicas

Para este caso, después de tener las imágenes con la zona de interés segmentada se aplicaron operaciones morfológicas de dilatación y erosión con el fin de asegurarnos eliminar zonas que no hicieran parte de nuestro estudio, y con esto tener una segmentación más limpia y específica.

- *Pre-procesamiento y segmentación específicos de cada zona de interés*

A continuación se detallará el proceso aplicado a cada zona de interés dependiendo de sus componentes para lograr obtener la segmentación adecuada.

i. Ojos

El proceso realizado para la segmentación de los ojos consistió como primera medida en un ajuste de la intensidad de la imagen, a continuación se realizó la conversión de color al modelo YCbCr, del cual, a partir de algunas pruebas se determinó que el canal que más resaltaba las características a evaluar era el canal de crominancia Cb, el cual fue binarizado con un umbral correspondiente a 0.5, se invirtió la imagen para realzar la característica de interés de esta sección y después de algunas operaciones morfológicas se obtuvo la segmentación de cada ojo, este proceso es detallado en la Figura 28.

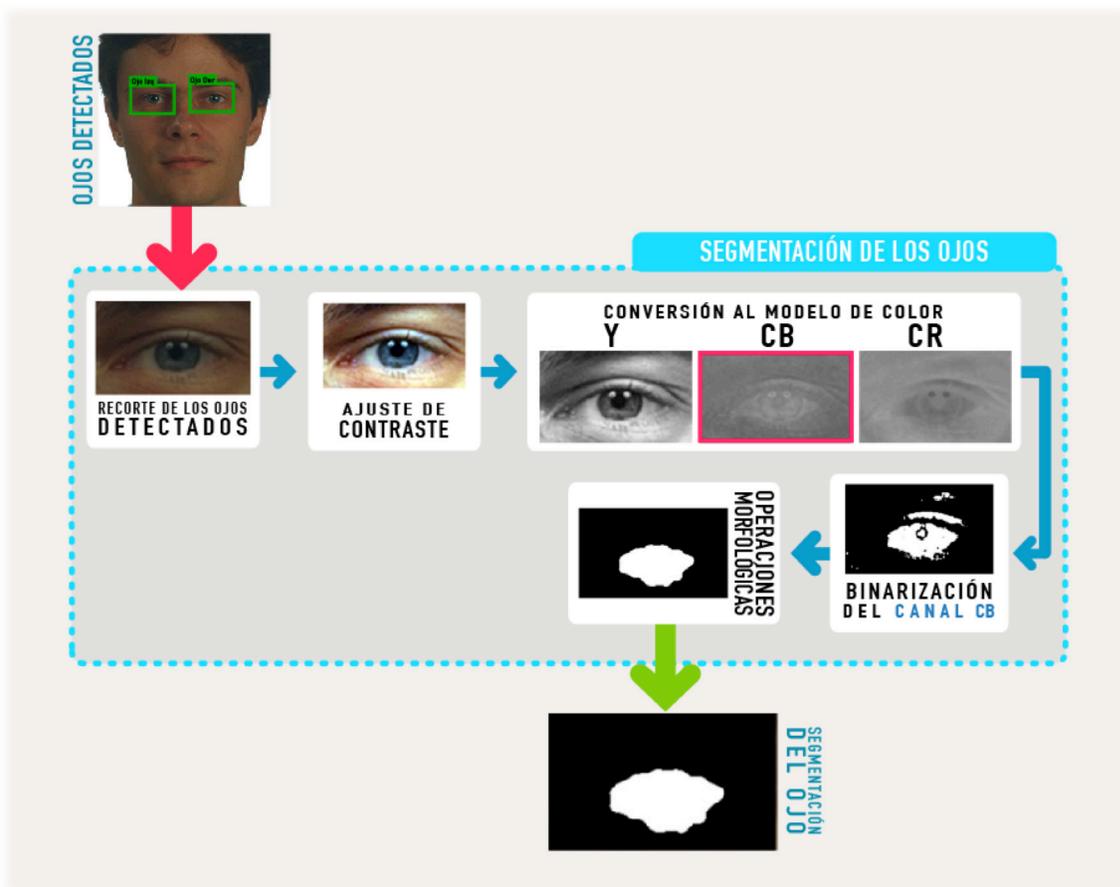


Figura 28 – Pre-procesamiento y segmentación de los ojos.

ii. Cejas

Para la segmentación de las cejas, el proceso inició con el ajuste de la intensidad del recorte de las cejas, este resultado se transformó en escala de grises, para en este caso en especial, se redujeron los niveles de gris a 16, esto con el fin de no tener muchos problemas con las variaciones de las sombras que se presentan en esta región debido a que en la zona también hay características de la cuenca de los ojos y del punto más prominente, y por ende más brillante de la frente. En esta imagen se determinó el valor del umbral por medio del método de Otsu, lo que permitió obtener la imagen binarizada y al aplicar las respectivas operaciones morfológicas, se segmentaron las cejas. (Ver Figura 29)

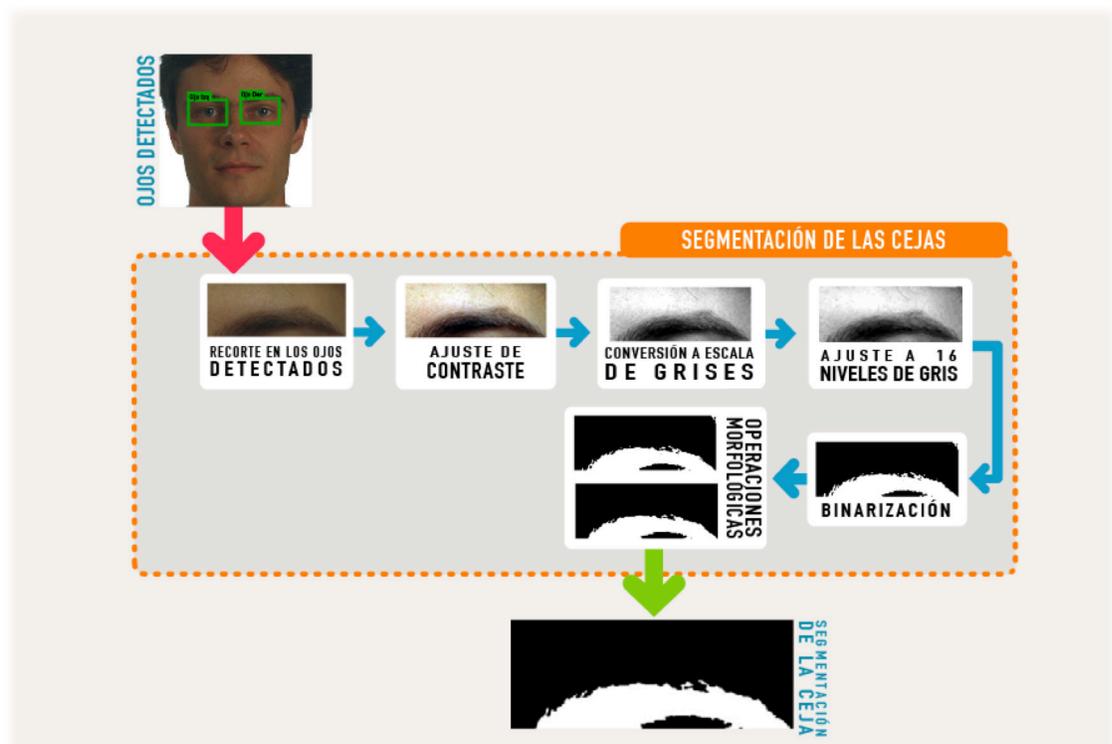


Figura 29 - Pre-procesamiento y segmentación de las cejas.

iii. Nariz

Para realizar la segmentación de la nariz, fue necesario hacer un ajuste en la intensidad de la imagen, esta se transformó a escala de grises para posteriormente pasar un filtro de gauss con un $\sigma = 6$, lo que permitió eliminar el ruido presente en la imagen y de esta manera al pasar por el filtro de detección de bordes de Canny no hubiese mucha interferencia en esta sección. Este proceso es detallado en el diagrama de la Figura 30.

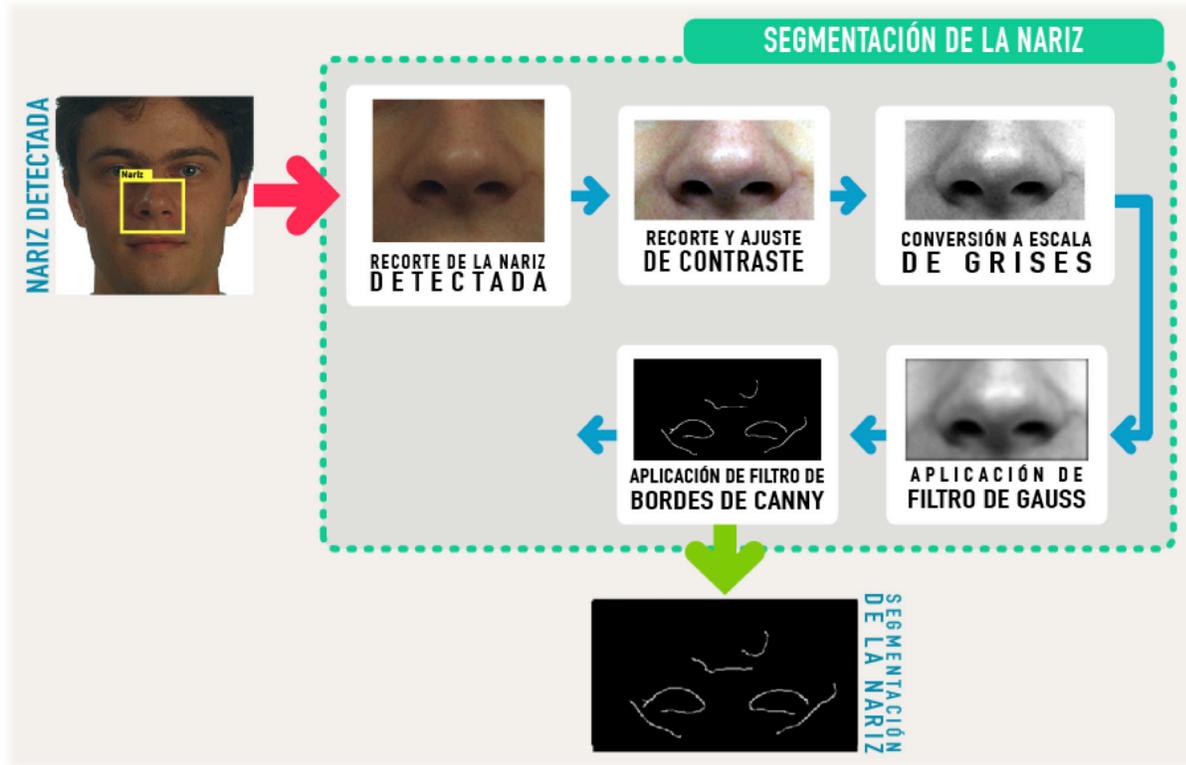


Figura 30 - Pre-procesamiento y segmentación de la nariz.

iv. Boca

El proceso de segmentación de la boca inició con el ajuste de la intensidad de la imagen, después se convirtió en el espacio de color *Lab* del cual se consideró el canal *a*, pues en este se representan los colores entre rojo y magenta, esto en cuanto a los labios como tal, es decir, la parte más roja de la boca. También se realizó una transformación al espacio de color *HSV* del que se consideró el canal *S* ya que este nos permite revisar en detalle las zonas más oscuras, por medio de las cuales se logran segmentar los puntos ubicados en la región media de la boca; de esta manera, sumando las segmentaciones producidas por los dos espacios de color, se obtuvo una segmentación completa para la boca, como se representa gráficamente en la Figura 31.

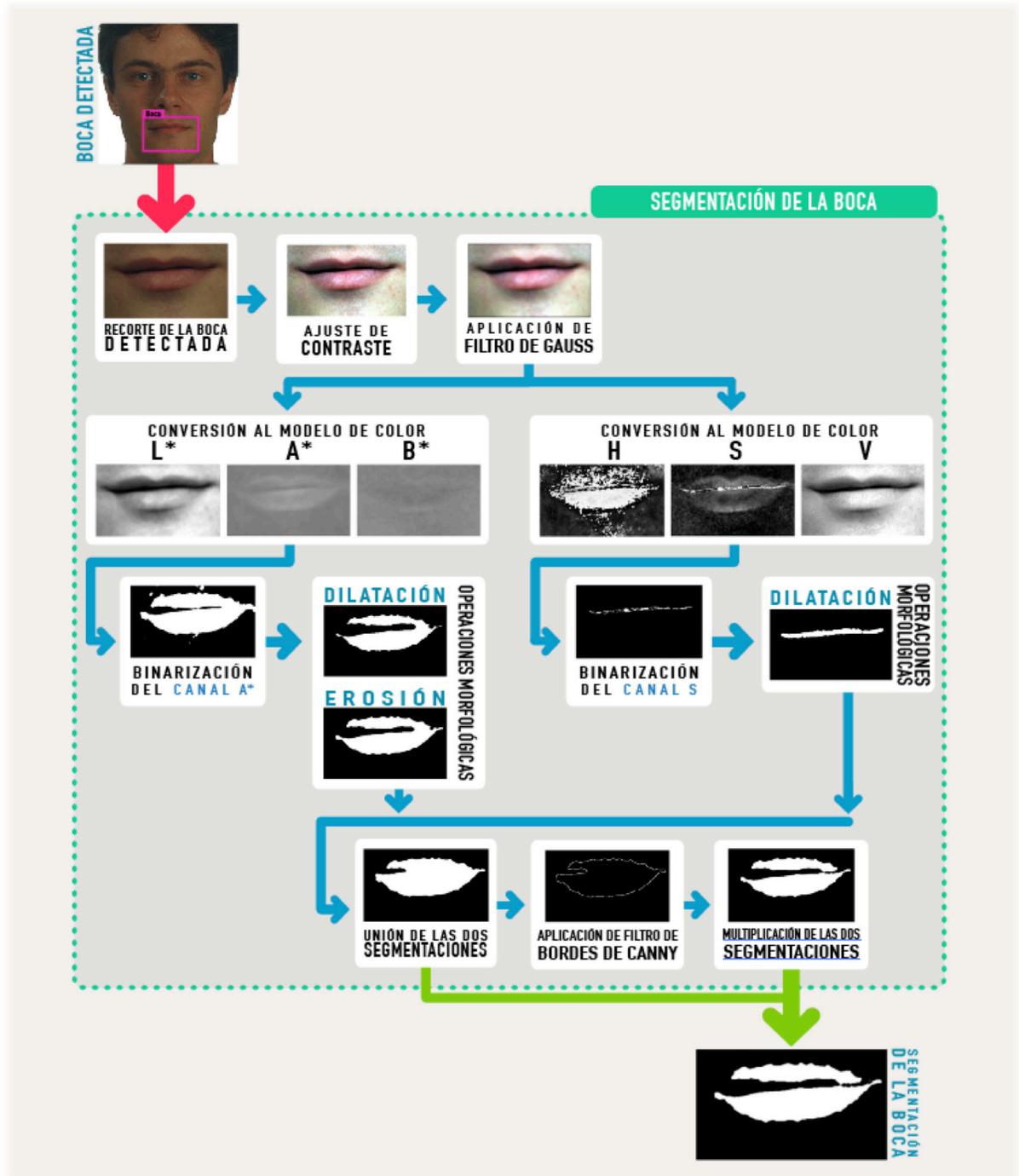


Figura 31 - Pre-procesamiento y segmentación de la boca.

c. Puntos faciales

Este sistema es descrito por el esquema presente en la Figura 32, está conformado por un proceso principal en el que entran las zonas del rostro segmentadas y en ella ubica los 35 puntos faciales antropométricos a encontrar (ver Tabla 5), por ende como resultado se tiene la imagen con los puntos faciales resaltados sobre esta.



Figura 32 - Esquema de Puntos Faciales.

Región	Puntos antropométricos	
C e j a	Extremo Izquierdo	●
	Extremo Superior	●
	Extremo Derecho	●
	Extremo inferior	●
O j o s	Endocantion	●
	Extremo Superior	●
	Exocantion	●
	Extremo Inferior	●
	Central	●
N a r i z	Alar izquierdo	●
	Subnasal	●
	Alar derecho	●
B o c a	Chelion Izquierdo	●
	Labial Superior	●
	Chelion Derecho	●
	Labial Inferior	●
	Stomion	●
C a r a	Trichion	●
	Zygion Izquierdo	●
	Zygion Derecho	●
	Nasion	●
	Gonion Izquierdo	●
	Gonion Derecho	●
	Media Gn-Go Izquierdo	●
	Media Gn-Go Derecho	●
	Gnation	●

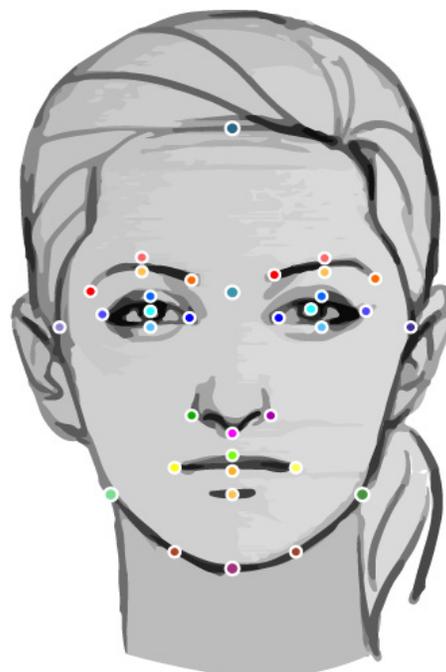


Tabla 5 - Puntos faciales antropométricos

- *Ubicación de los puntos faciales*

Después de tener la segmentación de las zonas faciales de interés, se procede a detectar los bordes de cada una de estas zonas para obtener las dimensiones de las características en estudio.

- i. Ojos:*

Esta región se divide en cinco partes, la detección del punto más lejano y el punto más cercano en la coordenada x (*endocantion* y *exocantion*), el punto más alto y el punto más bajo en la coordenada y . Y por último la coordenada central que representa la pupila.

Para ubicar los puntos superior e inferior justo en el centro del ojo en la coordenada x , fue necesario hallar la distancia euclidiana entre los puntos encontrados en cada uno de los extremos derecho e izquierdo, para de esta manera presentar las dimensiones de una forma más organizada para tomar las medidas respectivas del siguiente proceso.

- ii. Cejas:*

Esta región se divide en cuatro partes, al igual que los ojos, se tiene la detección de los puntos que nos permiten determinar el ancho y el alto de las cejas. Se realizó la misma operación de distancia euclidiana mencionada para los puntos de los ojos para centrar los puntos que determinan el alto de la ceja.

- iii. Nariz:*

Esta región se divide en tres partes, la detección de los puntos ubicados en los extremos en la coordenada x , los cuales nos dan los *alares*. Y el punto *subnasal* el cual es dado por el punto más bajo en la coordenada y .

Utilizando la distancia euclidiana también se centró el punto *subnasal* para obtener un mejor resultado mientras se están tomando las medidas respectivas.

- iv. Boca:*

Se realiza el mismo proceso que en los anteriores casos para encontrar los puntos que determinan el alto (*Labial superior* y *labial inferior*) y el ancho (*Chelion derecho* y *Chelion Izquierdo*), con la diferencia, que para este caso se tiene un punto central (*Stomion*), el cual determina si la boca está abierta o cerrada, por medio de una condición más, identifica si dentro de la boca segmentada hay otra región y la toma como una región de estudio independiente a la cual le identifica el punto más alto y más bajo, con el fin de determinar los límites de los labios superior e inferior respectivamente.

- v. Cara:*

Para este caso en específico, era necesario tener los datos de los ojos y la boca, pues extendiendo las coordenadas en x del punto *exocantion* hasta el

límite del borde de la cara, podemos encontrar los puntos cigomáticos (*Zygion*) y extendiendo las coordenadas en x del punto labial inferior hasta el límite del borde de la cara se pueden encontrar los puntos que determinan el ancho de la mandíbula (*Gonion*).

Además de esto, se encuentra el punto superior, el cual limita con la línea del cabello (*Trichion*) y el de la punta del mentón (*Gnation*).

d. Extracción de las medidas



Figura 33 - Esquema de extracción de medidas.

El funcionamiento del sistema es detallado en el esquema de la Figura 33. Este proceso se encarga de medir las proporciones entre los puntos detectados en el proceso anterior para dar como resultado unos índices que nos permiten clasificar estas medidas en descripciones cualitativas.

- *Medidas entre los puntos faciales*

Esta parte del proceso consiste en encontrar la distancia entre los puntos de interés para poder realizar el estudio de las dimensiones de los diferentes rasgos presente en el rostro. Para este caso de estudio, se delimitó el estudio de 12 medidas, que se describen a continuación:

- i. El **ancho facial** se determina calculando la medida facial bicigomática, es decir del *Zygion* derecho al izquierdo.
- ii. La **altura facial** es medida desde el *trichion* (Línea del cabello) hasta el *gnation* (Extremo del mentón).
- iii. La **anchura interocular** se mide desde el punto interocular derecho al punto interocular interno.
- iv. El **ancho interpupilar** medida horizontal desde la pupila del ojo izquierdo hasta la pupila del ojo derecho.

- v. La **altura nasal** corresponde a la altura de la nariz que se mide desde el punto *subnasal* y hasta el *nasion*.
- vi. El **ancho nasal** es medido desde el alar derecho al *alar* izquierdo.
- vii. La **altura del labio superior** es medida desde el punto *subnasal* hasta el *stomion* (punto medio de la boca).
- viii. La **altura del labio inferior** es una medida vertical que se toma desde el *stomion* hasta el punto labial inferior.
- ix. El **ancho de la boca** es una medida horizontal desde *chelion* derecho al *chelion* izquierdo.
- x. El **ancho de la mandíbula** es medido desde el *gonion* derecho al izquierdo.
- xi. La **altura facial inferior** es una medida vertical desde el *gnation* hasta el *stomion*.
- xii. La **altura bicigomática** es medida de forma horizontal desde el *zygion* derecho hasta el *zygion* izquierdo.

Medidas Faciales		
R egió n	M edida	P untos
Ojos	Anchura Interocular	En - En'
	Ancho Interpupilar	Central - Central'
Nariz	Altura Nasal	Na - Sn
	Ancho Nasal	Al - Al'
Boca	Altura Labio Superior	Sn - St
	Altura Labio Inferior	St-Lb
	Ancho de la Boca	Ch - Ch'
Cara	Ancho Facial	Zy - Zy'
	Altura Facial	Gn - Tr
	Ancho de la Mandíbula	Go - Go'
	Altura Facial Inferior	Gn - St
	Anchura Bicigomatica	Zy - Zy'

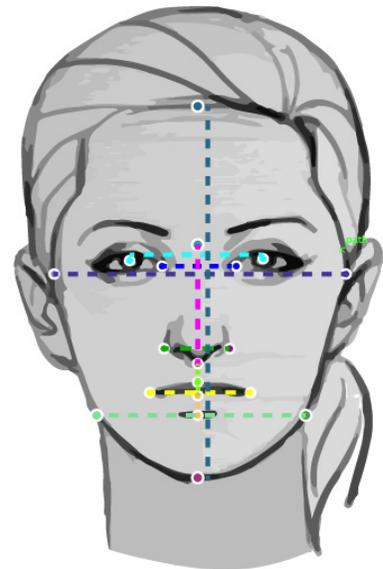


Tabla 6 – 12 Medidas Faciales utilizadas en el desarrollo de la técnica de extracción de características morfológicas de rostro humano a partir de imágenes.

Teniendo en cuenta que un pixel es una dimensión independiente y que no posee una medida específica, pues su contenido es un punto en el espacio que

representa una señal discretizada, su representación puede ir desde una célula hasta una montaña en un horizonte lejano en una fotografía digital.

Es preciso darle un valor aproximado en centímetros a cada pixel y con eso lograr que su representación abstracta sirva como representación medible y cuantificable.

Para esta aplicación tomamos la medida en pixeles de la distancia interpupilar como pilar principal de medida, sabiendo que la distancia interpupilar promedio en los seres humanos varía desde 60mm a 68mm, con lo cual se tomó la medida de 64mm para asignar al valor correspondiente en pixeles a la distancia interpupilar, lo que nos permitió tener una escala más real.

De esta manera se tiene que, si N pixeles representan la distancia interpupilar, este corresponde a 64mm, de esta manera, el valor de 1 pixel se puede determinar según la siguiente ecuación.

$$1_{pixel} = \frac{64mm}{\text{distancia interpupilar}_{en\ pixeles}}$$

Finalmente, por medio de esta ecuación se logró medir dimensiones de pixeles en milímetros.

- *Clasificación cuantitativa a características cualitativas*

Después de obtener las medidas faciales es necesario determinar las características cualitativas que describen esos datos numéricos, para esto, se definieron los siguientes parámetros:

a. Rostro

Para el rostro se determinó la forma de la cara, como la característica cualitativa a evaluar, para el presente trabajo se definió la clasificación únicamente en 4 tipos: Redonda, ovalada, cuadrada y rectangular.

Para evaluar la forma de la cara es necesario considerar los puntos cigomáticos (*Zygion derecho* y el *izquierdo*), los puntos mandibulares (*gonion derecho* y el *izquierdo*), el punto extremo del mentón (*gnation*) y dos puntos que se extienden en la misma coordenada en x de los bordes de la boca (*chelion*) hasta el borde de la cara. Al igual que el punto del borde del cabello (*trichion*) y el punto del extremo del mentón (*gnation*) Por medio de estos puntos se evalúan las proporciones del rostro describiendo la forma ya sea:

- Redonda:

En este modelo el ancho de la mandíbula es un poco menor que el ancho facial, sin embargo, el ancho de la cara es similar a su altura, los puntos *goniales* son curvilíneos.

$$Go_{der} - Go_{izq} < Zy_{der} - Zy_{izq}$$

$$\text{ancho facial} \approx \text{altura facial}$$

- Ovalada:

Para este modelo el diámetro transversal mandibular es más esbelto que la dimensión transversal de la frente, sus contornos son redondeados [23]. La diferencia con la forma redonda es que la cara es más larga que ancha, de esta manera se cumplen las siguientes condiciones.

$$Go_{der} - Go_{izq} < Zy_{der} - Zy_{izq}$$

$$\text{ancho facial} < \text{altura facial}$$

- Cuadrada:

En este modelo el ancho de la mandíbula es similar al ancho facial, al igual que el ancho de la cara es aproximadamente igual a la altura facial.

$$Go_{der} - Go_{izq} \approx Zy_{der} - Zy_{izq}$$

$$\text{ancho facial} \approx \text{altura facial}$$

- Rectangular:

En este modelo el ancho de la mandíbula es similar al ancho facial, sin embargo, el alto de la cara es mayor al ancho facial.

$$Go_{der} - Go_{izq} \approx Zy_{der} - Zy_{izq}$$

$$\text{ancho facial} < \text{altura facial}$$

b. Altura del Labio Superior [9]

Es medido por medio del índice de Altura Labial Superior – Anchura Bucal descrito como:

$$\frac{\text{Altura Labial Superior} * 100}{\text{Anchura bucal}}$$

Los valores medios del índice varían entre 40.3 ± 5.25 , dependiendo de este se clasifican en 3 características: Labio Superior delgado, normal o grueso.

c. Altura del Labio Inferior [9]

Esta característica es medida por medio del índice de Altura Labial Inferior – Anchura Bucal descrito como:

$$\frac{\textit{Altura Labial Inferior} * 100}{\textit{Anchura bucal}}$$

Los valores medios del índice varían entre 40.3 ± 5.25 , dependiendo de este se clasifican en 3 características: Labio Inferior delgado, normal o grueso.

d. Separación de los ojos [9]

Para esta característica se evalúa el índice de la Anchura intercantal - Anchura nasal descrito como:

$$\frac{\textit{Altura Intercantal} * 100}{\textit{Anchura nasal}}$$

Los valores medios del índice varían entre 98 ± 7.9 , dependiendo de este se clasifican en 3 características: Ojos muy juntos, en posición normal o separados.

e. Tipo de nariz [9]

Para identificar el tipo de nariz se identifican los siguientes rangos:

- Hiperleptorrinas $x - 54.9$
- Leptorrinas $55 - 69.9$
- Mesorrinas $70 - 84.9$
- Camerrinas $85 - 99.9$
- Hipercamerrinas $100 - x$

f. Altura de la nariz [9]

Esta característica es medida por medio del índice de Altura nasal – Altura Facial inferior descrito como:

$$\frac{\textit{Altura nasal} * 100}{\textit{Altura Facial inferior}}$$

Los valores medios del índice varían entre 74.55 ± 6.7 , dependiendo de este se clasifican en 3 características: Nariz corta, normal o larga.

g. Ancho de la nariz [9]

Es medido por medio del índice de Anchura nasal – Anchura Bucal descrito como:

$$\frac{\textit{Anchura nasal} * 100}{\textit{Anchura bucal}}$$

Los valores medios del índice varían entre 64.3 ± 5 , dependiendo de este se clasifican en 3 características: Nariz angosta, normal o amplia.

Capítulo 6

Resultados

Con el fin de validar el funcionamiento de la técnica de extracción de características morfológicas de rostros humanos a partir de imágenes se realizaron pruebas con 96 fotografías seleccionadas de la base de datos a color FERET. En esta muestra se tuvo en cuenta las variaciones de origen poblacional, de sexo, de edad y en algunos casos de pose. A continuación serán descritos los resultados obtenidos y sus respectivos análisis.

6.1 Preparación de la imagen

Para iniciar todos los procesos que se involucran en el funcionamiento del método, es necesario ingresar una imagen. Al hacer varias pruebas con estas, se pudo comprobar que a pesar de tener todas las imágenes del mismo tamaño, de 512x769 pixeles, al iniciar el algoritmo, algunas características presentes no eran detectadas correctamente, por este motivo y con el fin de mejorar los resultados del proceso más importante, la detección del rostro y las áreas de interés, se hizo la prueba re-escalando las imágenes.

Tamaño	Tamaño Original	Escala 0.2	Escala 0.5	Alto de imagen entre 900 y 1000px
Porcentaje de aciertos	98,22%	91,43%	97,66%	99,48%

Tabla 7 - Comparación entre diferentes factores de escala de la imagen

De este proceso, y como se observa en la Tabla 7 - Comparación entre diferentes factores de escala de la imagen se obtuvo que existía una mayor precisión al escalar

proporcionalmente la imagen teniendo en cuenta que el alto tenía entre 900 y 1000 pixeles, de esta manera, la detección de la cara tuvo un 100% de éxito en la detección al igual que para la nariz, en el caso de los ojos y la boca se obtuvo un acierto del 99% en su detección.

6.2 Resultados de la detección de rasgos

6.2.1 Detección de rostros

Al implementar las condiciones descritas en la Sección 5.2.1, se alcanzaron resultados exitosos, ya que sin importar el origen poblacional, las variaciones en la iluminación o los elementos estructurales presentes, el sistema logró la detección completa de los rostros en las 96 imágenes, en la Figura 34 se presentan algunos ejemplos de estos resultados.



Figura 34 - Resultados de la detección de rostros en las imágenes de prueba.

El correcto funcionamiento de la detección de rostros permite trasladarse al siguiente subproceso de Detección de las características ubicadas dentro del rostro.

6.2.2 Detección de las características ubicadas dentro del rostro

Según el modelo propuesto en la Sección 5.2.1, la detección de los ojos, la nariz y la boca, fue buscada en una región de interés, según el rasgo a encontrar.

Tamaño	Cara	Nariz	Ojos	Boca
Porcentaje de aciertos	100%	100%	99%	99%

Tabla 8 – Porcentaje de aciertos de la detección de las características ubicadas dentro del rostro

De acuerdo con la Tabla 8, este modelo permitió encontrar los rasgos (ojos, nariz y boca) con un 98,95% de precisión, el 1,05% corresponde a una imagen que tenía algunas dificultades con la iluminación y tenía un elemento estructural en su rostro, gafas oscuras, las cuales no permitieron lograr la detección de los ojos. En la Figura 35 se presenta una comparación del resultado de una detección eficiente de las características y al otro lado, la imagen que presentó problemas debido al elemento estructural.

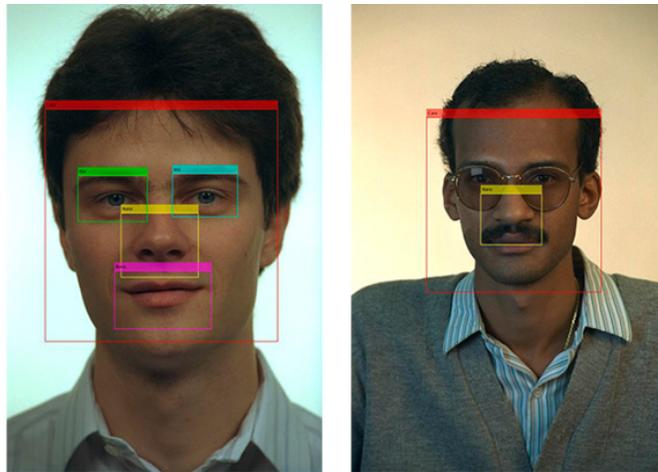


Figura 35 - Comparación de la detección de características en el rostro.

6.3 Segmentación y detección de los puntos faciales

Esta sección fue una de las más fundamentales en el desarrollo del proyecto, los resultados de esta sección fueron muy variados, existieron varios aciertos y errores, que se enfrentaron en la medida de lo posible.

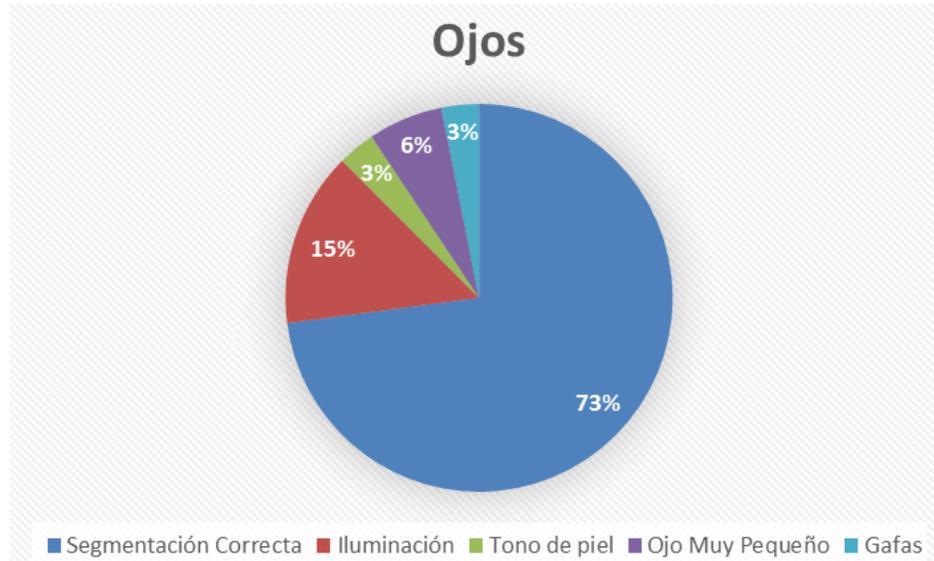
Para validar la detección de los puntos faciales encontrados por medio de los procesos descritos en el Capítulo anterior, se realiza un análisis estadístico del error de la ubicación ideal correspondiente de cada punto, aunque se presentaron algunos problemas con la detección de estos, el porcentaje de detección mínimo correspondió al 55%.

6.3.1 Ojos

Para determinar el porcentaje de acierto en la segmentación del ojo, se realizó una comparación entre la imagen original del recorte que fue ingresada a este proceso y la región segmentada por el algoritmo.

En esta comparación se analizó si los bordes identificados en la segmentación estaban ubicados exacta, o aproximadamente cerca, a los bordes de las características a analizar del ojo.

La Gráfica 1, evidencia el desempeño obtenido en la segmentación de los ojos y las características que se desean analizar en el ojo. Se puede observar que en un 15% se tuvieron problemas por causa de la iluminación, por ejemplo, las cuencas de los ojos generan sombras, la cercanía de las cejas o la propia iluminación al tomar la fotografía. El 6% presentó un problema en la segmentación debido al tamaño del ojo en el rostro de la persona, en algunos casos por su origen poblacional y en otros debido a la expresión facial, por ejemplo, en la sonrisa. Un 3% presentó problemas por la presencia de elementos estructurales, para este caso en particular de gafas, otro 3% por la condición del tono de la piel, ya que al segmentar el canal Cb , se está expuesto a que haya información en la imagen que sea seleccionable por este canal y el umbral trabajado, lo cual interfiere en la segmentación. Por último, el 73% proporciona una segmentación aproximada de los ojos de manera correcta.



Gráfica 1 – Desempeño de la segmentación en la región ocular

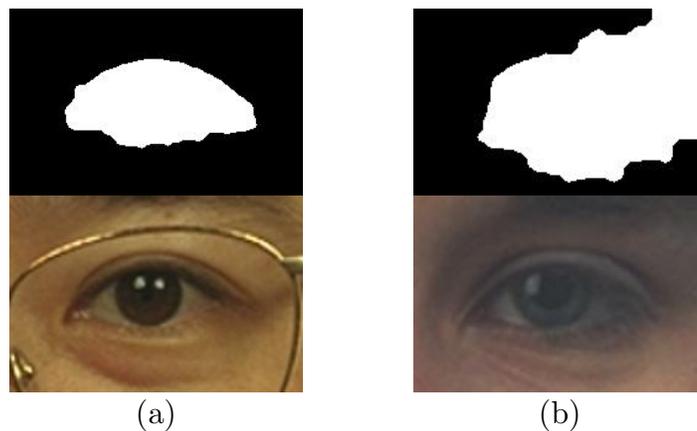


Figura 36 – Ejemplo de la segmentación de los ojos (a) correcta y (b) errónea a causa de la iluminación.

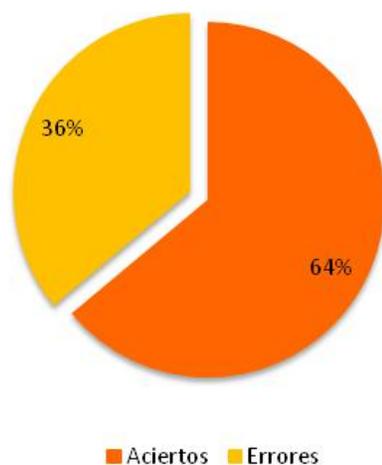
Estos resultados de la segmentación, funcionaron como valor de entrada para el proceso de la detección de puntos, de esta manera, se determina que de la segmentación depende el correcto posicionamiento de los puntos antropométricos a estudiar en esta zona.

Los ojos están compuestos de 5 puntos, *endocantion*, *exocantion*, el punto superior e inferior del ojo y por último la coordenada que representa la pupila. Los aciertos de estos puntos se determinaron de forma tal que estos estuvieran exactamente en el lugar que corresponde, de lo contrario, fueron determinados

como selecciones erróneas. En las siguientes tablas (Tabla 9 y Tabla 10) se relacionan los puntos de los ojos derecho e izquierdo seleccionados correctamente, las detecciones erróneas y el porcentaje correspondiente de cada uno.

Puntos faciales del Ojo Izquierdo	Resultados		
	Aciertos	Errores	%
Endocantion	52	44	55
Superior	65	31	68
Exocantion	59	37	62
Inferior	58	38	61
Central	73	23	77

Tabla 9 - Resultados de la detección de los puntos faciales del Ojo Izquierdo.



Gráfica 2 - Detección total de los puntos que componen el Ojo Izquierdo en las imágenes de análisis.

Puntos faciales del Ojo Derecho	Resultados		
	Aciertos	Errores	%
Endoncation	58	38	60
Superior	67	29	70
Exocantion	56	40	58
Inferior	64	32	67
Central	91	5	95

Tabla 10 - Resultados de la detección de los puntos faciales del Ojo Derecho

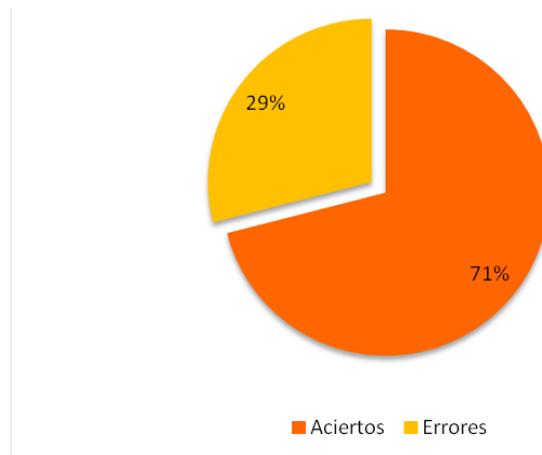


Gráfico 3 - Detección total de los puntos que componen el Ojo Derecho en las imágenes de análisis.

Los errores en la detección de los puntos que componen el ojo, son producidos por los mismos problemas que se tuvieron en las regiones que fueron segmentadas como ojos y no correspondían del todo a la zona de interés.

En la Figura 37, se describe el proceso final realizado con la zona de los ojos después de la detección de estos en el rostro, desde la segmentación hasta la selección de los puntos correspondientes de esta zona.

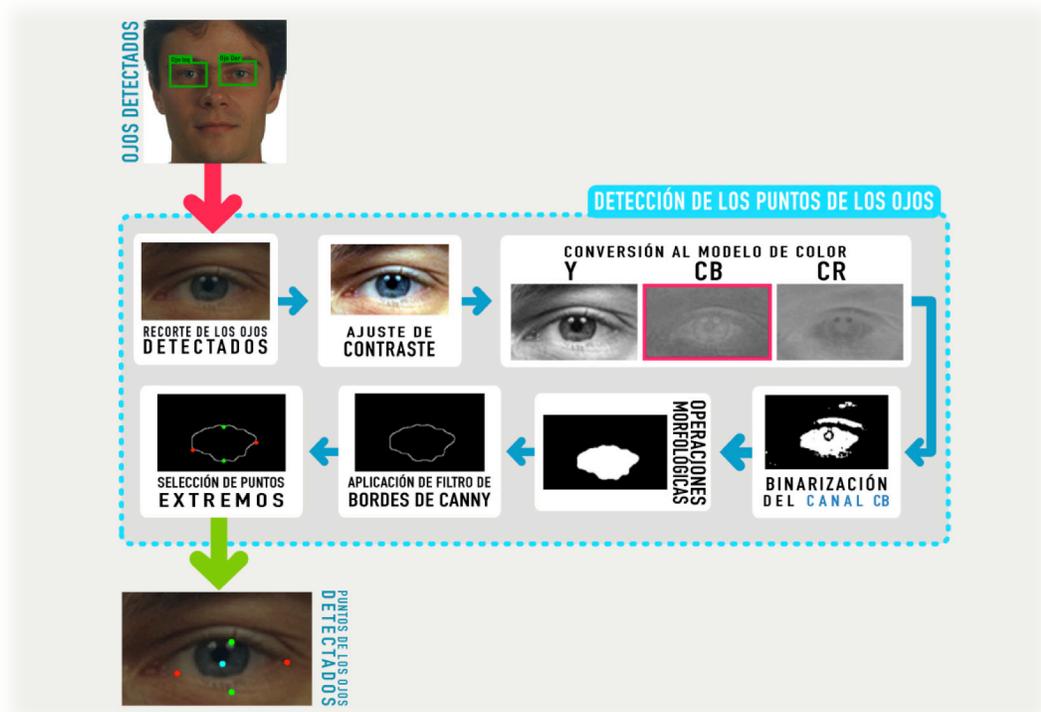
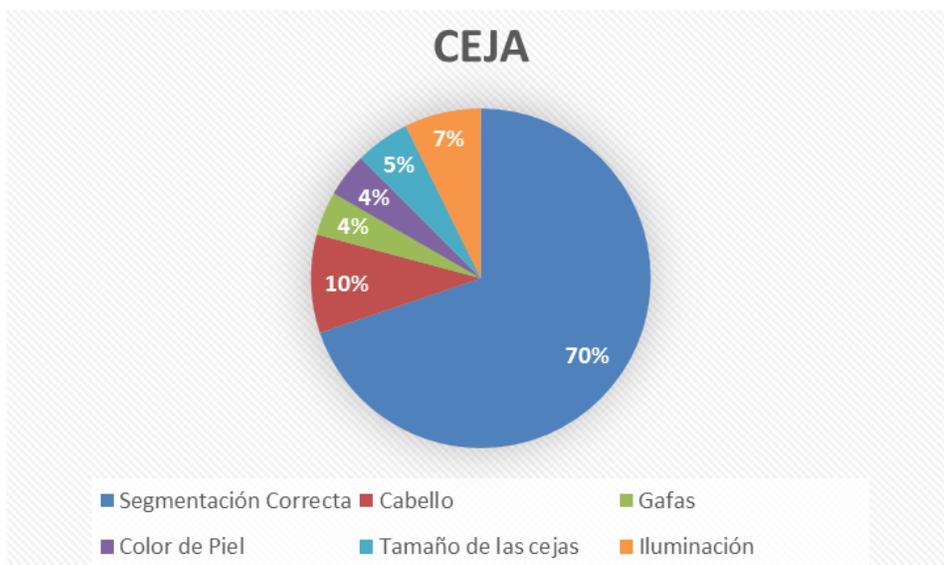


Figura 37 – Esquema del proceso de detección de los puntos de los ojos

6.3.2 Cejas

En la segmentación de las cejas, se determinó el porcentaje de acierto por medio de una comparación entre la imagen original del recorte que fue ingresada a este proceso y la región segmentada por el algoritmo. En esta comparación se analizó si los bordes identificados en la segmentación estaban ubicados exacta, o aproximadamente cerca, a los bordes de las características a analizar de las cejas.

La Gráfica 4, evidencia el desempeño obtenido en la segmentación de las cejas. Se puede observar que en un 10% se tuvieron problemas por la interferencia el cabello en la cara, en el mayor caso de mujeres, pues tenían capul y dos hombres que tenían el cabello largo en la parte de la frente. El 7% por causa de la iluminación, por ejemplo, las cuencas de los ojos generan sombras o la propia iluminación al tomar la fotografía. El 5% presentó un problema con las características de las cejas, pues en algunos casos tenían muy poco vello o el color de las mismas era confundido con el tono de la piel. Un 4% por el color de la piel, ya que en algunos casos de piel oscura o muy clara, se confundía con el tono del vello de la ceja, el otro 4% presentó problemas por la presencia de elementos estructurales, para este caso en particular de gafas. Por último, el 70% proporciona una segmentación aproximada de los cejas de manera correcta.



Gráfica 4 – Desempeño de la segmentación de la ceja.

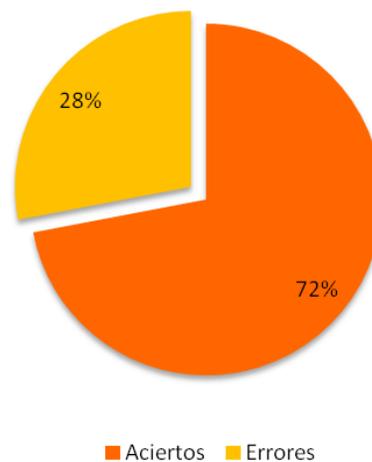
Los resultados de la segmentación influyeron ampliamente en el correcto posicionamiento de los puntos antropométricos a estudiar en esta zona.

Las cejas están compuestas por 4 puntos, extremo izquierdo, derecho, superior e inferior. Las detecciones acertadas se seleccionaron sólo si estaban exactamente en

el punto que corresponde, de lo contrario, fueron determinados como datos erróneos. En las siguientes tablas (**Tabla 11** y **Tabla 12**) se relacionan los puntos de las cejas, derecha e izquierda seleccionados correctamente, las detecciones erróneas y el porcentaje correspondiente de cada uno.

Puntos faciales de la Ceja Izquierda	Resultados		
	Aciertos	Errores	%
Extremo izquierdo	66	30	69
Superior	79	17	83
Extremo derecho	64	32	67
Inferior	64	32	67

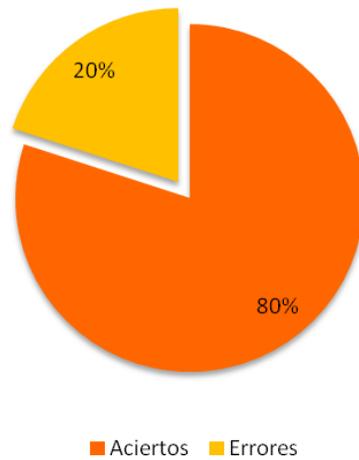
Tabla 11 - Resultados de la detección de los puntos faciales de la ceja Izquierda.



Gráfica 5 - Detección total de los puntos que componen la ceja Izquierda en las imágenes de análisis.

Puntos faciales de la Ceja Derecha	Resultados		
	Aciertos	Errores	%
Extremo izquierdo	70	26	74
Superior	87	9	92
Extremo derecho	74	22	78
Inferior	73	23	77

Tabla 12 - Resultados de la detección de los puntos faciales de la ceja Derecha.



Gráfica 6 - Detección total de los puntos que componen la ceja Derecha en las imágenes de análisis.

El esquema que describe este proceso realizado desde la segmentación hasta la selección de los puntos correspondientes de las cejas se presenta en la Figura 38.

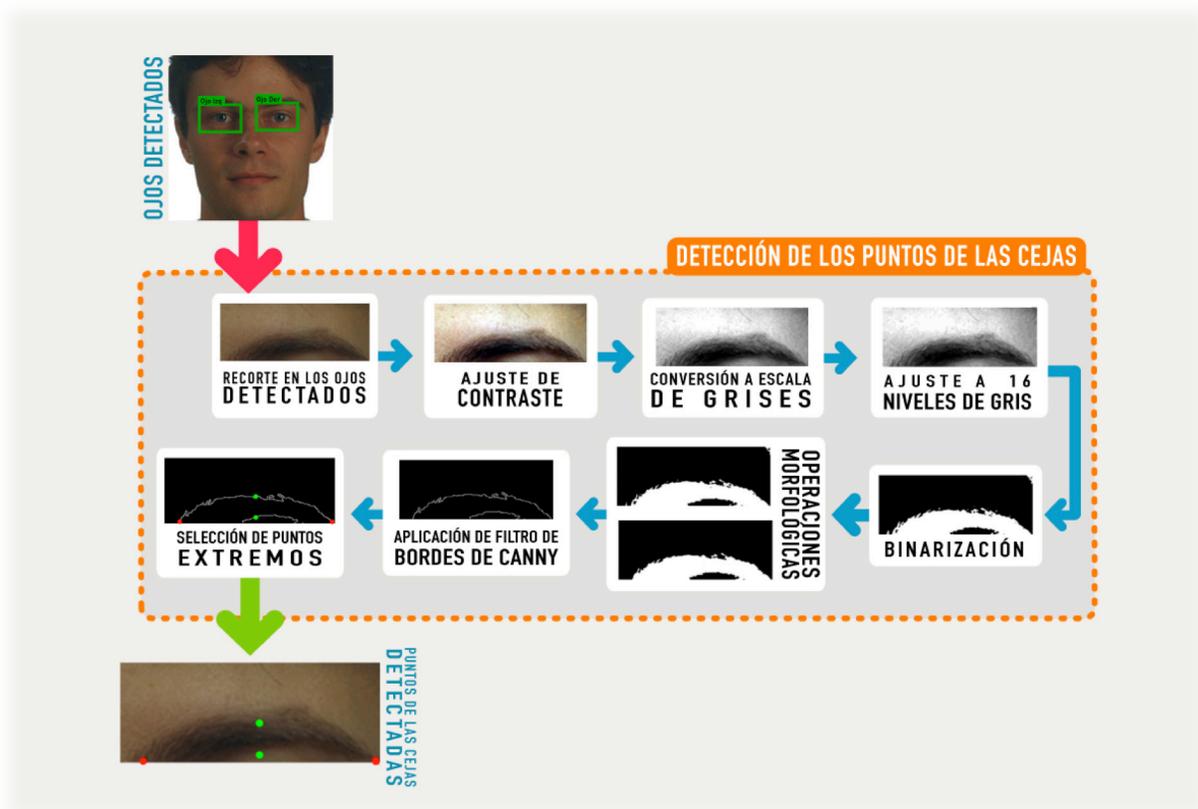


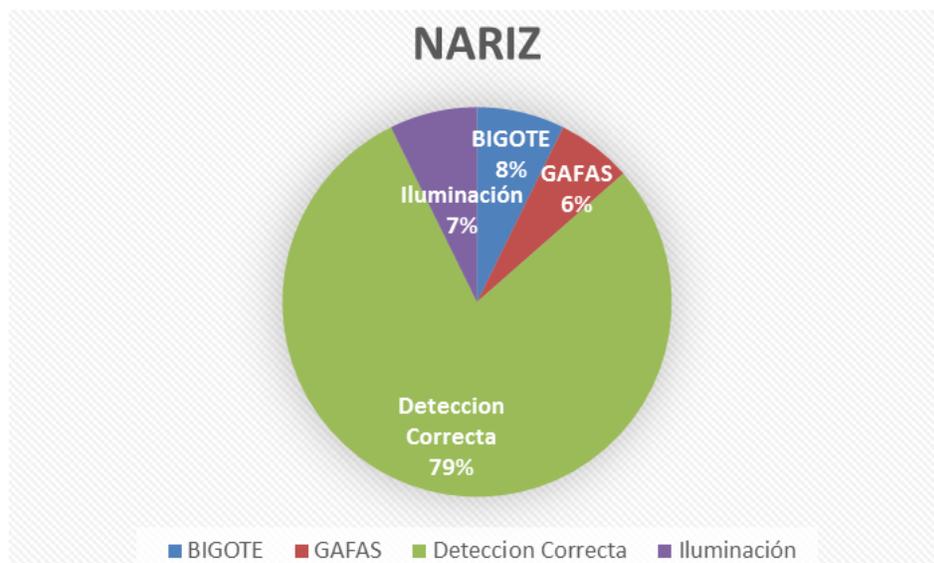
Figura 38 - Esquema del proceso de detección de los puntos de las cejas

6.3.3 Nariz

Para determinar el porcentaje de acierto en la segmentación de la nariz, se realizó una comparación entre la imagen original del recorte que fue ingresada a este proceso y la región segmentada por el algoritmo.

En esta comparación se analizó si los bordes identificados en la segmentación estaban ubicados exacta, o aproximadamente cerca, a los bordes de las características a analizar de la nariz.

La Gráfica 7, evidencia el desempeño obtenido en la segmentación de la nariz y las características que se desean analizar. Se puede observar que en un 8% se tuvieron problemas por causa la presencia de barba y/o bigote, lo que interfirió para hallar los extremos de la nariz. El 7% presentó un problema en la segmentación debido a la iluminación al tomar la fotografía. Un 6% presentó problemas por la presencia de gafas. Por último, el 79% proporcionó una segmentación aproximada de la nariz de manera correcta.

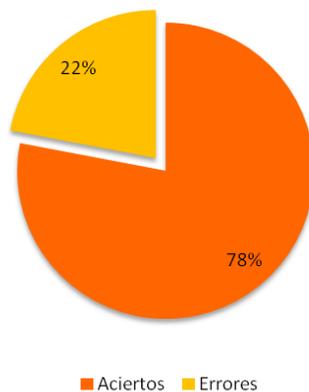


Gráfica 7 - Desempeño de la segmentación de la nariz.

La nariz se describe por 3 puntos, los alares y el subnasal, de esta manera se evaluó que los puntos estuvieran exactamente en el lugar correspondiente, de esta manera eran seleccionados como acertados, de lo contrario se consideraban erróneos. En la **Tabla 13** se relacionan los puntos de la nariz y sus resultados.

Puntos faciales de la Nariz	Resultados		
	Aciertos	Errores	%
Alar Izquierdo	61	35	64
Subnasal	94	2	99
Alar derecho	67	29	71

Tabla 13 - Resultados de la detección de los puntos faciales de la nariz.



Gráfica 8 - Detección total de los puntos que componen la nariz en las imágenes de análisis

El esquema que se presenta en la Figura 39 describe el proceso realizado desde la detección de los bordes de la nariz hasta la selección de los puntos extremos correspondientes.

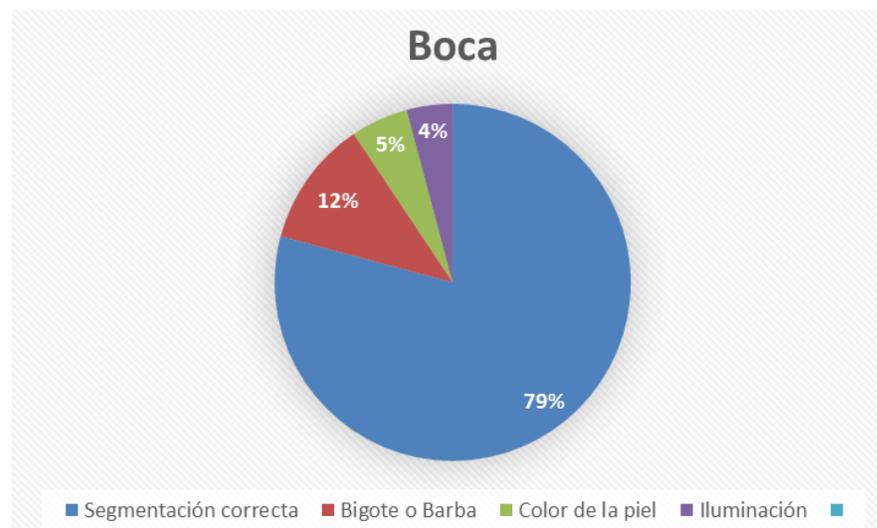


Figura 39 - Esquema del proceso de detección de los puntos de la nariz

6.3.4 Boca

En la segmentación de la boca, se determinó el porcentaje de acierto por medio de una comparación entre la imagen original del recorte que fue ingresada a este proceso y la región segmentada por el algoritmo. En esta comparación se analizó si los bordes identificados en la segmentación estaban ubicados exacta, o aproximadamente cerca, a los bordes de las características a analizar de la boca.

La Gráfica 9, evidencia el desempeño obtenido en la segmentación de la boca. Se puede observar que en un 12% se tuvieron problemas por la interferencia del bigote o la barba en la región inferior de la cara. El 5% por el color de la piel, ya que en la segmentación los parámetros de color de la piel eran similares a los que presentaba la boca. El 4% presentó problemas por la iluminación ya que algunas sombras generadas por el propio volumen del rostro hacia que los puntos se distorsionaran un poco. Por último, el 79% proporciona una segmentación aproximada de la boca de manera correcta.



Gráfica 9 - Desempeño de la segmentación de la boca.

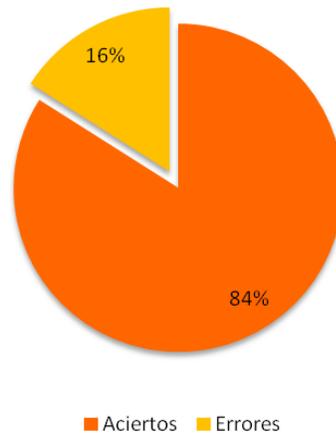
Los resultados de la segmentación influyeron ampliamente en el correcto posicionamiento de los puntos antropométricos a estudiar en esta zona.

Al igual que los ojos, la boca se compone de 5 puntos *chelion derecho*, *chelion izquierdo*, el punto labial superior e inferior y el punto central *stomion*.

Los aciertos de estos puntos se determinaron de forma tal que estos estuvieran exactamente en el lugar que corresponde, de lo contrario, fueron determinados como selecciones erróneas. En la **Tabla 14** se relacionan los puntos de la boca seleccionados correctamente, las detecciones erróneas y el porcentaje correspondiente de cada uno.

Puntos faciales de la Boca	Resultados		
	Aciertos	Errores	%
Chelion Izquierdo	89	7	94
Labial Superior	62	34	65
Chelion Derecho	85	11	89
Labial Inferior	77	19	81
Stomion	83	13	87

Tabla 14 - Resultados de la detección de los puntos faciales de la boca.



Gráfica 10 - Detección total de los puntos que componen la boca en las imágenes de análisis.

En la Figura 40, se presenta un esquema que describe el proceso realizado desde la segmentación de la región de la boca hasta la selección de los puntos correspondientes.

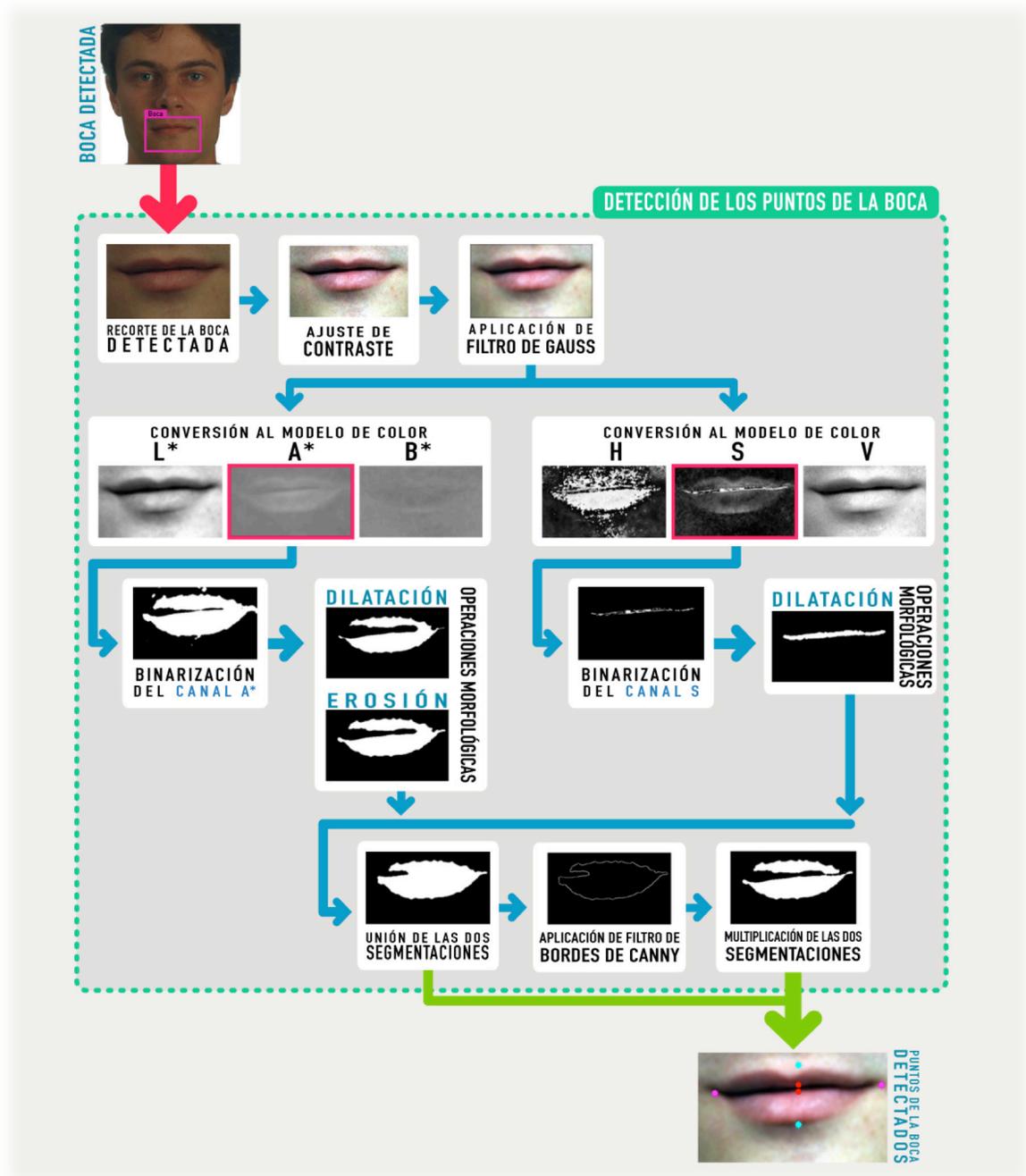


Figura 40 - Esquema del proceso de detección de los puntos de la boca

El resultado final de la de esta sección detección de los puntos faciales automáticamente por la técnica desarrollada se presentan en la Figura 41.



Figura 41 – Puntos faciales detectados de manera automática por la técnica.

6.4 Características cuantitativas y cualitativas

Aplicando la técnica propuesta en el Capítulo 5, las medidas fueron tomadas por medio de la distancia euclidiana entre los dos puntos de interés. Estas medidas después de estar en pixeles fueron convertidas a milímetros, por medio de la comparación realizada con la distancia interpupilar. Por ejemplo, en el caso del análisis de las medidas de los puntos detectados en la imagen de la Figura 42, el sistema arrojó una tabla con el nombre de la imagen y los respectivos datos obtenidos en milímetros correspondientes a cada una de las medidas. (Ver Tabla 15)

Para el caso de las 96 imágenes con las que se ha probado la técnica, el sistema generó una tabla completa, en la cual identifica el nombre de la imagen, y los datos de las medidas respectivos, el problema más notable se tuvo con una imagen en la que la persona tenía 2 elementos estructurales, gafas y bigote. (Ver Anexo 3. Medidas Faciales encontradas)

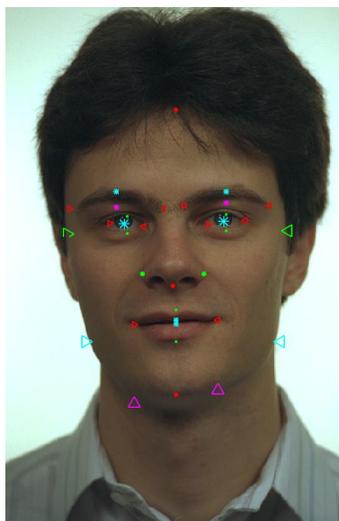


Figura 42 - Ejemplo de los puntos detectados

Medidas Faciales (en milímetros)

Foto	Ancho Facial	Alto Facial	Ancho Interocular	Ancho Bicigomático	Alto nasal	Ancho nasal	Labio Superior	Labio Inferior	Ancho de la boca	Alto facial inferior	Ancho de la mandíbula
00002_940128_fb	133	172	39	133	42	37	21	11	51	43	118

Tabla 15 – Ejemplo de las medidas faciales obtenidas para la imagen de la Figura 42

Correlacionando estas medidas, se pudieron determinar las proporciones que determinan las características cualitativas de cada rasgo facial. Por ejemplo, para las medidas de la Figura 42, el sistema generó al igual que para el caso de las medidas, una tabla en la que se correlacionan la clasificación cualitativa con la respectiva proporción facial. (Ver Tabla 16)

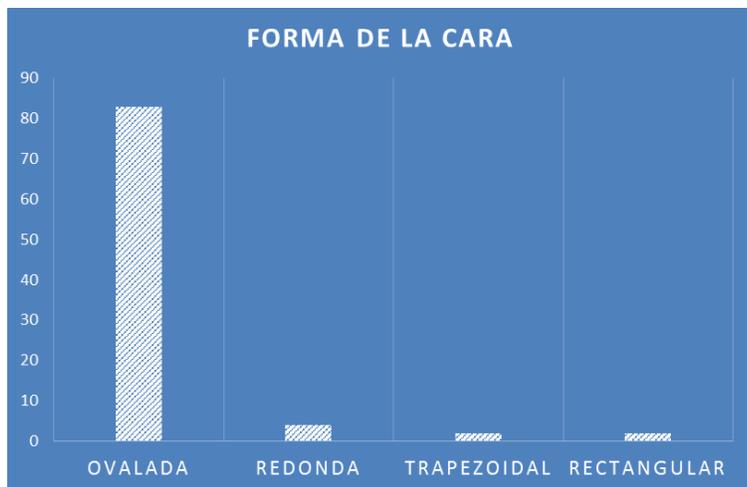
Al igual que el anterior, para las demás imágenes, se generó una tabla completa, en la que se identifica el nombre imagen y se presentan los datos respectivos. (Ver Anexo 4. Proporciones Faciales encontradas)

Proporciones faciales							
Foto	Forma de la Cara	Altura del Labio Superior	Altura del Labio Inferior	Separación de los ojos	Tipo de Nariz	Altura de la Nariz	Anchura de la Nariz
00002_940128_fb	Ovalada	Normal	Normal	En posición normal	Camerrina	Altura normal	Amplia

Tabla 16 – Ejemplo de las proporciones faciales encontradas para la Figura 42

A continuación se presentan de manera gráfica los resultados obtenidos para las características cualitativas encontradas en las imágenes que sirvieron para la realización de pruebas de esta técnica de extracción de características morfológicas de rostro humano a partir de imágenes.

6.4.1 Rostro



Gráfica 11 – Forma de la cara

Para el caso de los rostros, se analizaron cinco formas de la cara posibles: Ovalada, redonda, rectangular, cuadrada y trapezoidal. Como se pudo evidenciar en la Gráfica 11, la forma de la cara más representativa en las imágenes de estudio correspondió a la forma ovalada seguida por la forma redonda y en la misma proporción la forma rectangular y la trapezoidal.

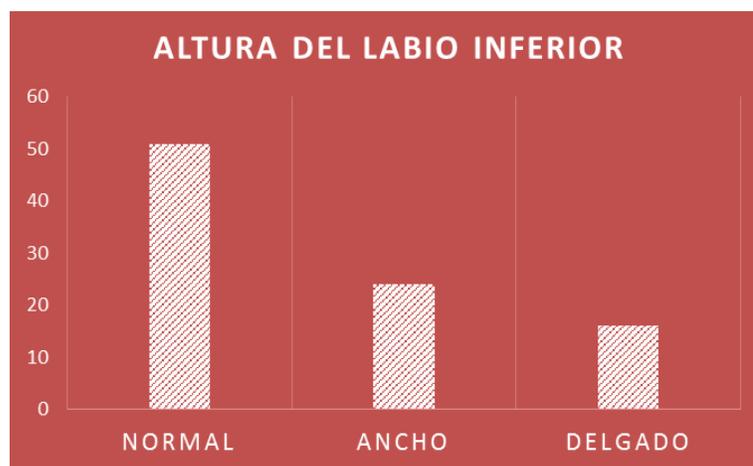
6.4.2 Altura del Labio Superior



Gráfica 12 – Alto del labio superior

Para la proporción de la altura del labio superior se tenían tres características: Labio delgado, Labio ancho y Labio de anchura normal. Como se puede detallar en la Gráfica 12, el alto del labio superior en la mayor parte de los rostros analizados presentó un tamaño normal.

6.4.3 Altura del Labio Inferior



Gráfica 13 – Alto del labio Inferior

En el Labio inferior se identificaron tres características al igual que el Labio superior, en este caso, en la Gráfica 13, se evidenció que en promedio el alto del labio inferior correspondió a un tamaño normal, en una gran parte de la población evaluada.

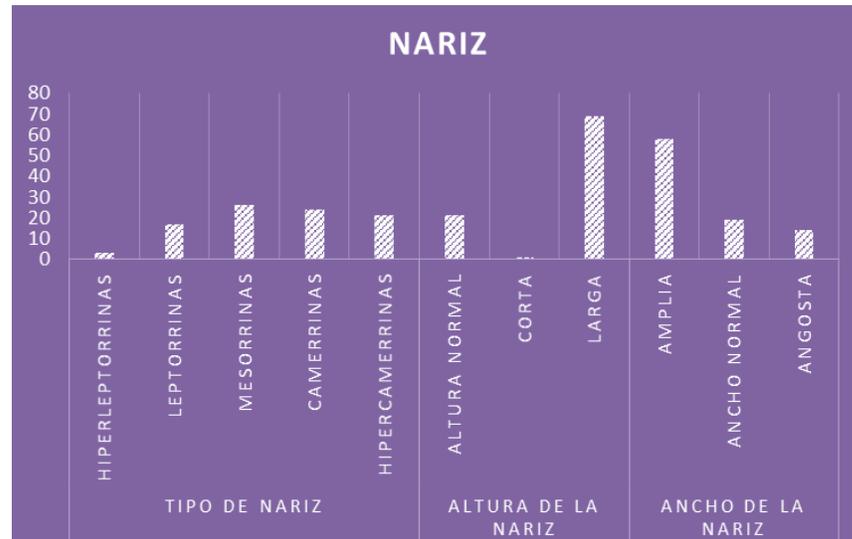
6.4.4 Separación de los ojos



Gráfica 14 – Separación de los ojos

Para los ojos se evaluó el índice de proporción de la separación de los ojos, en este se clasificaron tres características: Ojos muy separados, ojos con separación normal y Ojos muy juntos, como se puede observar en la Gráfica 14, se evidenció que en promedio los ojos de la población evaluada presentaba los ojos separados, esta opción también se debe a que se presentaron algunos errores de segmentación en los ojos, razón por la cual se pudieron alterar estos resultados.

6.4.5 Nariz



Gráfica 15 – Análisis de la nariz

Para la nariz se evaluaron varias proporciones faciales como el tipo de nariz, la altura de la nariz y el ancho de la nariz.

Para el tipo de nariz se determinaron cinco características: *Hiperleptorrinas* (nariz muy larga y angosta), *leptorrinas* (nariz larga y angosta), *mesorrinas* (nariz de altura y anchura similar), *camerrinas* (nariz ancha y corta) e *hipercamerrinas* (nariz muy ancha y corta). En la Gráfica 15, se puede identificar que el tipo de nariz *mesorrina* es el más común entre la muestra que se estudió, seguido por la nariz *camerrina*.

De acuerdo con la altura de la nariz se determinaron tres cualidades: el ancho normal, nariz larga y nariz corta. Para el ancho de la nariz se determinaron al igual que la altura, tres características: Amplia, normal y angosta.

Como se evidencia en la Gráfica 15, la altura más común en la población estudiada es la nariz larga y el ancho de la nariz corresponde al tipo de nariz amplia.

Después del análisis estadístico de estos datos, es necesario aclarar que algunos de los resultados de estas características pueden verse alterados por la segmentación. Pero aun así, se logró generar un vocabulario que representó las características cuantitativas, para así describir más fácilmente las características de un rostro.

Capítulo 7

Conclusiones

Se planteó un método que permite extraer medidas morfológicas cuantitativas y cualitativas que consiste en cuatro módulos principales: La detección de los rasgos faciales, el pre-procesamiento, la detección de los puntos faciales y la extracción de medidas y características cualitativas, todo este desarrollo permitió extraer un conjunto de 35 puntos faciales, 12 medidas y 24 descripciones cualitativas. El método se implementa con el desarrollo de una técnica que detalla paso a paso la extracción de las medidas para una imagen de entrada que corresponde a una toma del rostro de una persona tomado de frente, con fondo uniforme.

Se realizó un estudio sobre las descripciones cuantitativas y cualitativas del rostro humano y sus características, el cual puede ser detallado en la Sección 4.2 del Marco de referencia. En cuanto a las características cuantitativas se encuentra que generalmente son medidas que son perceptibles a simple vista como por ejemplo las medidas de la cabeza, las medidas faciales, las medidas orbitarias y las nasolabiales, todas estas se relacionan entre sí para formar los índices de las proporciones faciales, por medio de las cuales se pueden categorizar las características cualitativas, como por ejemplo, al decir que la nariz es amplia, o es angosta.

Para extraer las características se aplicaron diferentes métodos de detección y segmentación, se extrajo información relevante, separando partes específicas del rostro como ojos, nariz, cejas, boca y la cara. Teniendo en cuenta, la información encontrada en la bibliografía se identificaron los puntos faciales antropométricos que definen un rostro, como los extremos de la boca, de los ojos, la nariz, los huesos zigomáticos, centro de las pupilas y esquinas de las cejas. Estos puntos faciales, pueden ser utilizados para representar una guía para controlar la generación de rostros, ya sean 3D o 2D, analizar expresiones faciales, reconocimiento facial, animación facial, entre otros. Adicionalmente, por medio de las características cualitativas, se generó un vocabulario para la síntesis de rostros usando descripciones textuales (Ver 87Anexo 2. Vocabulario).

Para evaluar este procedimiento se tomó como referencia la bibliografía actual y se realizaron pruebas con 96 fotografías, que tenían en cuenta variaciones de origen poblacional, de sexo, de edad y en algunos casos de expresión facial, en la detección de los rasgos (Cara, ojos, nariz y boca) los resultados iniciales obtenidos permitieron evidenciar de que a pesar de que Viola-Jones es una técnica tan robusta, presentaba algunas fallas en la selección de los rasgos como el solapamiento y la ubicación errónea, de esta manera fue necesario realizar ciertas mejoras para lograr un ajuste en la selección de los tamaños mínimos de las características del rostro a encontrar, las cuales fueron determinadas por medio del estudio de compendios bibliográficos de diferentes lugares del mundo, lo que permitió determinar unos valores asignados en porcentajes para que fueran ajustables a cualquier tamaño de rostro. A través de esta mejora, se alcanzó un 98.95% de precisión en la detección de los rasgos, donde el 1.05% correspondía a una imagen que tenía dificultades con la iluminación y gafas oscuras.

A esto, se le sumó la aplicación de una condición que permitió afinar la técnica para asegurarse de que la selección del rostro detectado era correcta, en la cual se plantea que si dentro del objeto que ha marcado como rostro, el sistema detecta una nariz, entonces se marca definitivamente como un rostro, de no ser así, se descarta el objeto.

En cuanto a la ubicación de los puntos faciales, la precisión para los ojos correspondió al 68%, para las cejas fue del 76%, para la nariz el 78% y la boca el 84%, resultados que fueron producto de una segmentación propuesta para cada una de los rasgos de estudio, la cual fue producto del análisis y realización de pruebas para seleccionar la segmentación que mejor ubicara el área de interés de la característica a encontrar.

Aunque existen una gran cantidad de técnicas actualmente de segmentación, el problema con los rostros va más allá de su estructura física, pues en el tratamiento de las imágenes digitales se consideran otros problemas como la iluminación, la pose, las expresiones faciales, la variación del tono de piel, las proporciones de los rasgos faciales, por esta razón es un trabajo que representa un reto de investigación y desarrollo actual.

Como trabajo futuro del método de extracción de características morfológicas faciales de rostro humano a partir de imágenes y con el fin de mejorar sus alcances se deben tener en cuenta más puntos, medidas y proporciones faciales ya que esto ayudaría a tener una descripción mucho más precisa de los rostros a analizar. Además, es importante poder hacer una comparación con puntos faciales antropométricos marcados por un especialista en el área, para así determinar con mayor precisión qué tan acertado ha sido el método desarrollado.

Capítulo 8

Bibliografía

- [1] J. V. Rodríguez Cuenca, *La antropología forense en la identificación humana*, Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia, 2004, pp. 185, 186, 188.
- [2] Goldstein, A.J.; Harmon, Lenon D; Lesk, A.B.; Bell Telephone Laboratories, Inc., Murray Hill, N. J., «Identification of human faces,» vol. 59, n° 5, Mayo 1971.
- [3] M. Kirby y L. Sirovich, «A Low-Dimensional Procedure for the Characterization of Human Faces,» vol. 4, n° 3, 1987.
- [4] M. Turk y A. Pentland, «Face Recognition Using Eigenfaces,» Maui, HI, 1991.
- [5] L. Lorente Giménez, «Representación de caras mediante eigenfaces,» n° 11.
- [6] M. L. Guevara, J. D. Echeverry y W. Ardila Urueña, «Detección de rostros en imágenes digitales usando clasificadores en cascada,» *Scientia et Technica Año XIV*, n° 38, pp. 1-6, Junio 2008.
- [7] C. Cruz Perez, «Reconocimiento de rostros basado en características invariantes,» INAOE, Tonantzintla, Puebla, 2008.
- [8] M. Navalpotro Molina, «Estudio y análisis comparativo de las actuales técnicas biométricas,» Madrid, 2014.
- [9] M. Á. Murillo Ramos, «Análisis de la variabilidad morfológica facial en una muestra de personas con ancestros cundiboyacenses. Proyecto Piloto: La Cara del Colombiano,» Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2010.
- [10] D. Enlow, R. E. Moyers, W. W. Merow y W. R. Poston, 1982. [En línea]. Available: <http://redbiblio.unne.edu.ar/opac/cgi-bin/pgopac.cgi?VDOC=9.233344>.

- [11] I. Alemán, M. Botella, F. Navarro, O. Cordón, S. Damas y J. Santamaría, «Identificación humana mediante superposición de imágenes. Una propuesta metodológica,» Julio 2008. [En línea]. Available: http://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S1135-76062008000300011&script=sci_arttext.
- [12] «The Biometric Consortium,» [En línea]. Available: <http://www.biometrics.org/>.
- [13] F. Lopera R, «PROCESAMIENTO DE CARAS: Bases Neurológicas, transtornos y evaluación.,» UniNet, [En línea]. Available: <http://www.uninet.edu/neurocon/congreso-1/conferencias/neuropsicologia-2-2.html>.
- [14] E. d. T. Hernández, A. Cabrera Sarmiento y S. Sánchez Solano, «Implementación híbrida hardware software del algoritmo de detección de rostros de viola-jones sobre FPGA,» Universidad Nacional Experimental Politécnica " Antonio José de Sucre", Junio 2012. [En línea]. Available: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S1316-48212012000200005&script=sci_arttext.
- [15] P. Viola y M. Jones, «Rapid object detection using a boosted cascade of simple features,» de *Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. cvpr 2001. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on*, 2001.
- [16] A. Morelli Andrés y S. Padovani, «Detección y Reconocimiento de Caras,» Buenos Aires, 2011.
- [17] M. Delgado Rodríguez, «Extracción automática de caras en imágenes captadas con móviles Android,» 2012.
- [18] X. Wang, R. Hänsch, L. Ma y O. Hellwich, «Comparison of Different Color Spaces for Image Segmentation using Graph-cut,» pp. 301-308, 2014.
- [19] J. Angulo y J. Serra, «Image Color Segmentation using Bi-variate Histograms in Luminance/Saturation/Hue Polar Color Spaces,» *Computación y sistemas*, vol. 8, n^o 4, pp. 303 - 316, 2005.
- [20] E. Coto, «Métodos de segmentación de imágenes médicas,» 2003.
- [21] «Segmentación por umbralización,» 2005. [En línea]. Available: <http://iaci.unq.edu.ar/>.
- [22] G. Borenstein, «Adam Harvey Explains Viola-Jones Face Detection,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.makemantics.com/research/viola-jones/>.

- [23] G. Perseo, «Issue 5.4 - Virtual Journal of Orthodontics,» 10 Febrero 2004. [En línea]. Available: <http://www.vjo.it/wp-content/uploads/2010/09/enface.pdf>.
- [24] N. López Pérez y J. J. Toro Agudelo, «Técnicas de biometría basadas en patrones faciales del ser humano,» Pereira, 2012.
- [25] RAE, «Diccionario de la lengua española | Real Academia Española,» [En línea]. Available: <http://buscon.rae.es/drae/srv/search?val=percepto>.
- [26] C. Roda Rivera, «¿Qué son las pseudopercepciones?,» [En línea]. Available: <http://www.psicologia-online.com/articulos/2012/que-son-las-pseudopercepciones.html>.
- [27] «Detección de caras y análisis de expresiones faciales,» IRIS-Libre, [En línea]. Available: <https://forja.rediris.es/docman/view.php/286/374/Detecci%C3%B3n%20de%20caras%20y%20an%C3%A1lisis%20de%20expresiones%20faciales.pdf>.
- [28] C. Silva, L. Schnitman y L. Oliveira, «Detecção de landmarks em imagens faciais baseada em informações locais,» Salvador. (3D Facial Norms Summary Statistics | FaceBase)

Anexo 1

Estudio de medidas faciales

A continuación se presenta un resumen del estudio de compendios bibliográficos de diferentes lugares del mundo con el fin de establecer los parámetros del tamaño más grande que puede tener un rostro con las facciones más pequeñas, para de esta manera obtener el desarrollo propuesto en la sección 5.2.1.

Medida Facial	Desde	Hasta	Europa		Cundiboyacenses		Bogotá		EE-UU			
			M	F	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.		
Ancho Cabeza	Zygion derecho	Zygion izquierdo	112	141	112	141	128	163	130	137	121	154
Altura fisiognómica de la cara	Trichion	Gnasion					154	212	188	170	155	216
Altura de la frente	Trichion	Nasion									90	129
Anchura interocular interna	Endocantion derecho	Endocantion izquierdo	28	33	27	32	28	39				
Ancho interpupilar	Punto interocular derecho	Punto interocular izquierdo									57	69
Anchura interocular externa	Exocantion derecho	Exocantion izquierdo	72	87	72	88	83	111			108	122
Ancho Ojo derecho	Endocantion derecho	Exocantion derecho	24	29	23	28	24	22				
Ancho Ojo Izquierdo	Endocantion izquierdo	Exocantion izquierdo	24	29	23	28	24	22				
Nasal (Altura de la nariz)	Nasion	Subnasal	39	60	41	54	32	47	52	58		

Ancho de la nariz	Alar Derecho	Alar izquierdo	27	37	26	33	35	40	33	37		
Labio Inferior			7	9	6	9						
Labio superior			6	7	6	8						
Bilabial	Labial Superior	Labial Inferior	15	18	14	19	13	23				
Ancho boca	Chelion Derecho	Chelion izquierdo	35	52	33	49	41	65	50	54		
Altura mandibular	Stomion	Gnation					37	67				
Ancho de mandíbula	Gonion Derecho	Gonion Izquierdo					109	148				
Altura inferior de la cara	Subnasal	Gnation	55	75	55	67					57	78

Anexo 2

Vocabulario

Al determinar las medidas faciales, estas fueron clasificadas en 7 proporciones y por ende 24 características cualitativas que describen estas proporciones, las cuales fueron establecidas por Farkas y Munro, en su publicación acerca de las proporciones faciales antropométricas en medicina. [9]

Región	Proporciones Faciales	
	Proporción	Característica Cualitativa
Ojos	Separación de los ojos	Ojos muy juntos
		Posición normal
		Ojos separados
Nariz	Tipo de Nariz	Hiperleptorrina
		Leptorrina
		Mesorrina
		Camerrina
		Hipercamerrina
	Altura de la Nariz	Nariz Corta
		Nariz normal
Ancho de la Nariz	Nariz Larga	
	Nariz Angosta	
	Nariz normal	
Boca	Altura Labial Superior	Nariz Amplia
		Labio Corto
		Labio normal
	Altura Labial Inferior	Labio Grueso
		Labio Corto
		Labio normal
Cara	Forma de la cara	Labio Grueso
		Redonda
		Ovalada
		Cuadrada
		Rectangular

Anexo 3

Medidas Faciales encontradas

Acontinuación se presenta el resultado que se logró por medio del análisis de los puntos encontrados y apartir de estos el proceso para obtener las distancias existentes entre estos puntos, es decir, las medidas faciales, las cuales fueron obtenidas en pixeles, pero a partir de los procedimientos descritos en la sección 5.2 *Medidas entre los puntos faciales*, estos fueron obtenidos en milímetros.

#	Foto	Medidas Faciales (en milímetros)										
		Ancho Facial	Alto Facial	Ancho Interocular	Ancho Bicigomático	Alto nasal	Ancho nasal	Labio Superior	Labio Inferior	Ancho de la boca	Alto facial inferior	Ancho de la mandíbula
1	00002_940128_fb.ppm	133	172	39	133	42	37	21	11	51	43	118
2	00002_940928_fa.ppm	137	182	48	137	39	27	24	7	47	51	120
3	00003_931230_fa_a.ppm											
4	00003_941121_fa.ppm	129	180	41	129	50	49	17	12	54	36	115
5	00013_931230_fa.ppm	129	178	39	129	38	43	13	8	50	46	100
6	00019_940307_fa.ppm	119	157	44	119	38	38	16	5	50	39	115
7	00019_940422_fb.ppm	136	171	42	136	45	42	22	4	58	25	111
8	00020_931230_fa.ppm	123	167	46	123	51	32	27	8	48	50	102
9	00024_940307_fa.ppm	136	178	37	136	56	36	19	11	57	35	114
10	00029_940128_fa.ppm	140	148	37	140	50	44	25	15	46	32	114
11	00038_940128_fa.ppm	117	144	26	117	56	51	15	2	63	18	119
12	00060_931230_fa.ppm	68	170	38	68	47	38	15	14	45	47	102

13	00061_931230_fb.ppm	119	135	32	119	44	31	18	10	48	56	91
14	00070_940307_fa.ppm	133	137	37	133	43	37	20	21	54	32	92
15	00070_941031_fa.ppm	133	156	46	133	39	33	20	12	53	37	117
16	00071_940128_fa.ppm	120	184	32	120	48	33	16	13	54	35	72
17	00086_940422_fa.ppm	146	179	38	146	46	33	28	6	49	17	120
18	00093_940128_fa.ppm	138	188	29	138	49	40	21	9	54	41	104
19	00093_941031_fa.ppm	132	176	33	132	53	36	19	14	51	36	86
20	00093_941121_fa.ppm	125	189	53	125	49	37	21	14	56	49	91
21	00096_940128_fa.ppm	120	135	33	120	43	38	16	8	47	37	105
22	00107_941031_fa.ppm	129	167	49	129	36	35	22	10	45	41	120
23	00107_941121_fb.ppm	115	183	35	115	44	45	18	16	47	50	109
24	00108_940128_fa.ppm	132	185	48	132	42	35	27	1	56	23	96
25	00108_960530_fa.ppm	141	186	38	141	46	38	17	15	57	42	103
26	00140_941121_fa.ppm	148	149	36	148	51	48	19	7	60	45	131
27	00146_941121_fa.ppm	155	179	40	155	55	49	21	8	57	37	124
28	00146_941201_fa.ppm	144	161	44	144	54	54	25	13	53	31	122
29	00150_940128_fa_a.ppm	136	177	40	136	41	49	22	12	45	38	115
30	00154_940128_fa.ppm	120	173	40	120	46	46	18	11	58	32	100
31	00157_940128_fa_a.ppm	127	190	39	127	40	50	25	15	50	42	88
32	00157_940928_fa.ppm	125	185	46	125	44	25	26	14	40	37	112
33	00162_940128_fa.ppm	141	185	37	141	48	27	22	9	50	38	117
34	00182_940422_fa.ppm											
35	00184_940422_fa.ppm	147	206	41	147	54	30	35	9	49	36	119
36	00185_940422_fb.ppm	139	197	36	139	54	26	19	8	47	35	127
37	00188_940307_fa.ppm	128	130	33	128	54	34	21	10	49	35	109
38	00210_940422_fb.ppm	150	212	39	150	48	40	17	9	48	50	137
39	00254_941121_fa.ppm	127	163	34	127	42	44	20	9	53	52	101

40	00256_940928_fa.ppm	133	176	39	133	59	50	8	6	50	40	111
41	00256_941031_fa.ppm	150	195	47	150	63	38	10	6	53	52	112
42	00268_940422_fa.ppm											
43	00268_940519_fa.ppm	136	172	38	136	47	32	25	10	60	41	121
44	00268_960627_fa.ppm	134	160	38	134	46	38	26	11	55	40	120
45	00269_940422_fa.ppm	137	186	36	137	36	25	24	9	45	45	120
46	00276_940422_fa.ppm	143	178	39	143	42	36	16	1	44	32	116
47	00283_940422_fa.ppm	144	164	46	144	47	38	20	1	52	19	87
48	00283_940422_fb.ppm											
49	00286_940422_fa_a.ppm	138	173	40	138	42	32	20	8	50	45	113
50	00286_940422_fa.ppm	177	209	25	177	49	58	21	4	71	35	142
51	00287_940422_fa_a.ppm	144	186	39	144	42	27	24	8	49	38	115
52	00287_940422_fa.ppm	138	193	39	138	39	48	25	8	51	47	116
53	00292_940422_fa.ppm	117	166	37	117	49	24	20	11	42	36	107
54	00295_940422_fa_a.ppm	137	162	44	137	33	23	22	9	48	42	112
55	00295_940422_fa.ppm	139	166	48	139	46	49	20	9	50	43	112
56	00298_940422_fa.ppm	148	179	46	148	34	29	20	10	54	44	118
57	00325_940422_fa.ppm											
58	00335_940422_fa.ppm	123	178	48	123	37	28	26	15	39	45	108
59	00338_940422_fa.ppm	133	139	39	133	38	35	29	1	48	32	117
60	00343_940422_fa.ppm	160	194	35	160	47	33	17	11	40	57	129
61	00383_940928_fa.ppm	135	168	50	135	40	36	22	10	53	54	113
62	00392_940422_fb.ppm	120	186	36	120	35	40	19	4	52	28	98
63	00414_940422_fa_a.ppm	136	202	34	136	49	33	17	8	56	43	123
64	00414_940422_fa.ppm	152	208	35	152	49	48	20	8	50	53	128
65	00414_940422_fb.ppm	143	194	34	143	49	37	18	7	50	40	110
66	00429_940422_fb.ppm	121	162	31	121	42	38	15	13	54	33	79

67	00431_940422_fa.ppm	137	226	30	137	57	41	14	14	58	49	101
68	00431_940422_fb.ppm	126	201	31	126	56	51	13	10	55	37	96
69	00462_940422_fa.ppm	141	194	40	141	32	30	21	7	44	49	116
70	00465_940519_fa.ppm	144	178	38	144	43	40	25	10	50	44	118
71	00468_940519_fa.ppm	146	187	31	146	56	32	24	5	54	38	117
72	00469_940519_fa.ppm	130	185	40	130	44	51	22	7	52	38	117
73	00469_941201_fa.ppm	134	216	37	134	56	51	15	9	52	48	98
74	00472_940519_fa.ppm	127	175	45	127	39	39	27	13	49	27	115
75	00475_940519_fa.ppm	133	171	38	133	42	33	22	14	51	34	107
76	00481_940519_fa_a.ppm	135	175	35	135	37	23	20	8	42	51	114
77	00481_940519_fa.ppm	137	175	37	137	37	48	20	7	44	53	117
78	00485_940519_fa.ppm	129	180	40	129	47	35	17	11	55	33	90
79	00485_940519_fb.ppm	128	190	35	128	47	34	21	11	52	40	96
80	00492_940519_fa.ppm	133	183	39	133	45	42	24	9	49	24	108
81	00495_940519_fa.ppm	117	161	40	117	34	42	19	9	46	36	92
82	00495_940519_fb.ppm	129	180	30	129	40	40	20	11	53	46	100
83	00497_940519_fa.ppm	117	167	44	117	48	39	14	9	49	30	96
84	00498_940519_fa.ppm	126	172	41	126	47	41	11	8	53	42	133
85	00500_940519_fa.ppm	138	183	37	138	51	42	10	8	43	29	105
86	00502_940519_fa.ppm	136	187	37	136	46	34	26	4	46	22	113
87	00508_940519_fa.ppm	160	210	38	160	59	56	21	24	61	50	136
88	00509_940519_fa.ppm	142	191	33	142	51	26	22	10	49	42	113
89	00520_940519_fa.ppm	145	199	45	145	47	48	18	15	62	42	111
90	00521_940519_fa.ppm	124	153	43	124	43	31	16	8	43	36	107
91	00522_940519_fa.ppm	128	177	47	128	46	46	22	6	48	30	111
92	00532_940519_fa.ppm	129	163	37	129	47	45	26	15	53	39	107
93	00532_960627_fa.ppm	127	167	40	127	41	50	18	11	44	28	103

94	00739_941201_fa.ppm	130	200	38	130	47	49	18	18	54	42	93
95	00741_941201_fa.ppm	131	187	42	131	33	24	30	8	51	39	130
96	00742_941201_fa.ppm	130	175	38	130	47	33	21	8	46	35	98

Anexo 4

Proporciones Faciales encontradas

Por medio de la clasificación de las medidas faciales, se establecieron unas proporciones, las cuales permitieron describir cualitativamente las características de los individuos que fueron estudiados, a continuación se presentan estos resultados.

#	Foto	Proporciones faciales						
		Forma de la Cara	Altura del Labio Superior	Altura del Labio Inferior	Separación de los ojos	Tipo de Nariz	Altura de la Nariz	Anchura de la Nariz
1	00002_940128_fb.ppm	Ovalada	Normal	Normal	En posición normal	Camerrina	Altura normal	Amplia
2	00002_940928_fa.ppm	Ovalada	Ancho	Normal	Separados	Leptorrina	Altura normal	Angosta
3	00003_931230_fa_a.ppm							
4	00003_941121_fa.ppm	Ovalada	Delgado	Normal	Muy juntos	Camerrina	Larga	Amplia
5	00013_931230_fa.ppm	Ovalada	Delgado	Normal	En posición normal	Hipercamerrina	Larga	Amplia
6	00019_940307_fa.ppm	Redonda	Delgado	Delgado	Separados	Hipercamerrina	Larga	Amplia
7	00019_940422_fb.ppm	Redonda	Normal	Delgado	En posición normal	Camerrina	Larga	Amplia
8	00020_931230_fa.ppm	Ovalada	Ancho	Normal	Separados	Leptorrina	Larga	Ancho normal
9	00024_940307_fa.ppm	Ovalada	Delgado	Normal	En posición normal	Leptorrina	Larga	Ancho normal
10	00029_940128_fa.ppm	Ovalada	Ancho	Ancho	Muy juntos	Camerrina	Larga	Amplia
11	00038_940128_fa.ppm	Rectangular	Delgado	Delgado	Muy juntos	Camerrina	Larga	Amplia
12	00060_931230_fa.ppm	Trapezoidal	Delgado	Ancho	En posición normal	Mesorrina	Larga	Amplia
13	00061_931230_fb.ppm	Ovalada	Normal	Normal	En posición normal	Mesorrina	Altura normal	Ancho normal
14	00070_940307_fa.ppm	Ovalada	Normal	Ancho	En posición normal	Camerrina	Larga	Ancho normal
15	00070_941031_fa.ppm	Ovalada	Normal	Normal	Separados	Mesorrina	Altura normal	Ancho normal
16	00071_940128_fa.ppm	Ovalada	Delgado	Ancho	En posición normal	Leptorrina	Larga	Ancho normal

17	00086_940422_fa.ppm	Ovalada	Ancho	Delgado	Separados	Mesorrina	Larga	Ancho normal
18	00093_940128_fa.ppm	Ovalada	Normal	Normal	Muy juntos	Mesorrina	Larga	Amplia
19	00093_941031_fa.ppm	Ovalada	Normal	Ancho	En posición normal	Leptorrina	Altura normal	Amplia
20	00093_941121_fa.ppm	Ovalada	Normal	Ancho	Separados	Mesorrina	Altura normal	Ancho normal
21	00096_940128_fa.ppm	Ovalada	Delgado	Normal	Muy juntos	Camerrina	Larga	Amplia
22	00107_941031_fa.ppm	Ovalada	Ancho	Normal	Separados	Camerrina	Larga	Amplia
23	00107_941121_fb.ppm	Ovalada	Normal	Ancho	Muy juntos	Hipercamerrina	Larga	Amplia
24	00108_940128_fa.ppm	Ovalada	Ancho	Delgado	Separados	Mesorrina	Altura normal	Ancho normal
25	00108_960530_fa.ppm	Ovalada	Delgado	Ancho	En posición normal	Mesorrina	Altura normal	Ancho normal
26	00140_941121_fa.ppm	Redonda	Delgado	Delgado	Muy juntos	Camerrina	Larga	Amplia
27	00146_941121_fa.ppm	Ovalada	Normal	Normal	Muy juntos	Camerrina	Larga	Amplia
28	00146_941201_fa.ppm	Ovalada	Ancho	Ancho	Muy juntos	Hipercamerrina	Larga	Amplia
29	00150_940128_fa_a.ppm	Ovalada	Ancho	Ancho	Muy juntos	Hipercamerrina	Larga	Amplia
30	00154_940128_fa.ppm	Ovalada	Delgado	Normal	Muy juntos	Hipercamerrina	Larga	Amplia
31	00157_940128_fa_a.ppm	Ovalada	Ancho	Ancho	Muy juntos	Hipercamerrina	Larga	Amplia
32	00157_940928_fa.ppm	Ovalada	Ancho	Ancho	Separados	Leptorrina	Larga	Ancho normal
33	00162_940128_fa.ppm	Ovalada	Normal	Normal	Separados	Leptorrina	Larga	Angosta
34	00182_940422_fa.ppm							
35	00184_940422_fa.ppm	Ovalada	Ancho	Normal	Separados	Leptorrina	Larga	Ancho normal
36	00185_940422_fb.ppm	Ovalada	Normal	Normal	Separados	Hiperleptorrina	Altura normal	Angosta
37	00188_940307_fa.ppm	Redonda	Normal	Normal	En posición normal	Leptorrina	Larga	Amplia
38	00210_940422_fb.ppm	Ovalada	Normal	Normal	En posición normal	Mesorrina	Larga	Amplia
39	00254_941121_fa.ppm	Ovalada	Normal	Normal	Muy juntos	Hipercamerrina	Altura normal	Amplia
40	00256_940928_fa.ppm	Ovalada	Delgado	Delgado	Muy juntos	Mesorrina	Larga	Amplia
41	00256_941031_fa.ppm	Ovalada	Delgado	Delgado	Separados	Leptorrina	Larga	Amplia
42	00268_940422_fa.ppm							
43	00268_940519_fa.ppm	Ovalada	Normal	Normal	Separados	Leptorrina	Altura normal	Angosta

44	00268_960627_fa.ppm	Ovalada	Ancho	Normal	En posición normal	Mesorrina	Altura normal	Ancho normal
45	00269_940422_fa.ppm	Ovalada	Ancho	Normal	Separados	Leptorrina	Altura normal	Angosta
46	00276_940422_fa.ppm	Ovalada	Normal	Delgado	Separados	Camerrina	Larga	Amplia
47	00283_940422_fa.ppm	Ovalada	Normal	Delgado	Separados	Mesorrina	Larga	Amplia
48	00283_940422_fb.ppm							
49	00286_940422_fa_a.ppm	Ovalada	Normal	Normal	Separados	Mesorrina	Altura normal	Ancho normal
50	00286_940422_fa.ppm	Ovalada	Delgado	Delgado	Muy juntos	Hipercamerrina	Larga	Amplia
51	00287_940422_fa_a.ppm	Ovalada	Ancho	Normal	Separados	Leptorrina	Larga	Angosta
52	00287_940422_fa.ppm	Ovalada	Ancho	Normal	Muy juntos	Hipercamerrina	Larga	Amplia
53	00292_940422_fa.ppm	Ovalada	Ancho	Ancho	Separados	Hiperleptorrina	Larga	Angosta
54	00295_940422_fa_a.ppm	Ovalada	Ancho	Normal	Separados	Leptorrina	Altura normal	Angosta
55	00295_940422_fa.ppm	Ovalada	Normal	Normal	En posición normal	Hipercamerrina	Altura normal	Amplia
56	00298_940422_fa.ppm	Ovalada	Normal	Normal	Separados	Camerrina	Altura normal	Angosta
57	00325_940422_fa.ppm							
58	00335_940422_fa.ppm	Ovalada	Ancho	Ancho	Separados	Mesorrina	Larga	Amplia
59	00338_940422_fa.ppm	Ovalada	Ancho	Delgado	Separados	Camerrina	Larga	Amplia
60	00343_940422_fa.ppm	Ovalada	Normal	Ancho	Separados	Mesorrina	Larga	Amplia
61	00383_940928_fa.ppm	Ovalada	Normal	Normal	Separados	Camerrina	Altura normal	Ancho normal
62	00392_940422_fb.ppm	Ovalada	Normal	Delgado	Muy juntos	Hipercamerrina	Larga	Amplia
63	00414_940422_fa_a.ppm	Ovalada	Delgado	Normal	En posición normal	Leptorrina	Larga	Angosta
64	00414_940422_fa.ppm	Ovalada	Normal	Normal	Muy juntos	Camerrina	Larga	Amplia
65	00414_940422_fb.ppm	Ovalada	Normal	Normal	En posición normal	Mesorrina	Larga	Amplia
66	00429_940422_fb.ppm	Ovalada	Delgado	Ancho	Muy juntos	Camerrina	Larga	Amplia
67	00431_940422_fa.ppm	Ovalada	Delgado	Ancho	Muy juntos	Mesorrina	Larga	Amplia
68	00431_940422_fb.ppm	Ovalada	Delgado	Normal	Muy juntos	Camerrina	Larga	Amplia
69	00462_940422_fa.ppm	Ovalada	Ancho	Normal	Separados	Camerrina	Corta	Ancho normal
70	00465_940519_fa.ppm	Ovalada	Ancho	Normal	En posición normal	Camerrina	Larga	Amplia

71	00468_940519_fa.ppm	Ovalada	Normal	Delgado	En posición normal	Leptorrina	Larga	Angosta
72	00469_940519_fa.ppm	Ovalada	Normal	Normal	Muy juntos	Hipercamerrina	Larga	Amplia
73	00469_941201_fa.ppm	Ovalada	Delgado	Normal	Muy juntos	Camerrina	Larga	Amplia
74	00472_940519_fa.ppm	Ovalada	Ancho	Ancho	Separados	Hipercamerrina	Larga	Amplia
75	00475_940519_fa.ppm	Ovalada	Normal	Ancho	Separados	Mesorrina	Larga	Ancho normal
76	00481_940519_fa_a.ppm	Ovalada	Ancho	Normal	Separados	Leptorrina	Altura normal	Angosta
77	00481_940519_fa.ppm	Ovalada	Normal	Normal	Muy juntos	Hipercamerrina	Altura normal	Amplia
78	00485_940519_fa.ppm	Ovalada	Delgado	Normal	Separados	Mesorrina	Larga	Ancho normal
79	00485_940519_fb.ppm	Ovalada	Normal	Normal	En posición normal	Mesorrina	Altura normal	Ancho normal
80	00492_940519_fa.ppm	Ovalada	Ancho	Normal	En posición normal	Camerrina	Larga	Amplia
81	00495_940519_fa.ppm	Ovalada	Normal	Normal	En posición normal	Hipercamerrina	Larga	Amplia
82	00495_940519_fb.ppm	Ovalada	Normal	Normal	Muy juntos	Hipercamerrina	Larga	Amplia
83	00497_940519_fa.ppm	Ovalada	Delgado	Normal	En posición normal	Mesorrina	Larga	Amplia
84	00498_940519_fa.ppm	Trapezoidal	Delgado	Normal	En posición normal	Camerrina	Larga	Amplia
85	00500_940519_fa.ppm	Ovalada	Delgado	Normal	Muy juntos	Mesorrina	Larga	Amplia
86	00502_940519_fa.ppm	Ovalada	Ancho	Delgado	Separados	Mesorrina	Larga	Amplia
87	00508_940519_fa.ppm	Ovalada	Delgado	Ancho	Muy juntos	Camerrina	Larga	Amplia
88	00509_940519_fa.ppm	Ovalada	Normal	Normal	En posición normal	Hiperleptorrina	Larga	Angosta
89	00520_940519_fa.ppm	Ovalada	Delgado	Ancho	En posición normal	Hipercamerrina	Larga	Amplia
90	00521_940519_fa.ppm	Ovalada	Normal	Normal	Separados	Mesorrina	Larga	Amplia
91	00522_940519_fa.ppm	Ovalada	Ancho	Delgado	En posición normal	Hipercamerrina	Larga	Amplia
92	00532_940519_fa.ppm	Ovalada	Ancho	Ancho	Muy juntos	Camerrina	Larga	Amplia
93	00532_960627_fa.ppm	Ovalada	Normal	Ancho	Muy juntos	Hipercamerrina	Larga	Amplia
94	00739_941201_fa.ppm	Ovalada	Delgado	Ancho	Muy juntos	Hipercamerrina	Larga	Amplia
95	00741_941201_fa.ppm	Rectangular	Ancho	Normal	En posición normal	Mesorrina	Larga	Angosta
96	00742_941201_fa.ppm	Ovalada	Ancho	Normal	Separados	Mesorrina	Larga	Amplia