

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO FIN DE CARRERA

RECONOCIMIENTO FACIAL EN EL ÁMBITO FORENSE

Ingeniería de Telecomunicación

Maya Binetskaya
Septiembre 2013

RECONOCIMIENTO FACIAL EN EL ÁMBITO FORENSE

AUTOR: Maya Binetskaya
TUTOR: Pedro Tomé González
PONENTE: Doroteo Torre Toledano



Área de Tratamiento de Voz y Señales
Dpto. de Tecnología Electrónica y Comunicaciones
Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid
Septiembre 2013

RESUMEN

En el presente proyecto fin de carrera se estudia, desarrolla y evalúa un sistema biométrico de reconocimiento facial forense en entornos controlados, basado en el análisis morfológico del rostro humano utilizado por laboratorios forenses como la Dirección General de la Guardia Civil y Netherlands Forensic Institute. Para la evaluación del sistema se han utilizado dos bases de datos del estado del arte proporcionadas por el grupo de reconocimiento biométrico ATVS, emulando entornos de aplicación controlados y no controlados.

Como punto de partida se ha estudiado el estado del arte en sistemas biométricos faciales forenses y su evolución a lo largo de la historia. A continuación se ha diseñado y analizado la extracción de características faciales en base al análisis morfológico y a los protocolos de los laboratorios forenses. En general, el proceso de desarrollo se puede dividir en tres fases de trabajo, primero se empieza con el pre-procesado necesario de las imágenes, con el objetivo de eliminar todas las fuentes de ruido, posteriormente se realiza la caracterización morfológica de todos los rasgos faciales, y finalmente se proponen dos grandes conjuntos de características continuas y discretas utilizadas para el reconocimiento de sujetos. Adicionalmente, se ha realizado una adaptación del extractor de características para su funcionamiento en entornos no controlados y finalmente se evalúa su rendimiento.

La parte experimental se ha dividido en dos grandes fases, en la primera se analizan las características propuestas y en la segunda se evalúa su desempeño en las dos bases de datos utilizadas.

Durante la primera fase se ha llevado a cabo un análisis estadístico de las dos poblaciones analizadas (ambas bases de datos) y a continuación, se ha estudiado y discutido la correlación entre todas las características propuestas en el proyecto.

En la segunda fase se han realizado varias pruebas bajo diferentes condiciones con el objetivo de determinar la capacidad y eficiencia del sistema en las tareas de reconocimiento. En particular se ha estudiado el tamaño óptimo del conjunto de entrenamiento, el desempeño de varias medidas de similitud sobre los dos conjuntos de características propuestos, y se ha evaluado los subconjuntos de características más discriminantes. Finalmente, se ha demostrado que la fusión de ambas características, continuas y discretas, permite alcanzar unas tasas de rendimiento adecuadas para el reconocimiento biométrico.

Por último, se presentan las conclusiones, extraídas a lo largo del proyecto y se proponen líneas de trabajo futuro.

PALABRAS CLAVE

Reconocimiento facial, ciencia forense, biometría, características morfológicas, características faciales.

ABSTRACT

In this final project, an automatic biometric forensic system of facial recognition in controlled environments, is studied and implemented. Forensic protocols used during this project are based on the real forensic protocols used by Dirección General de la Guardia Civil Española or Netherlands Forensic Institute. Two databases, emulating controlled and uncontrolled environments and provided by the biometric group ATVS, are used in order to evaluate the performance of the system.

A study of the evolution of forensic systems and existing protocols is taken as a starting point. In general, the design of this project can be divided into two main stages. First of all, we start with the necessary preprocessing of the images, focused on eliminating all noise sources and then perform the morphological characterization of all features obtained during segmentation. The adaptation of the system for uncontrolled environments has additionally been performed.

The experimental part is divided into two principal phases, the first analyzes all the proposed features and the second evaluates their performance for the two databases used.

During the first phase, the statistical analysis has been carried out for the two population groups analyzed (both databases) followed by the study of the correlation existing between all the features proposed in the project.

In the second phase, several tests have been conducted under different conditions in order to determine the capacity and efficiency of the system. In particular, we have studied the optimal size of the training set, the performance of various measures of similarity for the two sets of characteristics provided, and evaluated the most discriminating feature subsets. Finally it has been shown that the fusion of both continuous and discrete features allow to achieve adequate results during the biometric recognition

Once the system is tested, the conclusions drawn throughout the project are presented together with the future work proposals.

KEY WORDS

Face recognition, forensics, biometrics, morphological features, facial features.

Agradecimientos

No me puedo creer que finalmente esté escribiendo el último capítulo de la memoria de mi proyecto fin de carrera. Durante los años pasados en la universidad no me imaginaba que este momento iba a llegar tan rápido sin darme cuenta.

Después de todo el esfuerzo dedicado al proyecto, en primer lugar me gustaría agradecer a mi tutor Pedro Tomé por su apoyo y dedicación a mi proyecto. Siempre ha encontrado tiempo para resolver las dudas y ayudarme con los problemas que iban surgiendo durante el proyecto a lo largo de este curso. Incluso estando tú a miles de kilómetros he conseguido darte la brasa =).

También agradecer en general al grupo ATVS por darme la oportunidad de trabajar con ellos y hacer un proyecto realmente emocionante. Además los lunes con los cafés hacían que mi estancia en el laboratorio fuese más interesante a nivel académico y dulce a nivel culinario. Quería agradecer a Fer, por su ayuda en los casos cuando yo entraba en crisis de Linux y a Luis que no sólo me ha ayudado en el departamento, sino que ha sido mi compañero de prácticas durante varios años. Siempre me acordaré de nuestros fines de semana dedicados a las prácticas.

A mis niñas de Valencia, que aunque estemos cada una en una parte del país, siempre tenemos tiempo para vernos.

En general hay tanta gente maravillosa que he conocido en la universidad que es imposible mencionarlos a todos. Pero en especial, quería darles las gracias a mis compañeros de clase Marta, Eva y Álvaro por estar siempre allí cuando más los necesitaba. A Eslava, Sergio y Mike-Mustafa por hacer que la universidad no sólo sea un sitio donde adquirimos conocimientos. Y por supuesto a Leyre, que aunque no tenga nada que ver con la carrera ha ido a algunas clases casi más que yo =). Sobre todo quiero dar las gracias a ti, P. Por tener la habilidad de sacarme una sonrisa cuando parece que todo va mal y convencerme de que todo es posible.

*Maya Binetskaya
Septiembre 2013*

A mis padres.

Índice general

Índice de figuras	XI
Índice de tablas	XV
Glosario de acrónimos	XVII
1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos y enfoque	2
1.3. Metodología y plan de trabajo	2
1.4. Estructura de la memoria	3
1.5. Contribuciones	4
2. Estado del arte	5
2.1. Introducción	5
2.2. Reconocimiento facial en el ámbito forense	6
2.3. Sistema de reconocimiento facial forense	7
2.4. Desafíos actuales	8
2.4.1. Envejecimiento, cicatrices y marcas faciales	9
2.4.2. Pose e iluminación	10
2.4.3. Reconocimiento de los retratos hechos a mano	10
2.5. Antropometría Facial	11
3. Sistemas automáticos y Bases de datos	15
3.1. Sistemas Biométricos: Estructura General	15
3.1.1. Modo de verificación	15
3.1.2. Modo de identificación	17
3.2. Bases de datos utilizadas	18
3.2.1. ATVS Forensic	18
3.2.2. MORPH	22

4. Sistema, diseño y desarrollo	25
4.1. Introducción	25
4.2. Sistema desarrollado	27
4.2.1. Pre-procesado de las imágenes	29
4.2.2. Pre-procesado de los rasgos por separado	31
4.2.2.1. Frente	32
4.2.2.2. Cejas	34
4.2.2.3. Párpados y globos oculares	34
4.2.2.4. Nariz	35
4.2.2.5. Boca	35
4.2.2.6. Mentón	37
4.2.2.7. Pre-procesado para la base de datos MORPH	38
4.2.3. Caracterización morfológica de los rasgos faciales	39
4.2.4. Extracción de características	43
4.2.4.1. Frente	46
4.2.4.2. Cejas	47
4.2.4.3. Párpados y globos oculares	49
4.2.4.4. Nariz	50
4.2.4.5. Boca	52
4.2.4.6. Mentón	53
4.2.4.7. Orejas	54
4.2.4.8. Línea media	54
4.2.5. Identificación/Verificación	55
5. Experimentos y Resultados	57
5.1. Medidas de Semejanza	57
5.1.1. Características Continuas	58
5.1.2. Características Discretas	58
5.1.3. Características Conjuntas	59
5.2. Correlación entre las características	59
5.3. Análisis estadístico	64
5.4. Experimentos	70
5.4.1. Experimento 1: Características individuales	70
5.4.2. Experimento 2: Características conjuntas	71
5.4.3. Experimento 3: Estudio de las muestras de entrenamiento	72

5.4.4.	Experimento 4: Fusión a nivel de score	74
5.4.5.	Experimento 5: Búsqueda de las características más discriminantes	74
5.4.5.1.	Base de datos ATVS	75
5.4.5.2.	Base de datos MORPH	76
6.	Conclusiones y Trabajo Futuro	79
6.1.	Conclusiones	79
6.2.	Trabajo Futuro	80
	Bibliografía	83
	Anexos	87
A.	Presupuesto	89
B.	Pliego de condiciones	91

Índice de figuras

2.1.	Ejemplos de las medidas tomadas por Alphonse Bertillon	6
2.2.	Esquemático de Reconocimiento Facial Forense	8
2.3.	Ejemplos de envejecimiento	9
2.4.	Ejemplos de tatuaje y marca facial	9
2.5.	Efectos de la pose y la iluminación	10
2.6.	Retratos manuales realizados por examinadores forenses	11
2.7.	Puntos característicos de la cara	12
2.8.	Ejemplo de medidas antropométricas	13
3.1.	Diagrama de bloques de un sistema biométrico de reconocimiento	16
3.2.	Esquema de modo de verificación	16
3.3.	Ejemplo de las curvas ROC	17
3.4.	Esquema de modo de identificación	18
3.5.	Distancias utilizadas para la base de datos ATVS Forensic	19
3.6.	Sesión 1: distancia 3 metros	19
3.7.	Sesión 1: distancia 2 metros	20
3.8.	Sesión 1: distancia 1 metro	20
3.9.	Sesión 2: distancia 3 metros	20
3.10.	Sesión 2: distancia 2 metros	21
3.11.	Sesión 2: distancia 1 metro	21
3.12.	Puntos marcados en las imágenes	22
3.13.	Ejemplo de las imágenes de la base de datos MORPH	23
4.1.	Esquema general del sistema desarrollado	28
4.2.	Esquema de la fase de pre-procesado común	29
4.3.	Segmentación de la cara	31
4.4.	Esquema del pre-procesado de los rasgos por separado	32
4.5.	Proceso de pre-procesado de la frente y su resultado	33
4.6.	Proceso de pre-procesado de las cejas y su resultado	34

4.7.	Resultado de pre-procesado del ojo	35
4.8.	Resultado de pre-procesado de la raíz de la nariz y la nariz en general	35
4.9.	Proceso de pre-procesado del labio superior y su resultado	36
4.10.	Resultado de pre-procesado del labio inferior	37
4.11.	Resultado de pre-procesado del labio	37
4.12.	Proceso de pre-procesado del mentón y su resultado	38
4.13.	Extracción de características y conversión a los rasgos discretos	44
4.14.	Determinación de los umbrales	45
4.15.	Proporciones de la altura de la cara para las bases de datos ATVS y MORPH	46
4.16.	Anchura de la frente	47
4.17.	Altura de las cejas	48
4.18.	Dirección de las cejas	48
4.19.	Forma de las cejas extraídas de las bases de datos ATVS (a), (b), (c) MORPH (d), (e), (f)	49
4.20.	Características de los párpados y globos oculares de las bases de datos ATVS y MORPH	50
4.21.	Características de la nariz extraídas de las bases de datos ATVS y MORPH	51
4.22.	Anchura de la boca extraída de las bases de datos ATVS y MORPH	52
4.23.	Boca en forma de corazón de las bases de datos ATVS y MORPH	53
4.24.	Anchura del mentón de las bases de datos ATVS y MORPH	53
4.25.	Línea media extraída de las bases de datos ATVS y MORPH	54
4.26.	Etapas de Identificación/Verificación	55
5.1.	Correlación de Pearson de las características continuas para la base de datos ATVS	60
5.2.	Correlación de Pearson de las características discretas para la base de datos ATVS	62
5.3.	Correlación de Pearson de las características continuas para la base de datos MORPH	63
5.4.	Correlación de Pearson de las características discretas para la base de datos MORPH	64
5.5.	Análisis estadístico de las cejas para la base de datos ATVS	65
5.6.	Análisis estadístico de las cejas para la base de datos MORPH	65
5.7.	Análisis estadístico de la boca para la base de datos ATVS	66
5.8.	Análisis estadístico de la boca para la base de datos MORPH	66
5.9.	Análisis estadístico de la nariz para la base de datos ATVS	67
5.10.	Análisis estadístico de la nariz para la base de datos MORPH	67
5.11.	Análisis estadístico de la mentón para la base de datos ATVS	68
5.12.	Análisis estadístico de la mentón para la base de datos MORPH	68
5.13.	Análisis estadístico de la frente y ojos para la base de datos ATVS	69
5.14.	Análisis estadístico de la frente y ojos para la base de datos MORPH	69

5.15. Método de validación cruzada Leave-one-out	70
5.16. Curvas ROC para las características individuales de las bases de datos ATVS y MORPH. FAR y FVR expresados en tanto por 1. Valores de EER expresados en tanto por 100. .	71
5.17. Curvas ROC para las características conjuntas de las bases de datos ATVS y MORPH. FAR y FVR expresados en tanto por 1. Valores de EER expresados en tanto por 100. . .	72
5.18. Estudio de entrenamiento de las bases de datos ATVS y MORPH	73

Índice de tablas

3.1.	Bases de datos utilizadas	18
4.1.	Rasgos utilizados para análisis morfológico de DGGC y NFI	26
4.2.	Características geométricas de estándar ISO	30
4.3.	Valores de offsets para la segmentación de los rasgos	31
4.4.	Comparación de pre-procesado entre las bases de datos de ATVS y MORPH	39
4.5.	División de rasgos en continuos y discretos	40
4.6.	División de rasgos a nivel de intervalos	42
4.7.	Cantidad de sujetos seleccionados para el entrenamiento de los umbrales en la conversión de características continuas a discretas.	44
5.1.	Características continuas	61
5.2.	Características discretas	62
5.3.	Estudio de muestras de entrenamiento de ATVS	73
5.4.	Estudio de muestras de entrenamiento de MORPH	74
5.5.	Resultados de fusión suma y fusión pesada	74
5.6.	Características continuas más discriminantes para ATVS. El ID corresponde a la Tabla 5.1.	75
5.7.	Características discretas más discriminantes para MORPH. El ID corresponde a la Tabla 5.2.	76
5.8.	Resultados del algoritmo SFFS para las bases de datos AVTS y MORPH	77

Glosario de acrónimos

- **ADN:** Ácido Desoxirribonucleico
- **DET:** Detection Error Trade-off
- **DGGC:** Dirección General de la Guardia Civil
- **DNI:** Documento Nacional de Identidad
- **EBGM:** Elastic Bunch Graph Matching
- **EER:** Equal Error Rate
- **FA:** False Acceptance
- **FAR:** False Acceptance Rate
- **FR:** False Rejection
- **FRR:** False Rejection Rate
- **IPD:** Interpupillary Pixel Distance
- **ISO:** International Organization for Standardization
- **LDA:** Linear Discriminant Analysis
- **NFI:** Netherlands Forensic Institute
- **NIF:** Near-Infrared
- **PCA:** Principal Component Analysis
- **ROC:** Receiver Operating Characteristic
- **SFFS:** Sequential Forward Floating Selection

1

Introducción

1.1 MOTIVACIÓN

La palabra **biometría**, procedente del griego “*bios*” vida y “*metron*” medida, abarca el estudio de métodos automáticos para el reconocimiento único de humanos basado rasgos físicos o rasgos de comportamiento (forma de andar, de escribir, etc.).

Las técnicas biométricas más extendidas incluyen los estudios de cara, huellas dactilares, iris, voz, firma y geometría de la mano. Muchas otras modalidades se encuentran en distintas etapas de desarrollo y evolución.

Centrándose en el reconocimiento facial, se pueden mencionar tres grandes grupos de aplicaciones. El grupo más conocido por la gente es el **comercial**, es decir, aplicaciones para los controles de acceso, seguridad electrónica, cajeros automáticos, teléfonos móviles, tabletas, etc.

El segundo gran grupo al que se hace referencia es el **gubernamental**, cuyas aplicaciones son las vinculadas a documentos identificativos (DNI, pasaporte, permiso de conducir), Seguridad Social, control de fronteras, control de aeropuertos, etc.

En el tercer grupo, el **forense**, tienen lugar investigaciones criminales, identificación de cadáveres, investigaciones sobre actos terroristas, identificación de personas desaparecidas, etc. En las últimas décadas las huellas y las muestras de ADN han desempeñado un papel muy importante en las historias de crímenes, pero se está trabajando para que otros rasgos biométricos puedan servir de apoyo a los investigadores. Entre ellos la cara, que es un rasgo biométrico con gran capacidad discriminativa que en muchos casos permite una identificación única durante las investigaciones forenses. Como ejemplo se puede mencionar la investigación de la explosión durante la Maratón en Boston en abril de 2013. Durante esta investigación se utilizaron los videos de vigilancia grabados durante la Maratón y los expertos forenses identificaron los posibles sospechosos que posteriormente fueron comparados con las bases de datos gubernamentales de los Estados Unidos [1].

Este proyecto se centra en el estudio y desarrollo de un sistema de reconocimiento facial basado en el análisis morfológico desarrollado por los expertos forenses en base al Retrato Hablado. Dicho documento describe en detalle los protocolos que los laboratorios forenses como Guardia Civil Española

o Netherlands Forensic Institute siguen para realizar la comparación de dos caras humanas.

1.2 OBJETIVOS Y ENFOQUE

El objetivo principal de este proyecto es el desarrollo de un sistema completo que pueda servir para el análisis de las imágenes en las investigaciones forenses. Se parte de una base de datos de un entorno controlado compuesta de imágenes frontales de sujetos, junto con la ayuda de los puntos característicos faciales, es decir, aquellos puntos más relevantes en un rostro humano.

Para el diseño e implementación nos hemos basado en el esquema general de un sistema automático de reconocimiento facial, siguiendo cada una de sus etapas.

En primera instancia se ha procedido con el pre-procesado de las imágenes, extrayendo cada una de las regiones faciales con el objetivo de poder realizar la extracción de los caracteres morfológicos. Como se ha mencionado anteriormente, la descripción morfológica se basa los protocolos de los laboratorios forenses, como es Guardia Civil Española o NFI, para acercarnos lo más posible a las situaciones de la vida real. Una vez terminado el desarrollo se procede a la etapa de experimentación para ver el rendimiento del sistema elaborado a la hora de identificar sujetos. La fase experimental consta tanto de las pruebas de rendimiento como del estudio previo de las características morfológicas obtenidas. Finalmente, se estudia cuáles son las características más óptimas de la cara del conjunto propuesto y se evalúan las más discriminantes para el reconocimiento facial.

El sistema creado se centra en los entornos controlados, pero se realiza una parte añadida del proyecto que consta de unos ajustes para adaptarlo a un entorno no controlado. Una vez efectuados los ajustes necesarios se repiten todos los experimentos con una base de datos de imágenes tomadas en entornos no controlados y se obtienen los resultados finales.

1.3 METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO

Para la correcta realización de este Proyecto Fin de Carrera se sigue un plan que incluye los siguientes pasos:

- **Estudio de la literatura adecuada**

En un primer momento se estudia la literatura sobre la historia de la evolución de la biometría forense, sobre todo los sistemas de reconocimiento facial que se han creado a lo largo de los años. Una vez completada esta fase se hace un recordatorio de los métodos de tratamiento de imágenes.

- **Desarrollo del sistema propuesto para el proyecto**

Una vez realizado el estudio previo se procede al desarrollo del sistema que incluye varias etapas descritas en los capítulos posteriores. El desarrollo del sistema se realiza con el programa MATLAB que permite utilizar una amplia gama de funciones de tratamiento de imágenes y cálculo matemático aplicado en este proyecto.

- **Estudio de los datos y experimentación**

Una vez terminado el sistema se procede a la fase del análisis de las características obtenidas mediante los estudios estadísticos y de semejanza que permiten analizar en mayor profundidad los resultados obtenidos. Posteriormente se procede a la fase de experimentación con el objetivo de estudiar el rendimiento del sistema.

- **Ajuste de rendimiento del sistema**

Al obtener los resultados de los experimentos, se intenta mejorar el rendimiento aplicando el algoritmo SFFS que permite buscar las características más discriminantes de la cara.

- **Ajuste del sistema para el entorno no controlado**

Se realizan los ajustes necesarios para poder probar el sistema creado en un entorno no controlado para analizar su posible implantación.

- **Evaluación del trabajo y conclusiones**

- **Documentación y redacción de la memoria**

En la etapa final se procede a la documentación y redacción de la memoria concluyendo el trabajo realizado.

1.4 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

La memoria de este proyecto se divide en los siguientes capítulos:

1. Introducción

El primer capítulo de la memoria incluye la principal motivación del proyecto, su enfoque y los objetivos perseguidos. Para enfocar al lector se expone la metodología seguida y la estructuración de la memoria elaborada.

2. Estado del arte

Dentro del estado de arte se hace un estudio preliminar al desarrollo del sistema que ayuda a direccionar el proyecto. Se hace un repaso histórico a los sistemas biométricos forenses desde su aparición hasta los últimos descubrimientos y se presentan las dificultades a las que se enfrentan los investigadores hoy en día.

3. Sistemas biométricos y bases de datos utilizadas

En el tercer capítulo se describen los sistemas biométricos existentes en la actualidad explicando su propósito y funcionamiento. A continuación se describen las bases de datos utilizadas en el proyecto que fueron proporcionadas por el grupo de reconocimiento biométrico ATVS. Se nombran sus principales características y se presentan algunas imágenes tratadas durante el proyecto.

4. Sistema, diseño y desarrollo

El cuarto capítulo es el capítulo principal de la memoria, donde se describe el diseño completo del sistema y los pasos que se han seguido en su desarrollo. Se presenta el esquema general del sistema y posteriormente se describen todas las etapas con más detalle. Además se hace un estudio de la caracterización morfológica de los rasgos obtenidos por el sistema.

5. Experimentos y resultados

Una vez descrito el sistema se inicia el capítulo de experimentación en el que se detallan los experimentos realizados para evaluar el sistema de reconocimiento facial y sus resultados. Previamente se realiza un estudio de los datos obtenidos, que incluye un estudio de correlación entre las características morfológicas obtenidas y su análisis estadístico. Dicho estudio se hace con el objetivo de analizar con mayor profundidad los resultados obtenidos y poder sacar las conclusiones finales.

6. Conclusiones y trabajo futuro

Al finalizar la el capítulo de experimentación se procede a sacar conclusiones sobre el trabajo realizado y se proponen las vías de futura investigación en el campo estudiado.

1.5 CONTRIBUCIONES

Las contribuciones del presente Proyecto Fin de Carrera incluyen los siguientes puntos:

- Diseño, desarrollo e implementación de un sistema biométrico de reconocimiento facial para imágenes frontales en entornos controlados y no controlados de adquisición, basado en protocolos de laboratorios forenses tales como DGGC o NFI.
- Propuesta de un amplio conjunto de características continuas y discretas en base a los protocolos forenses que describen la morfología facial. Análisis estadístico de los datos obtenidos.
- Estudio y evaluación de características continuas y discretas de forma separada y conjunta, obteniendo resultados y conclusiones sobre su comportamiento y rendimiento.
- Amplio estudio de las características más discriminantes de antropometría facial para los dos entornos analizados (controlado/no controlado).

2

Estado del arte

2.1 INTRODUCCIÓN

Los humanos a menudo utilizan los rostros para reconocer individuos, dada su capacidad discriminativa, y los avances en las capacidades de computación en las últimas décadas, ahora permiten reconocimientos similares en forma automática. Los algoritmos de reconocimiento facial anteriores usaban modelos geométricos simples, pero el proceso de reconocimiento actualmente ha madurado en una ciencia de sofisticados algoritmos matemáticos. Importantes avances e iniciativas en los pasados diez o veinte años han propulsado a la tecnología de reconocimiento facial al centro de la atención. Sin embargo, se pueden destacar algunas de las dificultades existentes en este campo como pose, expresión facial o iluminación.

Los sistemas de reconocimiento facial tienen dos modos de funcionamiento posibles: verificación o identificación [2]. En el modo de verificación (1:1) dos imágenes de caras son analizadas en base a la semejanza entre los rasgos. La decisión se toma a partir de las coincidencias encontradas. Sin embargo, en el modo de identificación (1:N) se compara la imagen de una sola cara contra un conjunto de N caras. Cualquiera de los dos modos de funcionamiento del reconocimiento facial automático funciona sin la interacción humana.

De los tres grupos de aplicaciones de reconocimiento facial descritas anteriormente, la investigación forense necesita una mayor precisión debido a la responsabilidad y la importancia de la decisión tomada. Por lo tanto es necesario analizar una gran variedad de datos disponibles a la hora de investigar un crimen o durante la búsqueda de gente desaparecida. Análisis de las salpicaduras de sangre, identificación del ADN, análisis de la huella dactilar o de la pisada del zapato son algunos de los ejemplos que hoy en día se utilizan en el campo forense. Tratándose del reconocimiento facial, la mayoría de las imágenes que se obtienen tienen una mala calidad debido a que éstas provienen de las cámaras de vigilancia, fotos de las cámaras de los dispositivos móviles o las imágenes de los medios de comunicación realizadas en condiciones no ideales. Next Generation Identification es uno de los ejemplos de los programas dedicados al desarrollo y mejora de las técnicas de tratamiento y análisis de las imágenes para las investigaciones forenses [3].

2.2 RECONOCIMIENTO FACIAL EN EL ÁMBITO FORENSE

El reconocimiento facial forma una parte importante de la investigación forense. El primer intento de identificar a un sujeto comparando su rostro con un pequeño conjunto de imágenes data del año 1871 usado en el tribunal británico [4]. Y el primer método sistemático de reconocimiento fue desarrollado por el criminólogo francés Alphonse Bertillon en el año 1882, cuando él empezó a tomar medidas y crear una base de datos de los rasgos faciales [5]. El método que usaba Bertillon consistía en identificación, toma de medidas y clasificación de todos los rasgos posibles .

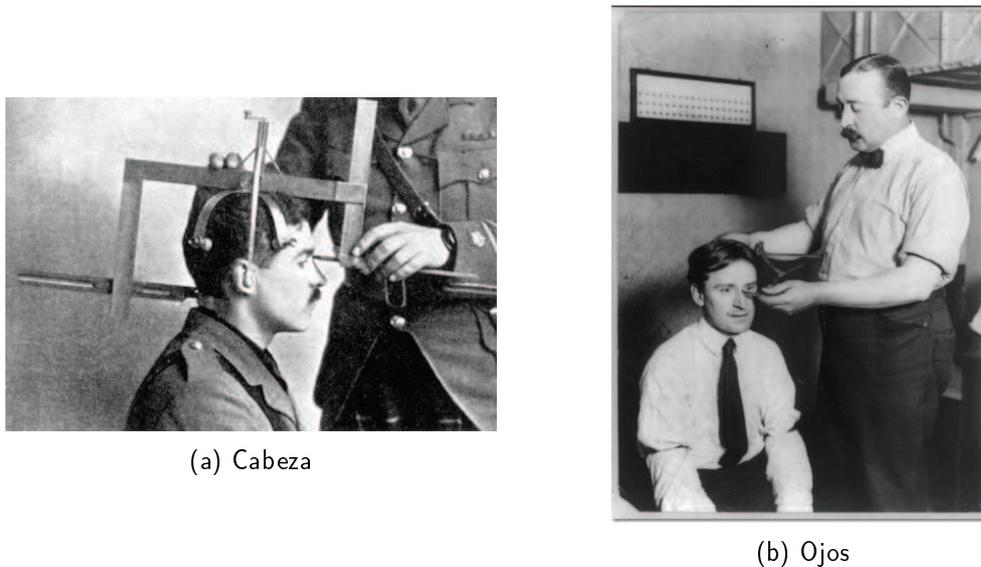


Figura 2.1: Ejemplos de las medidas tomadas por Alphonse Bertillon

El primer artículo científico sobre el reconocimiento facial automático apareció en 1966 publicado por Bledsoe et al. [6]. En el proyecto desarrollado se trabajaba con unas imágenes de la cara en las cuales, se calculaba una lista de veinte distancias entre los puntos característicos del rostro. Entre los puntos característicos se pueden mencionar las pupilas, las esquinas de la boca, ojos, cejas, etc. Basándose en las diferencias y similitudes entre estas 20 distancias se conseguía identificar dos caras iguales. Poco a poco la lista de los puntos característicos fue aumentando para mejorar el resultado de la identificación forense y se calculó que era necesario obtener 6 características diferentes para una base de datos de 255 imágenes y 14 para una base de datos de 4.000.000 imágenes [7].

El primer sistema completamente automático fue desarrollado por Kanade [8] usando una lista de las características faciales sacadas de las imágenes en escala de grises. Para dichas fotos se calculaban los histogramas locales para conseguir la identificación de la persona. El sistema de Kanade utilizando 20 imágenes daba una precisión de 75% por lo que se necesitaba un sistema más preciso.

Por primera vez el análisis de componentes principales (Principal Component Analysis, PCA) [9] fue utilizado para las imágenes de rostros por Sirovich en el año 1987 para conseguir la compresión de las fotos y posteriormente por Turk y Pentland para la identificación utilizando el conjunto de Eigenfaces [10]. Dicha técnica permite trabajar con un conjunto extenso de datos permitiendo la reducción de la dimensionalidad de dicho conjunto. El método PCA se basa en la construcción de una transformación lineal que escoge un nuevo sistema de coordenadas para el conjunto original de datos en el cual la varianza de mayor tamaño del conjunto de datos es representada en el primer eje (primer componente principal), la segunda varianza más grande es el segundo eje, y así sucesivamente. Intuitivamente la téc-

nica sirve para hallar las causas de la variabilidad de un conjunto de datos y ordenarlas por importancia quedándose siempre con los que más importancia tengan [11].

Otro de los métodos más extendidos en el área del reconocimiento facial es el análisis discriminante lineal (Linear Discriminant Analysis, LDA)[12] que se basa en el análisis lineal de Fisher. Dicho método intenta buscar una combinación lineal de características significativas de un conjunto dado. La combinación resultante podría servir de clasificador o reductor de dimensionalidad del conjunto a analizar. A diferencia de PCA, en LDA la importancia se da a las diferencias de clases en vez de a las similitudes, por lo que se logran mejores resultados usando este método [13].

Correspondencia entre agrupaciones de grafos elásticos (Elastic Bunch Graph Matching, EBGM) [14] es otro de los métodos que se utiliza. La técnica se basa en la búsqueda de algunos de los puntos más característicos de la cara que permitan la creación de un grafo representativo. La creación de los grafos se puede dividir en dos etapas principales: la estructura geométrica, es decir el conjunto de nodos y aristas y las etiquetas cualitativas como los jets y distancias. El primer paso consiste en la normalización de las imágenes y se realizan algunas transformaciones geométricas con el objetivo de ubicar las coordenadas de los ojos en unas posiciones determinadas.

Y en la segunda etapa se consiguen los valores de los jets y las distancias utilizando el método de Wavelets de Gabor, dado que son funciones aproximadamente paso-banda que pueden diseñarse como un banco de filtros con diferentes dilataciones y rotaciones. La principal ventaja es que se obtienen los resultados tanto en el dominio espacial como frecuencial, ya que los jets de un grafo representan un conjunto de coeficientes de la convolución de los núcleos con diferentes rotaciones y frecuencias de un pixel de una imagen.

2.3 SISTEMA DE RECONOCIMIENTO FACIAL FORENSE

Hoy en día en un sistema de reconocimiento forense es necesario utilizar tanto el análisis automático como la ayuda de un examinador forense para tomar la decisión final. En muchos de los sistemas se introduce el pre-procesado de las imágenes de entrada, que afecta a la iluminación, la expresión de la cara, la edad del sospechoso, y con ello se consigue una mejora considerable de la calidad de la imagen.

Un sistema general de reconocimiento facial forense parte de un reconocimiento automático de una base de datos extensa que obtiene como resultado final N candidatos más parecidos al buscado. Después del proceso automático, es necesaria una inspección por un experto forense que incluye reconocimiento tanto 1:N, como 1:1 para llegar a una conclusión final. La Figura 2.2 muestra un ejemplo de funcionamiento de las diferentes configuraciones de un sistema facial forense y el punto donde interactúa el experto.

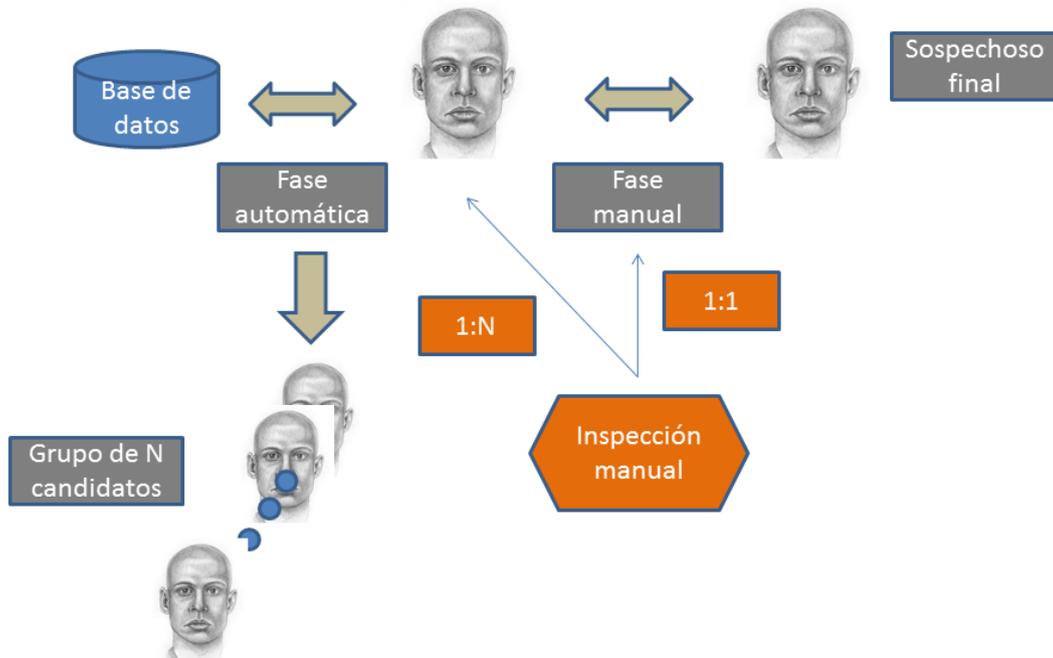


Figura 2.2: Esquemático de Reconocimiento Facial Forense

El sistema de reconocimiento facial forense pertenece al grupo de los sistemas off-line, dado que el proceso de reconocimiento lleva un cierto tiempo, además introduciendo la interacción humana se consiguen mejores resultados. Sin embargo, la mayoría de los sistemas automáticos convencionales, como por ejemplo los de acceso restringido, necesitan obtener la decisión final de una manera casi inmediata, por lo que son completamente automáticos. En resumen, se pueden nombrar las siguientes características que diferencian el reconocimiento facial forense del reconocimiento habitual:

1. La calidad de las imágenes suele ser baja ya que muchas se consiguen de las cámaras de vigilancia.
2. Se necesita una revisión manual de un experto forense.

2.4 DESAFÍOS ACTUALES

Como se ha mencionado anteriormente, el proceso del reconocimiento facial forense se enfrenta a muchos problemas producidos por varias razones. Entre todos los problemas se pueden mencionar los más comunes:

1. Envejecimiento, cicatrices y marcas faciales.
2. Pose e iluminación.
3. Reconocimiento de los retratos hechos a mano.

2.4.1 Envejecimiento, cicatrices y marcas faciales

En algunos de los casos la edad de la persona es un factor crítico, por ejemplo, en los casos de la desaparición de niños o la búsqueda en una base de datos que tiene varios años. El envejecimiento resulta problemático ya que muchos de los rasgos faciales cambian con el paso del tiempo. Cuantos más años pasen entre la toma de las fotos, las diferencias aumentan. Los cambios afectan tanto a la forma como a la textura (tono de piel, arrugas) de la cara. Además el envejecimiento es diferente para cada grupo de edades. Para los sujetos que pertenecen al grupo juvenil (menores de 18 años) los cambios afectan más a la forma mientras que para la gente mayor de 18 años los cambios son más de textura (cambios de peso, firmeza de la piel). La Figura 2.3 muestra las diferencias del efecto que tiene el envejecimiento para cada uno de los grupos de edades.

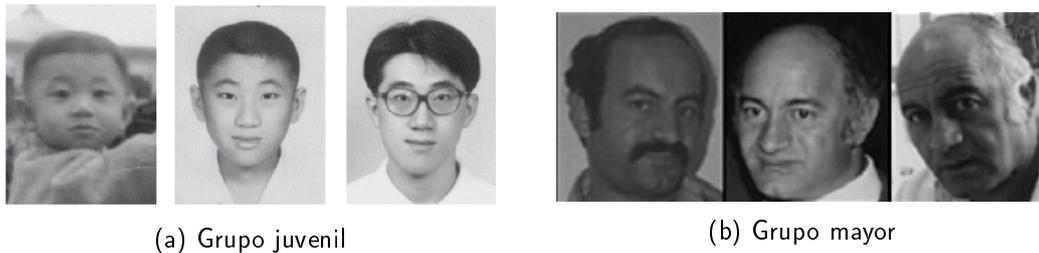


Figura 2.3: Ejemplos de envejecimiento

Para combatir los problemas que presenta el envejecimiento se utilizan dos modelos propuestos por Li et al.[15]: generativo y discriminatorio. El modelo generativo utiliza el modelo paramétrico de envejecimiento en un dominio de 3 dimensiones para generar las imágenes y reducir la diferencia de la edad entre la imagen del sospechoso y de los sujetos de la base de datos. Además se aplican las técnicas para la corrección de la postura del sujeto para obtener el máximo parecido posible. Hoy en día no hay bases de datos que sigan el envejecimiento del sujeto de 3D por lo que se han utilizado las bases existentes de 2 dimensiones para crear los modelos.

El modelo discriminatorio utiliza los rasgos salientes de la cara para ver los cambios de la cara pasados distintos intervalos de tiempo. Para conseguir mejores resultados los modelos existentes se combinan en una investigación forense.

Dado que las cicatrices, las marcas faciales o pecas son un rasgo único y diferente en cada persona, la identificación del sospechoso con dichas características podría ser más fácil. La tecnología va mejorando año tras año permitiendo conseguir mejor resolución de las imágenes facilitando tanto el proceso de reconocimiento automático como manual. Se pueden ver algunos ejemplos en la Figura 2.4:



Figura 2.4: Ejemplos de tatuaje y marca facial

Las descripciones de las víctimas o los testigos de un caso son claves para la resolución, por lo que si el sospechoso tiene marcas faciales o cicatrices es lo primero que le diferencia de los demás. Spaun [16], [17] ha creado una lista de pasos que se siguen en las investigaciones forenses para el análisis facial, donde uno de los pasos más importantes es la identificación de las características particulares del sospechoso. Las características particulares incluyen el número y la localización de las pecas, cicatrices, tatuajes, dientes astillados o rotos y arrugas. Automatizar el proceso de detección y comparación de dichas particularidades ayuda a reducir el tiempo invertido además de eliminar la subjetividad del investigador. La búsqueda de las marcas faciales no pretende identificar a un único sospechoso, sino separar un grupo de posibles candidatos para reducir la base de datos para el análisis posterior. Además, para el caso de los hermanos gemelos las particularidades personales pueden ser cruciales [18].

2.4.2 Pose e iluminación

La comparación de dos caras con diferente nivel de iluminación es uno de los principales desafíos en el área de reconocimiento facial, ya que la diferencia a nivel de píxel en la imagen de la cara de la misma persona con distinto tipo de iluminación puede ser mayor que la diferencia entre dos imágenes pertenecientes a personas diferentes con la misma iluminación [19].

Para combatir los efectos de los cambios en la iluminación en la fotos (Figura 2.5) se propuso la utilización de la luz infrarroja (Near-Infrared, NIF). Klare y Jain [20] desarrollaron un sistema de comparación de las fotos sacadas con NIF con las fotos con la iluminación habitual. En los dos casos se han utilizado los descriptores SIFT [21]. Utilizando la base de datos HFB [22], Klare y Jain combinando el sistema comercial FaceVACS [23], consiguieron una tasa de aciertos de 94 %.



Figura 2.5: Efectos de la pose y la iluminación

Para combatir las dificultades causadas por la pose del sujeto, hoy en día se utilizan varias técnicas que dependen de los propósitos de los sistemas de reconocimiento facial. Uno de los métodos consiste en la utilización de un modelo 2D que se separa la imagen en distintos componentes dependiendo de su textura y forma [24].

Últimamente, se están utilizando los modelos 3D adquiridos de distintas formas, como por ejemplo, cámaras estereoscópicas o escáneres de luz estructurada. Sin embargo, todavía existen muchos fallos que presentan estos modelos 3D, debido a la imperfección de la tecnología existente, además de la dificultad de obtener modelos 3D en algunos casos. En general, las investigaciones de este área presentan muchos avances en el tema de pose e iluminación, pero se requieren más estudios profundos acerca de dichas dificultades.

2.4.3 Reconocimiento de los retratos hechos a mano

Cuando no existe ninguna foto del sospechoso los retratos hechos a mano son necesarios. El retrato forense es la interpretación de la descripción verbal creada por un artista. Dichos retratos pueden ser

engañosos debido a una mala descripción o la subjetividad del mismo artista, por lo que el problema principal es la incapacidad de la víctima o testigo de acordarse de la apariencia del sospechoso. Además, se necesita mucho tiempo para dibujar un retrato por lo que sólo se utilizan en los crímenes más atroces. Algunos ejemplos pueden ser vistos en la Figura 2.6.



Figura 2.6: Retratos manuales realizados por examinadores forenses

Los sistemas comerciales de reconocimiento no están diseñados para comparar las imágenes con los retratos, por lo que Klare et al.[25] desarrollaron un sistema de comparación entre las imágenes y los retratos. El método permite comparar un retrato con una base de datos comparando los patrones binarios y los rasgos SIFT [21]. Dicho método da mejores resultados que los sistemas comerciales existentes.

2.5 ANTROPOMETRÍA FACIAL

La estructura física del rostro humano es muy variable debido a la libertad en las articulaciones de la cabeza, los cambios de la expresión de la cara y sus partes producidas por la actividad muscular. Sin embargo, la variación de la forma de la cara está limitada por dos tipos de restricciones: genéticas y biológicas, y se caracteriza por un alto grado de simetrías y proporciones de los rasgos faciales.

La antropometría es una ciencia biológica que se ocupa de las medidas del cuerpo humano y sus proporciones [26]. Los datos antropométricos dan la información suficiente sobre la distribución de las medidas y proporciones de las poblaciones humanas. Por ejemplo, el estudio y conocimiento de la estructura física del rostro humano y su variabilidad puede ayudar al diseño de sistemas automáticos de reconocimiento facial [27]. En medicina, la comparación cuantitativa de los datos antropométricos de las mediciones de los pacientes antes y después de la cirugía ayuda a la planificación y la evaluación de la cirugía plástica y reconstructiva [26]. En antropología forense, ayuda a la determinación de la apariencia de los individuos a partir de sus restos [26], [28] y en la búsqueda de niños desaparecidos.

La evaluación antropométrica se inicia con la identificación de puntos característicos de la cara o landmarks, que se definen en términos de características visibles o palpables (piel o hueso). Luego se toma una serie de mediciones entre dichos puntos de referencia con procedimientos cuidadosamente especificados e instrumentos de medición. Un buen resultado se consigue cuando las medidas se toman repetidas veces durante varios días.

Farkas [26] describe un conjunto de medidas ampliamente utilizado para la caracterización de la cara humana. El sistema utiliza un total de 47 puntos característicos y cinco tipos de medidas faciales para describir el rostro (Figura 2.7, 2.8).

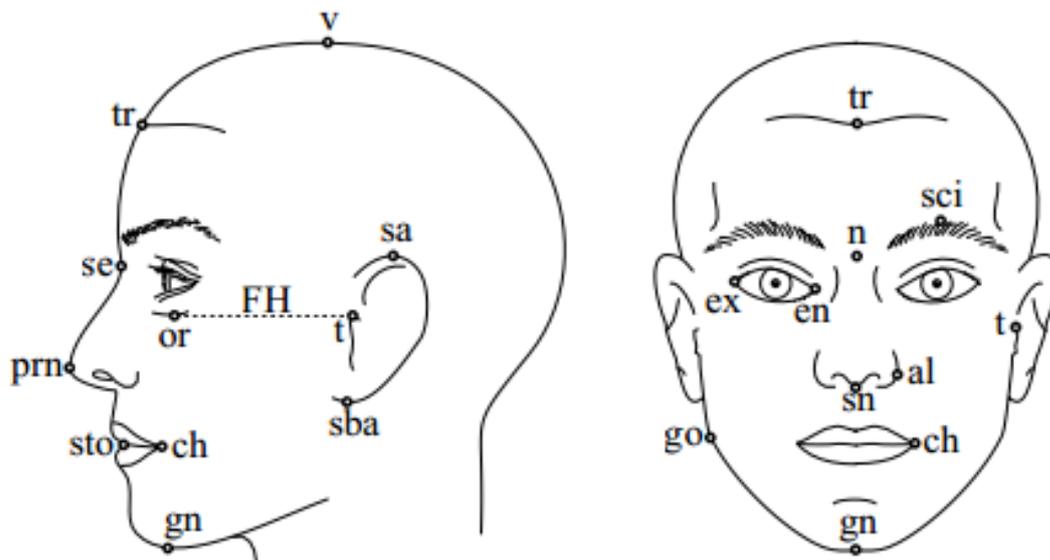


Figura 2.7: Puntos característicos de la cara

Las principales medidas faciales de Farkas son:

1. La *distancia más corta* entre dos puntos. Un ejemplo es *en-ex*, la distancia entre los puntos en las esquinas del ojo.
2. La *distancia axial* entre dos puntos es la distancia a lo largo de uno de los ejes medida en el sistema de coordenadas canónicas, con la cabeza en posición FH, es decir el sujeto tiene que mirar de frente. Un ejemplo es *v-tr*, la distancia vertical (diferencia de altura) entre la parte superior de la cabeza y la línea del cabello.
3. La *distancia tangencial* entre dos puntos es la distancia medida a lo largo de una trayectoria prescrita en la superficie de la cara. Un ejemplo es *ch-t*, la distancia de la superficie desde la esquina de la boca al tragus.
4. El *ángulo de inclinación* entre dos puntos con respecto a uno de los ejes canónicos. Un ejemplo es la inclinación de uno de los ejes de la oreja con respecto al eje vertical.
5. El *ángulo* entre dos ejes, por ejemplo el ángulo mentocervical (el ángulo de la barbilla).

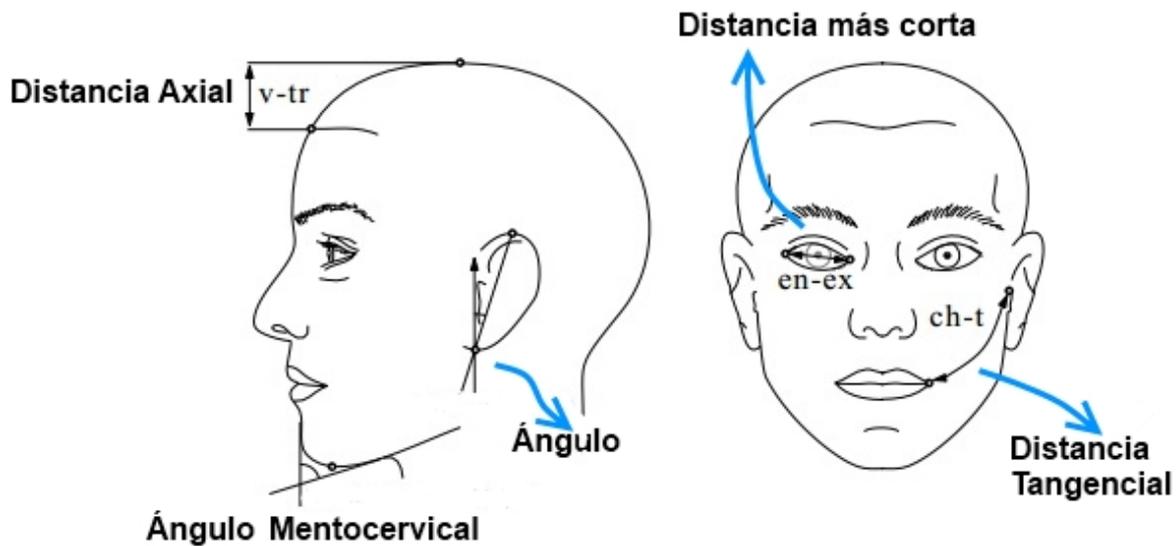


Figura 2.8: Ejemplo de medidas antropométricas

Analizando estas 5 medidas aplicadas sobre los 47 puntos propuestos por Farkas [26], un total de 132 medidas de la cara y cabeza son evaluadas. Algunas de las medidas están emparejadas simétricamente, es decir, cuando hay una medida correspondiente en el lado izquierdo y derecho de la cara. La recopilación sistemática de dichas medidas antropométricas hace posible una gran variedad de investigaciones estadísticas de grupos de población. Además de la información sobre las medidas, Farkas et al. realizaron un análisis estadístico de las proporciones faciales estudiando las dependencias que pueden tener las características obtenidas. Una de las contribuciones fue la demostración de que las proporciones dan información útil sobre las correlaciones entre las características, que a su vez pueden servir como indicadores de la pertenencia a un grupo de población concreto [29].

3

Sistemas automáticos y Bases de datos

3.1 SISTEMAS BIOMÉTRICOS: ESTRUCTURA GENERAL

Los sistemas biométricos normalmente poseen tres componentes básicos. El primero se encarga de la adquisición de algún indicador biométrico de una persona, por ejemplo de la imagen de la cara. El segundo se encarga de la compresión, procesamiento, almacenamiento y comparación de los datos adquiridos y el último componente establece una interfaz con aplicaciones en el mismo sistema. La arquitectura típica se representa en la Figura 3.1 y puede dividirse en dos módulos:

- Módulo de inscripción
- Módulo de reconocimiento

El módulo de inscripción se encarga de adquirir y almacenar la información del indicador biométrico para poder formar un patrón que sólo guarde la información del sujeto que va a ser reconocido. Dicho módulo consta de un lector biométrico y un extractor de características.

El módulo de identificación o reconocimiento de los individuos comienza cuando el lector biométrico captura las características del individuo a ser identificado y las convierte a formato digital, para que a continuación el extractor de características produzca una representación compacta con el mismo formato de los patrones. La representación resultante es enviada al comparador de características que confronta a éste con uno o varios patrones para establecer la identidad según el grado de similitud.

Según el modo de operación un sistema biométrico puede clasificarse en dos tipos:

- Modo de verificación
- Modo de identificación

3.1.1 Modo de verificación

En *modo de verificación* el usuario presenta su rasgo biométrico y se identifica. Posteriormente, se busca en la base de datos el modelo de usuario correspondiente a dicha identificación y se compara

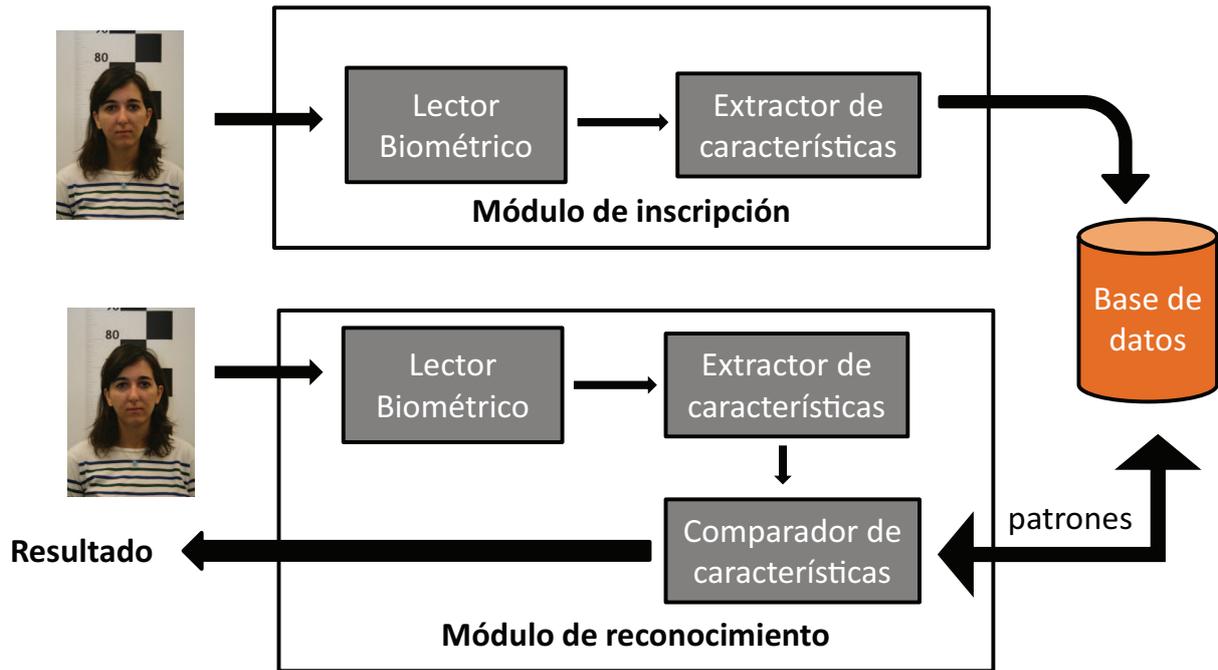


Figura 3.1: Diagrama de bloques de un sistema biométrico de reconocimiento

con el creado a partir de la realización actual. Dicho proceso se denomina “reconocimiento positivo” y requiere una comparación “uno-a-uno”. La decisión de aceptar o rechazar al usuario dependerá de si el valor de parecido o probabilidad obtenida supera o no un determinado *umbral* de decisión. Se tratará de un “usuario genuino” si la puntuación ha superado el umbral establecido y de un “usuario impostor” en el caso contrario. El esquema del sistema de modo de verificación se puede observar en la Figura 3.2:

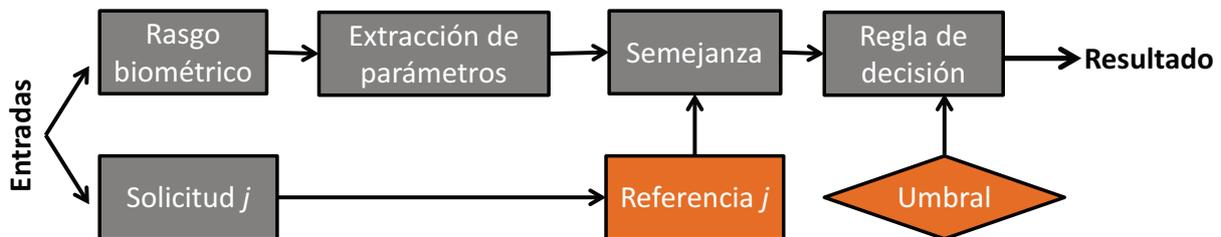


Figura 3.2: Esquema de modo de verificación

Cuando se trabaja con este modo de operación, para evaluar el sistema se utiliza la *tasa de falsa aceptación* (FAR, False Acceptance Rate) y la *tasa de falso rechazo* (FRR, False Rejection Rate). **FAR** ocurre cuando el sistema detecta a un usuario genuino siendo en realidad un usuario impostor. Es decir, dos modelos pertenecientes a distintos usuarios generan una puntuación por encima del umbral de decisión.

A su vez, **FRR** ocurre cuando el sistema detecta a un usuario impostor siendo en realidad un usuario genuino. Dicha situación se produce cuando dos modelos pertenecientes a un mismo usuario generan una puntuación por debajo del umbral de decisión.

Según se sitúe el umbral, los valores de FAR y FRR varían en sentido opuesto. Si el umbral es bajo, el sistema será muy permisivo, es decir dará como válidos modelos impostores. En el caso contrario, cuando el umbral es alto, el sistema será muy restrictivo produciendo el efecto opuesto. Cuando se trata

de los sistemas forenses se trabaja en bajo *falso rechazo* (FR, False Rejection) con el objetivo de no perder individuos buscados, a costa de una alta *falsa aceptación* (FA, False Aceptación).

Uno de los puntos importantes en los sistemas que analizan los valores de FAR y FRR es el valor de la *Tasa de Igual Error* (EER, Equal Error Rate). **EER** es el punto donde las curvas de falsa aceptación (FA) y falso rechazo (FR) se cruzan, siendo FAR y FRR iguales. Por ello, dicho valor suele usarse para caracterizar con un único número el rendimiento de un sistema biométrico.

Para determinar el rendimiento del sistema implementado en este proyecto se utilizarán las curvas de *Característica Operativa del Receptor* (ROC, Receiver Operating Characteristic), que representan la relación de FRR frente a FAR. En el caso del presente proyecto se utiliza el valor de la *tasa de verificación* (VR, Verification Rate), que representa el valor de 1-FRR.

El mejor método posible de predicción se situaría en el punto con la coordenada (0,1) del espacio ROC, representando un 100% de FRR (ningún falso negativo) y un 100% también de FAR (ningún falso positivo). A este punto también se le llama una clasificación perfecta. Por el contrario, una clasificación totalmente aleatoria daría un punto a lo largo de la línea diagonal, que se llama también línea de no-discriminación, desde el extremo inferior izquierdo hasta la esquina superior derecha, tal y como se puede ver en la Figura 3.3.

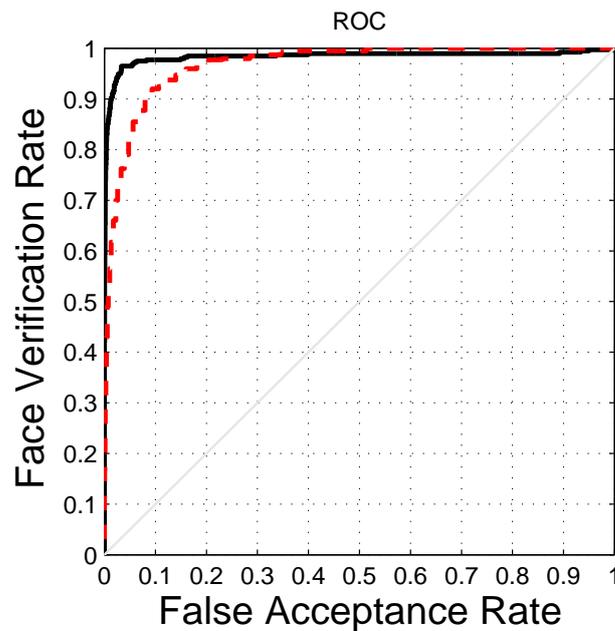


Figura 3.3: Ejemplo de las curvas ROC

3.1.2 Modo de identificación

Si se trabaja con el *modo de identificación* el sistema intenta determinar si el usuario, del que se ha capturado el rasgo biométrico, se encuentra en la base de datos, para lo cual se realiza una comparación con todos los modelos de los usuarios registrados.

En este caso se trata de una comparación de “uno-a-muchos” y como resultado se genera una lista de candidatas cuyas puntuaciones están ordenadas de mayor a menor. Si ninguna de las puntuaciones obtenidas ha alcanzado el umbral de decisión se informa que el sistema no ha encontrado ningún candidato para dicho usuario. La Figura 3.4 representa el esquema de modo de identificación.

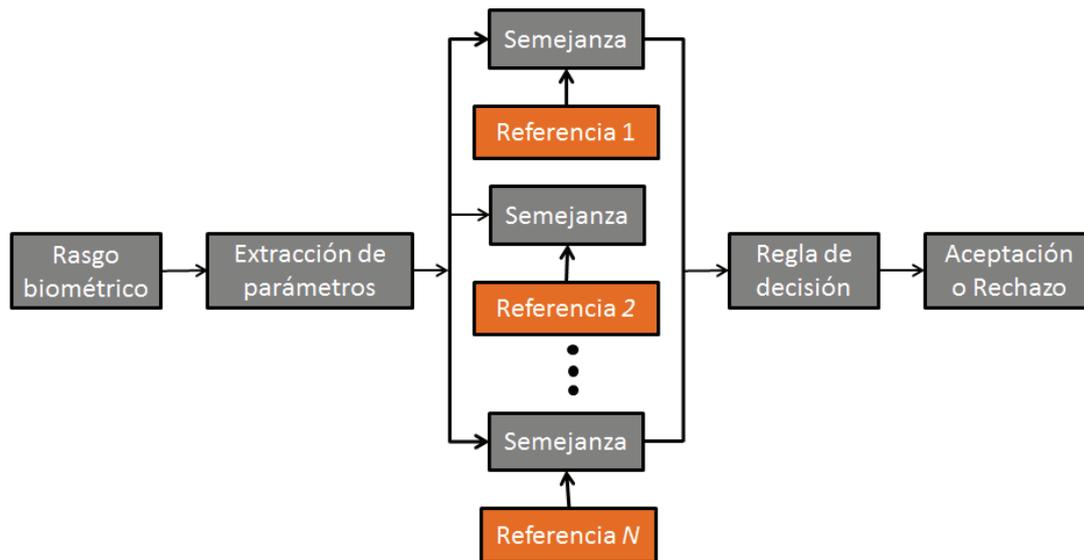


Figura 3.4: Esquema de modo de identificación

Hay dos tipos de errores que se pueden cometer en el modo de identificación:

1. El sistema se decide por el identificador de un patrón erróneo de la base de datos. Por tanto, el usuario no aparece como primer candidato de la lista.
2. El usuario que demanda ser identificado, a pesar de aparecer como primer candidato en la lista, no obtiene el grado de semejanza suficiente como para ser reconocido como tal, y en consecuencia, el sistema considera que no pertenece a la base de datos.

El modo de identificación requiere un coste computacional bastante más elevado que el modo de verificación. Por lo que en muchos casos su uso se limita a aplicaciones en las que el usuario no quiere ser reconocido, llamado “reconocimiento negativo”.

3.2 BASES DE DATOS UTILIZADAS

Para el presente proyecto se han utilizado 2 bases de datos del estado del arte como son ATVS [30] y MORPH [31]. En esta sección se explican en detalle cada una de ellas en cuanto a la cantidad de sujetos, número de sesiones, tomas y objetivos de su creación, La Tabla 3.1 muestra un resumen de las principales características de cada una de las dos bases de datos utilizadas.

Nombre	Puntos marcados	Escenario	Número de sujetos
ATVS Forensic	21	Controlado	50
MORPH	21	No controlado	130

Tabla 3.1: Bases de datos utilizadas

3.2.1 ATVS Forensic

ATVS Forensic [30] ha sido proporcionada por el grupo de reconocimiento biométrico ATVS y está compuesta por imágenes adquiridas mediante una cámara fotográfica digital de gran calidad. Las

imágenes han sido tomadas en un periodo de tiempo de 1 año (entre 2012 y 2013), con 2 sesiones por cada usuario (entre las cuales pasaron, de media, 3 meses entre la primera sesión y la segunda) y 4 secuencias por sesión. Además, los usuarios fueron colocados dentro de una habitación con una iluminación estándar y un flash adecuado (condiciones estándar de las imágenes de pasaportes u otros documentos de identificación personal como por ejemplo, el DNI), en tres puntos distintos, a distintas distancias (1 metro, 2 metros y 3 metros).

La finalidad de sacar fotografías a tres distancias distintas, es la de ver el potencial de los algoritmos de reconocimiento facial para distintas calidades de imágenes. El cambio de calidad de las imágenes se puede observar en la Figura 3.5.

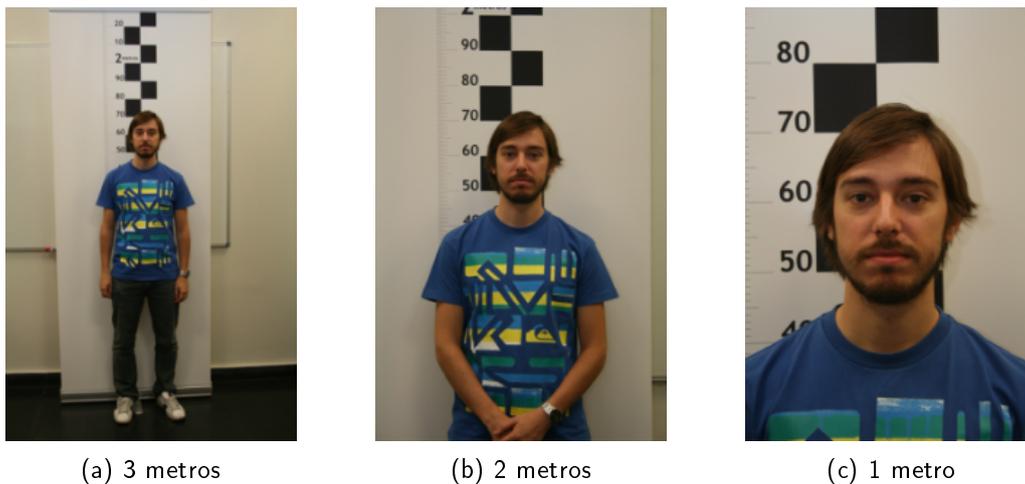


Figura 3.5: Distancias utilizadas para la base de datos ATVS Forensic

Los participantes de la base de datos son estudiantes, profesores o empleados de la Universidad Autónoma de Madrid. En total hay 50 voluntarios, de los cuales 32 eran hombres y 18 mujeres. Todos los participantes fueron de raza caucásica, con un rango de edad de entre 21 y 65 años.

Las figuras 3.6 a 3.11, muestran un ejemplo de las imágenes frontales de las sesiones disponibles normalizadas al mismo tamaño para un sujeto ejemplo de dicha base de datos.



Figura 3.6: Sesión 1: distancia 3 metros



Figura 3.7: Sesión 1: distancia 2 metros



Figura 3.8: Sesión 1: distancia 1 metro



Figura 3.9: Sesión 2: distancia 3 metros



Figura 3.10: Sesión 2: distancia 2 metros



Figura 3.11: Sesión 2: distancia 1 metro

Como se representa en la Tabla 3.1, las fotos tienen 21 puntos marcados, ubicados en los principales rasgos faciales, incluyendo:

- Pupilas de los ojos → 2 puntos
- Extremos de los ojos → 4 puntos
- Extremos de las cejas → 4 puntos
- Extremos de la boca → 2 puntos
- Extremos de la nariz → 2 puntos
- Centro de la nariz → 1 punto
- Punto más bajo de la barbilla → 1 punto
- Extremos superiores e inferiores de las orejas → 4 puntos
- Punto más alto de la cabeza → 1 punto

Todos los puntos fueron elegidos siguiendo los protocolos forenses de DGGC [32], NFI [33] y ENFSI [34], tal y como se muestra en la Figura 3.12 y marcados por la misma persona, imitando el marcado manual de un examinador forense [30].

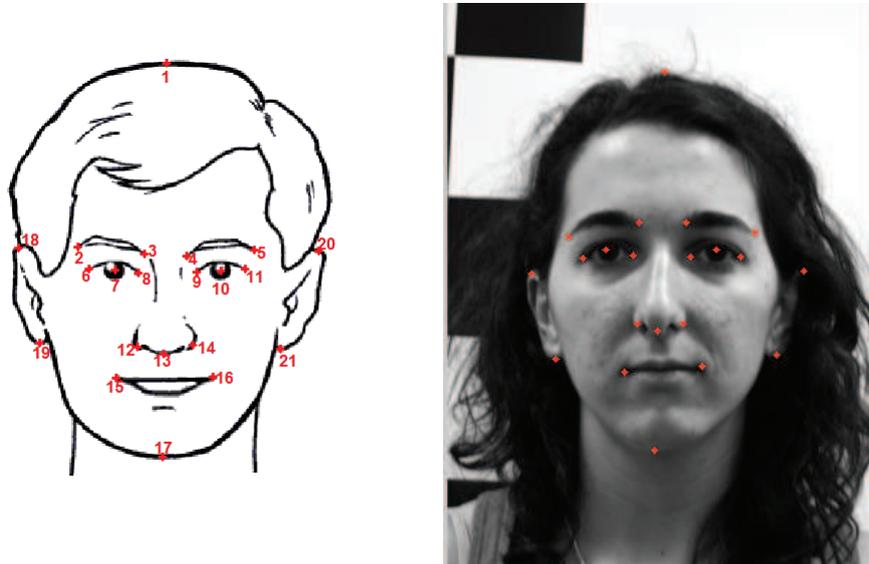


Figura 3.12: Puntos marcados en las imágenes

3.2.2 MORPH

La base de datos MORPH [31], versión no comercial, se recogió en un periodo de tiempo de 5 años (desde el año 2003 al 2007), con 55134 imágenes. Está formada por más de 13000 individuos divididos en 4 subconjuntos: europeos, africanos, asiáticos e hispanos, con un rango de edad entre los 16 y los 77 años, con una edad media de 33 años.

El número de imágenes por individuo es variable, siendo el número medio de imágenes de 4. Esta base de datos, se trata de una colección adquirida en condiciones no controladas, es decir, fue recogida en condiciones del mundo real (entorno no controlado). Algunas de las imágenes de dicha base de datos se muestran en la Figura 3.13.

Para la realización del presente proyecto se ha utilizado un subconjunto, dentro del conjunto de sujetos europeos, que contiene 130 sujetos con 6 sesiones repartidas a lo largo de un año. Cada imagen fue marcada por un examinador humano imitando los protocolos de los laboratorios forenses como en la base de datos anterior. Para este proyecto no se realizó ningún marcado adicional, simplemente se utilizaron los puntos característicos junto con las imágenes faciales.

Cabe mencionar, que para el desarrollo del proyecto, sólo se ha utilizado un conjunto de 130 sujetos pertenecientes a la raza de Europeos de todas las imágenes disponibles. La razón principal de esta selección de un grupo reducido dentro de una extensa base de datos se debe a que sólo este subconjunto de 130 usuarios con 6 sesiones fue utilizado previamente para otros estudios y marcado con sus respectivos puntos característicos manualmente.



Figura 3.13: Ejemplo de las imágenes de la base de datos MORPH

4

Sistema, diseño y desarrollo

4.1 INTRODUCCIÓN

En la Morfología Facial Forense se aplican las técnicas basadas en la descripción corporal con énfasis en los rasgos faciales, sostenidas en el estudio anatómico, miológico y osteológico con la aplicación de conocimientos puntuales en antropología, física, psicología y técnicas de entrevista judicial para lograr la obtención de información necesaria. Uno de los métodos más utilizados es el Retrato Hablado que hoy en día se utiliza para el adiestramiento del personal policial. El Retrato Hablado consiste en una descripción verbal de rasgos faciales específicos convertidos a dibujo, basado en los datos aportados por una persona que observó el rostro del individuo vinculado a una investigación, para individualizarlo. Según las normas del Retrato Hablado existen tres tipos de características físicas de la persona:

- Morfológicas
- Cromáticas
- Complementarias

Donde las características *morfológicas* describen la forma, magnitud y dirección de los rasgos del rostro, las *cromáticas* se fijan en las distintas coloraciones que algunas partes de la cabeza tienen y las *complementarias* hacen referencia a otros conceptos que no se abarcan por las características anteriores.

El sistema desarrollado en este proyecto se basa en la utilización del cotejo morfológico para el análisis de los rasgos faciales. Dicho cotejo se realiza con el fin de efectuar la comparación de los rasgos faciales de una persona con respecto a otra. Los caracteres morfológicos que se han utilizado en este proyecto son los siguientes:

- Frente
- Globos oculares
- Mentón
- Cejas
- Nariz
- Orejas
- Párpados
- Boca
- Contornos

Para evaluar las dimensiones de dichas características el rostro se divide verticalmente en dos, por el eje central de simetría y horizontalmente en tres partes, por dos rectas horizontales que pasan por el comienzo de la nariz y por la base de la misma [32].

Las dimensiones de los distintos caracteres se expresan normalmente por medio de la clasificación tripartita, comparándola para ello con el conjunto facial o con la parte en la que están situados. Algunas características se expresan en centímetros.

En la práctica habitual de los laboratorios forenses como son DGGC [32] y NFI [33], se utilizan protocolos basados en la comparación morfológica bastante extensa de todos los rasgos, la mayoría de los rasgos se representan en la Tabla 4.1.

Rasgos	Características
Rostro	Forma
	Proporciones
	Línea de pelo
Frente	Forma
	Arrugas horizontales
	Cejas
	Marcas
Ojos	Distancia
	Posición
	Color
	Forma
	Bolsas
	Arrugas
Nariz	Longitud
	Anchura
	Prominencia
	Simetría
	Forma de la raíz
	Forma de las fosas nasales
	Tabique
Orejas	Tamaño
	Posición
	Forma del hélice
	Tubérculo de Darwin
	Forma del lóbulo
Boca	Tamaño
	Forma
	Labio superior
	labio inferior
Mentón	Forma
	Distancia entre la boca y la barbilla
	Hoyuelos
	Papada
Rasgos especiales	Marcas
	Cicatrices
	Simetría
	Arrugas

Tabla 4.1: Rasgos utilizados para análisis morfológico de DGGC y NFI

El análisis morfológico de los laboratorios forenses arriba mencionados, se basaba en un método de comparación entre dos sujetos, donde se usan los siguientes criterios:

1. **Semejante** → La calidad de la imagen no es muy alta, por lo que las diferencias pueden ser invisibles.
2. **Sin observación** → La observación no es posible debido a las circunstancias.
3. **Diferente** → Se observan las diferencias entre las imágenes.

Por cada rasgo se realiza el proceso de comparación para concluir si las dos imágenes representaban a la misma persona o no. La limitación principal de este método es que el análisis de las imágenes puede ser bastante subjetivo [33].

4.2 SISTEMA DESARROLLADO

Este proyecto se centra en la descripción morfológica de los rasgos faciales de individuos basada en los protocolos de los laboratorios forenses para finalmente generar lo que se conoce como Retrato Hablado que consiste en una descripción verbal de rasgos convertidos a dibujo. El objetivo principal se centra en intentar automatizar la tarea de un experto forense, mediante el uso de técnicas de tratamiento de imágenes y reconocimiento de patrones, por lo que el sistema desarrollado tiene que tener la capacidad de pre-procesar las imágenes con el fin de segmentar los rasgos faciales para su posterior descripción detallada. Además, después de dicha segmentación, cada rasgo será tratado y analizado por separado utilizando distintas técnicas de tratamiento de imágenes con el objetivo de conseguir los detalles de dicho rasgo con la mayor precisión posible. No se extraen sólo los puntos más significativos, sino que se intenta procesar el rasgo en su totalidad.

Una vez conseguidas las imágenes de cada rasgo, se procede a la caracterización morfológica necesaria. La última etapa del sistema se ocupa de la identificación de los sujetos incluidos en las dos bases de datos, dando como resultado final el valor de EER del sistema. El sistema consta de 3 grandes bloques: *i*) pre-procesado de imágenes, *ii*) extracción de características e *iii*) identificación/verificación, representados en la Figura 4.1. Cada uno de dichos bloques serán descritos en detalle en las siguientes secciones.

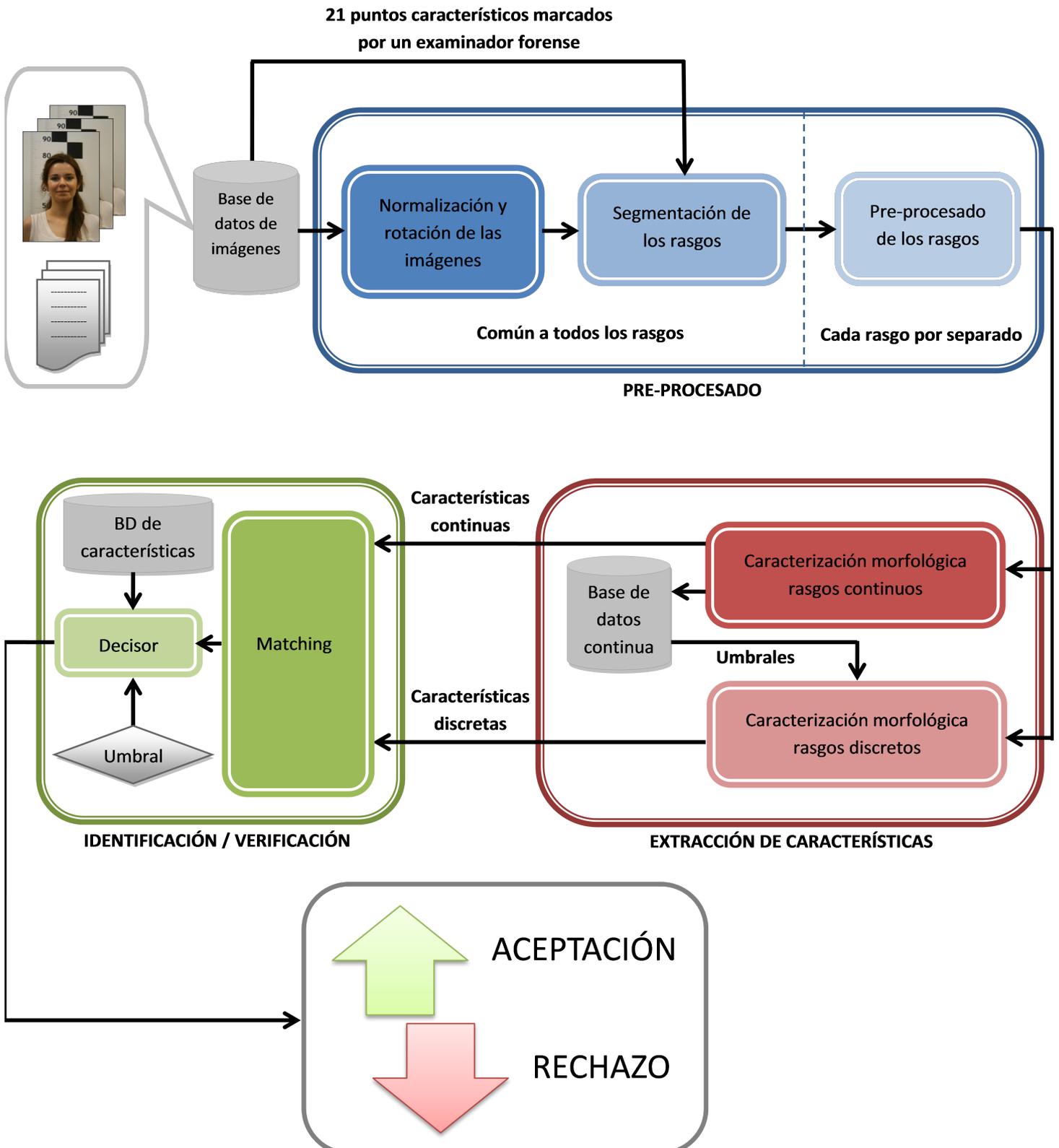


Figura 4.1: Esquema general del sistema desarrollado

4.2.1 Pre-procesado de las imágenes

Los tres primeros bloques del esquema del sistema desarrollado forman parte del pre-procesado de las imágenes necesario para seguir avanzando con el análisis morfológico. La entrada al primer bloque son las imágenes de cada sujeto y los ficheros con las coordenadas de los puntos marcados.

Los dos primeros bloques corresponden al pre-procesado común para todas las imágenes y una vez se haya hecho la segmentación se procede al pre-procesado individual de cada rasgo, explicado posteriormente. El esquema del bloque de pre-procesado común se muestra en la Figura 4.2.

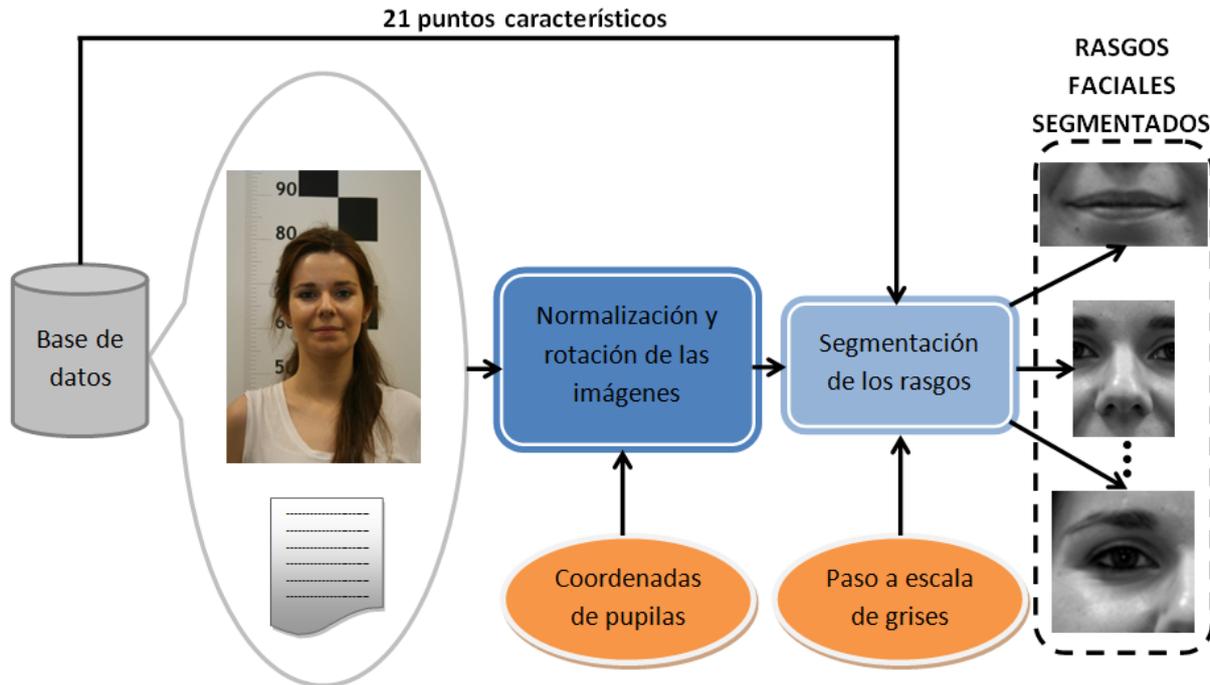


Figura 4.2: Esquema de la fase de pre-procesado común

En la actualidad, el marcado de los puntos característicos puede ser de manera manual, una persona realiza dicho marcado, o de manera automática, es decir, es un programa quien marca dichos puntos. En el mundo forense, el marcado utilizado es el manual, ya que tiene mayor precisión en estos momentos, por lo que en este proyecto se han utilizado las fotos marcadas manualmente.

Antes de empezar con la normalización tenemos que disponer de las coordenadas de las pupilas, suponiendo que el sujeto siempre estará mirando de frente. Por lo tanto, se utilizan los puntos de los extremos de cada ojo para calcular el punto medio de la siguiente manera:

$$Pupila_{derecha_x} = \frac{Extremo_{interior_x} + Extremo_{exterior_x}}{2} \quad (4.1)$$

$$Pupila_{derecha_y} = \frac{Extremo_{interior_y} + Extremo_{exterior_y}}{2} \quad (4.2)$$

$$Pupila_{izquierda_x} = \frac{Extremo_{interior_x} + Extremo_{exterior_x}}{2} \quad (4.3)$$

$$Pupila_{izquierda_y} = \frac{Extremo_{interior_y} + Extremo_{exterior_y}}{2} \quad (4.4)$$

Calculando el centro de los ojos evitamos los casos cuando el sujeto no está mirando al frente y las pupilas no están en el centro de los ojos.

La normalización se basa en el estándar ISO de imágenes [35]. A continuación, en la Tabla 4.2, se muestran las características geométricas que deben tener el tipo de imágenes utilizadas, teniendo en cuenta que el origen de coordenadas se encuentra en la esquina izquierda superior.

Características	Valor
Ancho de la imagen	W
Alto de la imagen	W/0.75
Coordenada Y de los ojos	0.6*W
Coordenada X del ojo derecho	(0.375*W)-1
Coordenada X del ojo izquierdo	(0.625*W)-1
Distancia entre los ojos	0.25*W

Tabla 4.2: Características geométricas de estándar ISO

En este proyecto se ha utilizado el valor de W=300 píxeles, ya que es el más utilizado por la mayoría de sistemas automáticos de marcados de puntos característicos de la cara, asegurando siempre una buena calidad.

La normalización consta de tres partes:

1. Compensación de rotación con transformación afín.
2. Compensación de escalado, es decir, todas las caras deben tener el mismo tamaño y la misma distancia entre las pupilas.
3. Alineamiento.

Debido a este proceso se obtienen todas las imágenes de un mismo tamaño, lo que hace posible la comparación de todos los rostros junto con la información que proporcionan los puntos marcados por el examinador forense. Gracias a esta normalización, las imágenes se preparan para la caracterización morfológica posterior, ya que ahora cuando, por ejemplo, comparemos el tamaño de las cejas de todas las caras, lo haremos en la misma escala pudiendo distinguir entre los diferentes sujetos.

La siguiente parte del pre-procesado es la segmentación de los rasgos, además de pasar las imágenes a escala de grises. En este proyecto se ha utilizado el extractor de rasgos implementado por Luis Blázquez Pérez [36] en su Proyecto Fin de Carrera realizado en el grupo de reconocimiento biométrico ATVS, que ha sido adaptado a las nuevas necesidades, permitiendo la extracción de las regiones de la cara con el fin de ser procesadas adecuadamente. Se ha utilizado un extractor por puntos aprovechando que la entrada del sistema son imágenes de caras con algunos de los puntos marcados.

Para realizar el extractor por puntos, primero se calcula el punto medio de los puntos característicos situados en los extremos de cada rasgo. Desde la coordenada del punto medio calculado anteriormente, se realiza un desplazamiento, tanto en sentido horizontal como en vertical, de un offset (dependiente de la distancia entre pupilas, IPD), distinto para cada rasgo, pero el mismo para todos los usuarios. De esta manera, se consigue que todos los rasgos comunes de los usuarios (por ejemplo, todas las narices)

tengan las mismas dimensiones y estén centradas/alineadas en el punto medio de cada región de interés. Finalmente, se extraen, de la imagen original, cada uno de los rasgos característicos de la cara siguiendo el método descrito.

En la Tabla 4.3, se muestran los offsets (iguales para todos los usuarios para rasgos comunes) obtenidos, en píxeles, para las imágenes normalizadas para la base de datos ATVS.

Rasgos	Offset en el eje horizontal	Offset en el eje vertical
Boca	$2*IPD/3$	$IPD/3$
Cejas	$IPD/2$	$IPD/3$
Frente	$2*IPD$	$IPD/2$
Mentón	IPD	$IPD/2$
Nariz	$2*IPD/4$	IPD
Ojos	$IPD/2$	$IPD/2$
Orejas	$IPD/3$	$IPD/1.7$

Tabla 4.3: Valores de offsets para la segmentación de los rasgos

A continuación, se muestra la Figura 4.3 que representa la segmentación de todos los rasgos mencionados en la Tabla 4.3.



Figura 4.3: Segmentación de la cara

4.2.2 Pre-procesado de los rasgos por separado

Como ya se ha mencionado en el apartado anterior, a parte de segmentar los rasgos es necesario un pre-procesado individual de cada rasgo para obtener todas las características morfológicas con más precisión, representado en la Figura 4.4.

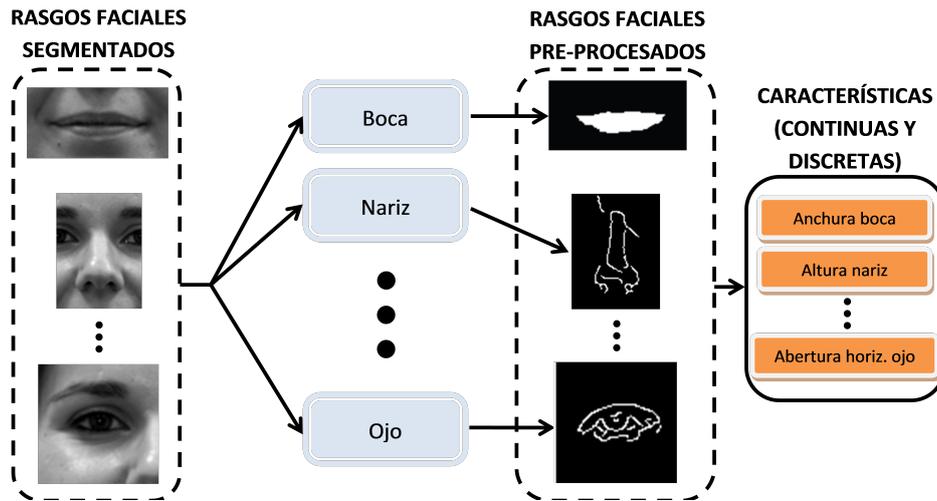


Figura 4.4: Esquema del pre-procesado de los rasgos por separado

Esta etapa del sistema se puede considerar una de las más importantes, ya que de ella depende la precisión con la que se determinarán las características morfológicas de cada sujeto. En este capítulo se describe el proceso de pre-procesado para cada rasgo por separado, ya que en cada caso ha sido distinto.

Las siguientes secciones describen en detalle el pre-procesado de cada una de las regiones faciales consideradas para la extracción de las características propuestas.

4.2.2.1 Frente

El primer paso del pre-procesado de frente es ajustar los niveles de intensidad de gris, ya que de esta forma se consigue una mejora considerable en detección de bordes de dicho rasgo en muchos de los casos estudiados. Se aplica la función de detección de bordes y se procede a la eliminación del ruido que causan otros rasgos de la cara, como pueden ser los ojos, la nariz y las cejas.

Los ojos y las cejas se eliminan aplicando máscaras elípticas tomando como centro el punto medio de los extremos de cada ojo. Los ejes de la elipse se calculan en función de las distancias entre los puntos que marcan los extremos de cada ceja y cada ojo, es decir de la siguiente forma:

$$Distancia_{ceja} = \sqrt{(Extremo_{interior_x} - Extremo_{exterior_x})^2 + (Extremo_{interior_y} - Extremo_{exterior_y})^2} \quad (4.5)$$

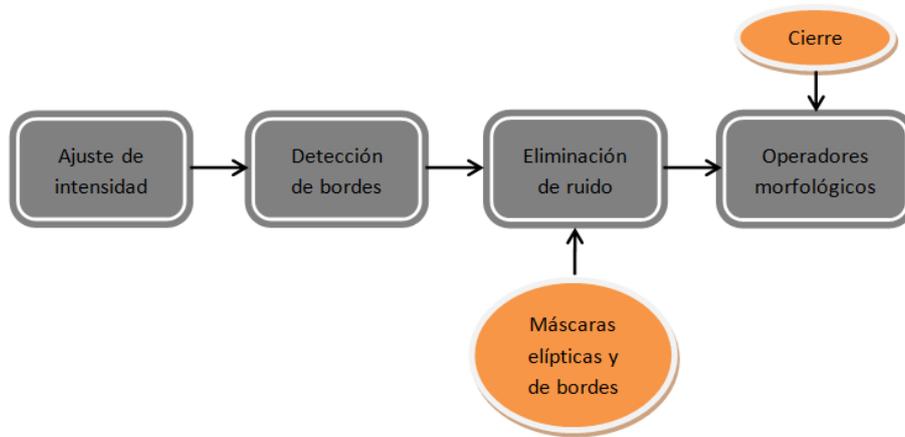
$$Eje_{ceja} = \frac{4 \cdot Distancia_{ceja}}{3} \quad (4.6)$$

$$Distancia_{ojo} = \sqrt{(Extremo_{interior_x} - Extremo_{exterior_x})^2 + (Extremo_{interior_y} - Extremo_{exterior_y})^2} \quad (4.7)$$

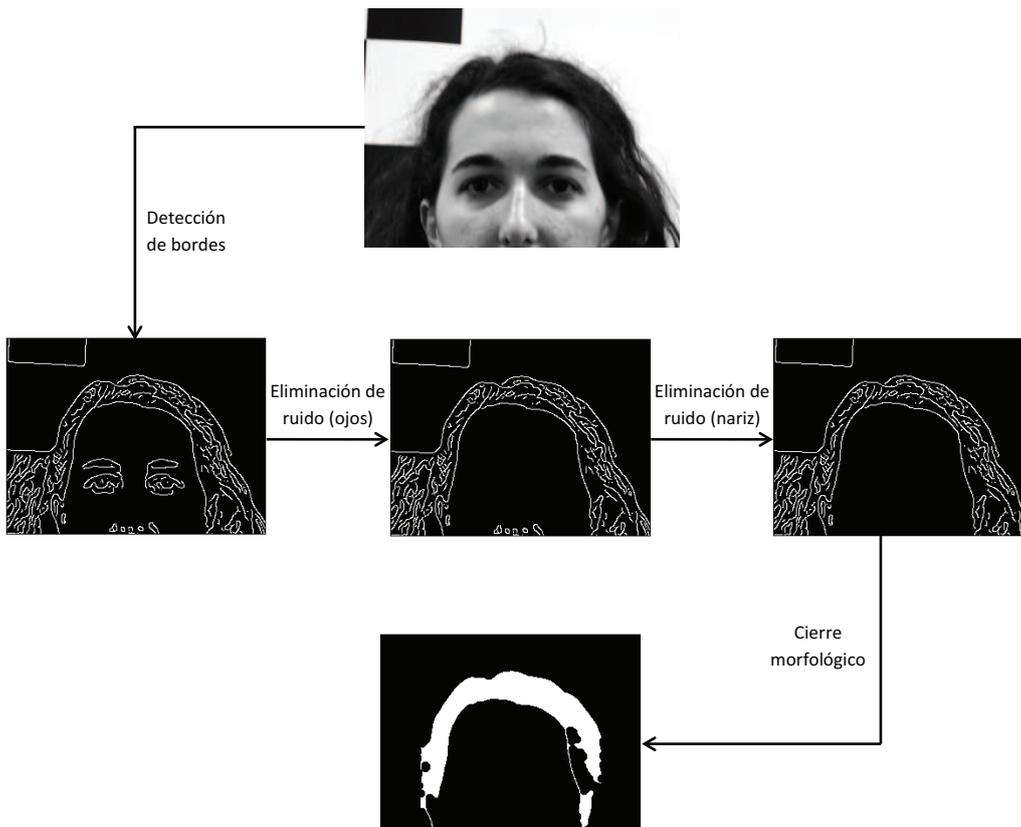
$$Eje_{ojo} = 2 \cdot Distancia_{ojo} \quad (4.8)$$

Para eliminar la nariz se aplica una máscara rectangular y se aplica una máscara de bordes a toda la imagen para eliminar el ruido de fondo. Para mejorar la calidad del rasgo detectado se utilizan las

técnicas de cierre morfológico. El diagrama de bloques que describe dicho proceso se puede observar en la Figura 4.5.



(a) Diagrama de bloques de pre-procesado de la frente

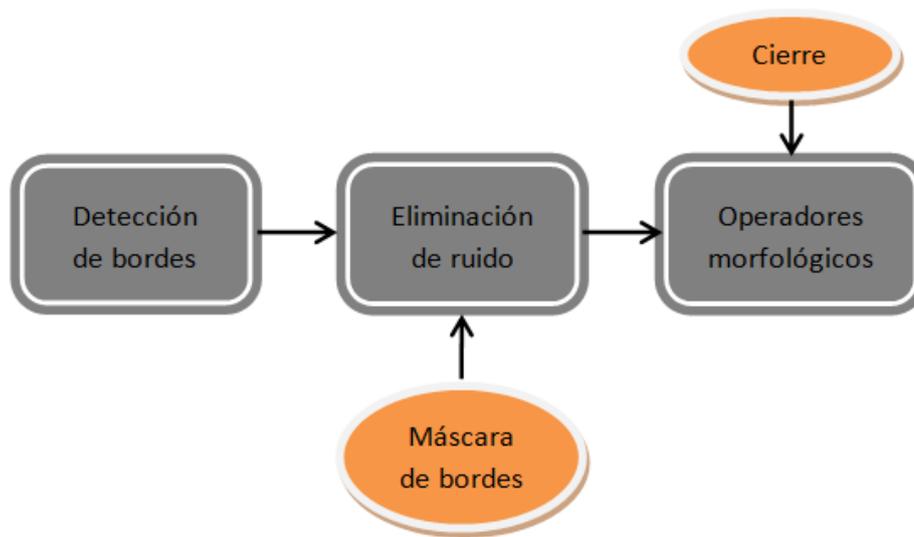


(b) Resultado de pre-procesado de la frente

Figura 4.5: Proceso de pre-procesado de la frente y su resultado

4.2.2.2 Cejas

Una vez segmentadas las cejas se les aplica la función de detección de bordes. El siguiente paso es eliminar el ruido, es decir, los restos de otros elementos de la cara, que pueden aparecer cerca de las cejas. Para ello se aplica la máscara de bordes y una vez terminado este paso se utilizan los operadores morfológicos, en este caso el cierre, para conseguir algunas mejoras. En la Figura 4.6 se puede observar el diagrama de bloques del pre-procesado de las cejas.



(a) Diagrama de bloques de pre-procesado de las cejas



(b) Resultado de pre-procesado de las cejas

Figura 4.6: Proceso de pre-procesado de las cejas y su resultado

4.2.2.3 Párpados y globos oculares

Para el análisis de los párpados y globos oculares se procede a pre-procesar la imagen segmentada del ojo. El proceso del pre-procesado es bastante similar al de los otros rasgos, como por ejemplo la frente, se aplica el ajuste de la intensidad de la escala de grises y la función de detección de los bordes. Para eliminar el ruido producido por los restos de otros rasgos, como por ejemplo las cejas y el pelo, se crea una máscara especial de forma parabólica ajustada a cada sujeto. Para ello se obtienen todos los puntos posibles de la línea inferior de la ceja de cada usuario y se ajusta una parábola en función de la forma de la ceja. De esta forma se consigue eliminar el máximo ruido posible. El resultado de este pre-procesado se puede ver en la Figura 4.7.



Figura 4.7: Resultado de pre-procesado del ojo

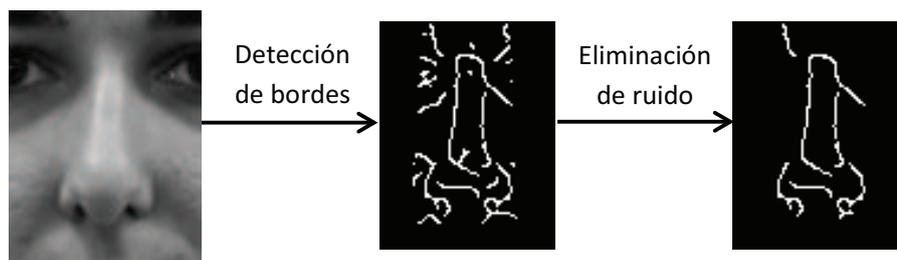
4.2.2.4 Nariz

Para optimizar el pre-procesado de este rasgo y mejorar los resultados de las características morfológicas se han hecho dos segmentaciones. Por un lado se ha segmentado la nariz entera, como ya se ha mencionado anteriormente. Y por otro lado se ha segmentado la raíz de la nariz junto con la parte de los ojos para poder sacar el máximo número de las características morfológicas.

En este caso se han utilizado las técnicas aplicadas en los casos anteriores como la detección de bordes, máscaras para eliminar el ruido y operadores morfológicos. La máscara que se ha utilizado es en forma de trapecio, de esta forma se optimiza la eliminación de ruido. El resultado obtenido puede verse en la Figura 4.8.



(a) Raíz de la nariz



(b) Nariz

Figura 4.8: Resultado de pre-procesado de la raíz de la nariz y la nariz en general

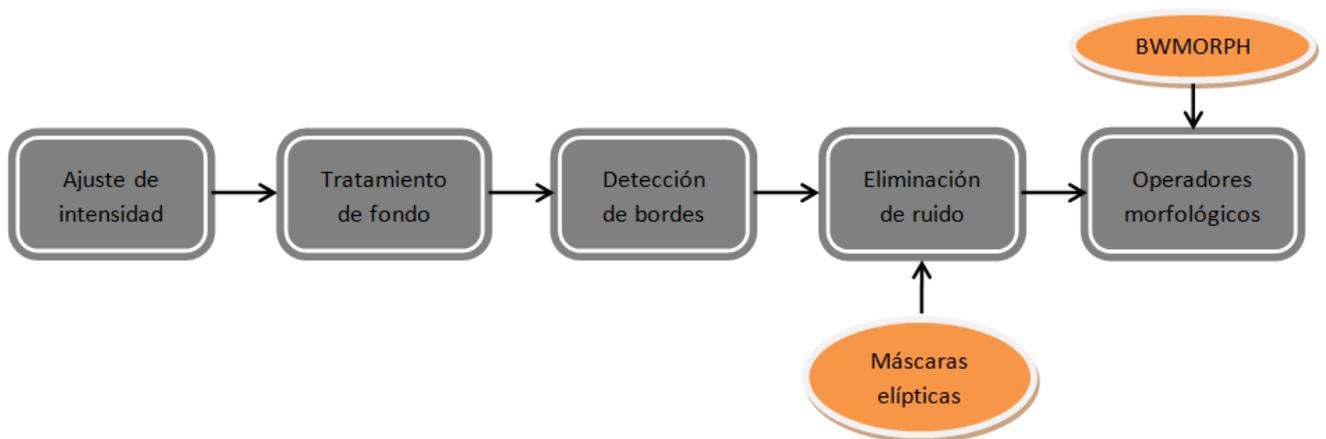
4.2.2.5 Boca

Para conseguir mejores resultados y la boca más definida, el pre-procesado de boca se divide en dos partes: primero se consiguen por separado las imágenes de labio superior e inferior y luego se juntan para analizarlas como un conjunto.

■ **Labio superior**

El proceso de pre-procesado empieza con el ajuste de intensidad de escala de grises con el objetivo de resaltar el labio. Una vez ejecutado este paso nos enfrentamos a una dificultad adicional: la zona cercana al labio superior tiene partes de sombra de la nariz. Por lo que se necesita eliminar la sombra que podría introducir ruido adicional a la imagen. Esto se hace mediante funciones que consiguen suavizar el color del fondo y de esta forma hacerlo uniforme. El siguiente paso es detectar los bordes del labio con las funciones utilizadas en los casos anteriores y las máscaras elípticas. El paso final es la aplicación de algunos operadores morfológicos como eliminación de píxeles sueltos, limpieza y unión de los píxeles separados con la ayuda de la función *bwmorph* de MATLAB.

Otra de las dificultades de la detección de este rasgo son las arrugas y las sombras cerca de las esquinas de la boca que no se han podido eliminar con el tratamiento de color de fondo. Por lo tanto se utiliza un algoritmo especial para eliminar los píxeles que no pertenecen al labio superior. El diagrama de bloques del pre-procesado y su resultado se pueden ver en la siguiente Figura 4.9.



(a) Diagrama de bloques de pre-procesado del labio superior



(b) Resultado del pre-procesado del labio superior

Figura 4.9: Proceso de pre-procesado del labio superior y su resultado

■ **Labio inferior**

El proceso de pre-procesado del labio inferior es bastante parecido al labio superior, es decir, se utilizan las mismas técnicas. Pero se pueden distinguir algunas diferencias:

1. No se aplica el tratamiento de fondo.
2. Se aplican otros rangos para el ajuste de la intensidad.
3. Las máscaras que se utilizan tienen otro tamaño.
4. Se utilizan otros operadores morfológicos, como por ejemplo cierre antes de la etapa de detección de bordes.

El resultado final aparece en la Figura 4.10.



Figura 4.10: Resultado de pre-procesado del labio inferior

El último paso es juntar las dos partes y realizar un rellenado de la forma de los labios, representado en la Figura 4.11.

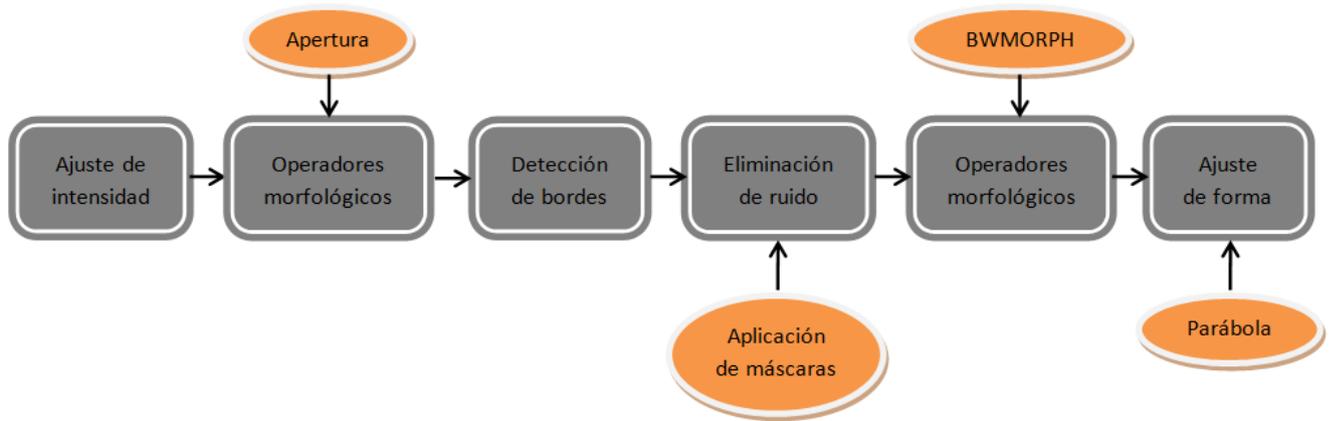


Figura 4.11: Resultado de pre-procesado del labio

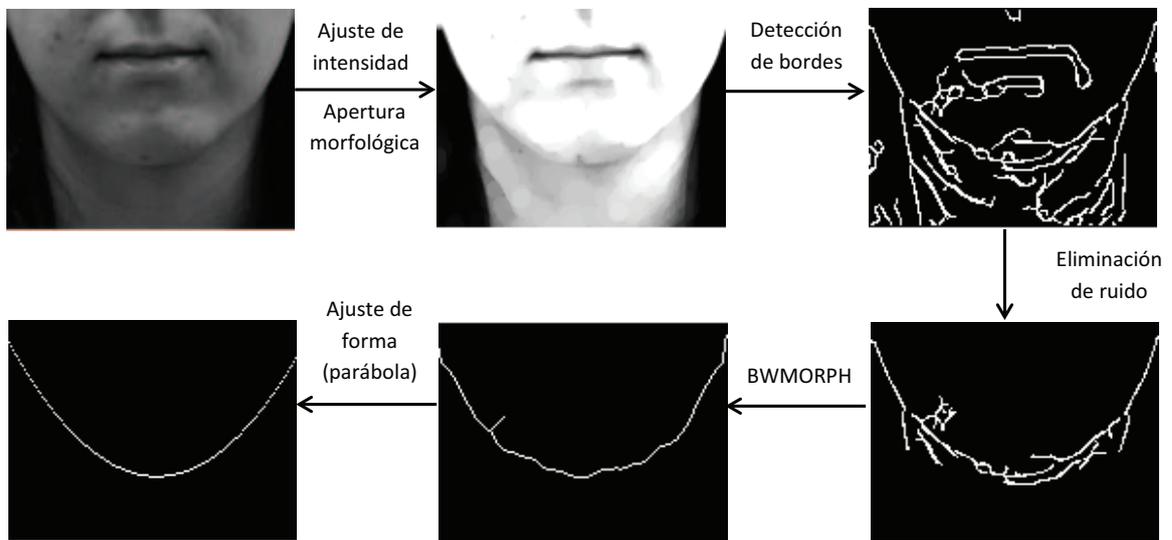
4.2.2.6 Mentón

El proceso de pre-procesado de dicho rasgo empieza con el ajuste de intensidad de escala de grises y la aplicación de la operación morfológica de apertura para distinguir mejor los bordes del mentón. A continuación, se aplica la función de detección de bordes y se aplican las máscaras tanto para la parte superior del mentón como para la zona del cuello. Con estas operaciones conseguimos eliminar los restos de los rasgos como boca o parte de la nariz y cuello. De nuevo se aplican distintas operaciones morfológicas y se procede a la última etapa del pre-procesado. La última etapa del pre-procesado consiste en el ajuste de una parábola a la forma del mentón.

En la Figura 4.12 se puede ver el diagrama de bloques del sistema de pre-procesado de mentón y su resultado final.



(a) Diagrama de bloques de pre-procesado del mentón



(b) Resultado del pre-procesado del mentón

Figura 4.12: Proceso de pre-procesado del mentón y su resultado

4.2.2.7 Pre-procesado para la base de datos MORPH

Para el pre-procesado común para todos los rasgos en la base de datos MORPH, se han utilizado las mismas distancias offset que para la base de datos ATVS, representadas en la Tabla 4.3. Pero para el pre-procesado de los rasgos por separado se han efectuado algunos cambios resumidos en la Tabla 4.4.

Rasgo	ATVS	MORPH
Frente	Ajuste de intensidad Detección de bordes Eliminación de ruido Operadores morfológicos	Se elimina el ajuste de intensidad y cambian las máscaras de ruido
Cejas	Detección de bordes Eliminación de ruido Operadores morfológicos	El proceso es igual
Párpados y globos oculares	Ajuste de intensidad Detección de bordes Eliminación de ruido con la máscara parabólica Operadores morfológicos	El proceso es igual
Nariz	Detección de bordes Eliminación de ruido con la máscara de trapecio Operadores morfológicos	El proceso es igual
Boca	Tratamiento por separado del labio superior e inferior Ajuste de intensidad Ajuste de fondo Detección de bordes y Eliminación de ruido Operadores morfológicos	Se trata la boca entera, sin separación en partes No hay ajuste de intensidad Máscaras de la boca entera
Mentón	Ajuste de intensidad Detección de bordes Eliminación de ruido Operadores morfológicos varias veces Ajuste de forma: parábola	No hay ajuste de intensidad Corrección de la máscara y umbral de ruido

Tabla 4.4: Comparación de pre-procesado entre las bases de datos de ATVS y MORPH

Los ajustes realizados durante el pre-procesado se deben, en su mayoría, a la diferencia entre el tamaño de las imágenes de las dos bases de datos y su resolución. La base de datos MORPH contiene las imágenes de tamaño 200x240 píxeles con la resolución de 96 dpi frente al tamaño de 2592x3888 y resolución de 72 dpi en la base de datos ATVS.

Los rasgos como cejas, nariz, párpados y globos oculares permanecen iguales, sin embargo, el pre-procesado para la frente, boca y mentón ha necesitado algunas modificaciones. En este caso el mentón de la base de datos MORPH es más costoso de ser encontrado debido a la peor calidad de las fotos y la diferencia entre algunos de los factores que afectan al pre-procesado como, por ejemplo, iluminación y pose de los sujetos. Principalmente los cambios necesarios afectan al ajuste de intensidad, las máscaras utilizadas para la eliminación de ruido y los umbrales de ruido utilizados.

4.2.3 Caracterización morfológica de los rasgos faciales

El objetivo principal de este proyecto consiste en realizar un análisis facial morfológico basado en el Retrato Hablado. Como se ha mencionado antes, dichas características describen la **forma**, **magnitud** y **dirección** de los accidentes de la cara. Todas las imágenes utilizadas en este proyecto son frontales, por lo que los rasgos que se tienen que analizar a partir de las fotos laterales se tienen que excluir del estudio.

El punto de partida del análisis morfológico es la identificación y clasificación de las características pertenecientes a cada rasgo. La primera y la más directa división de las características se puede hacer en función de si las características pertenecen a un conjunto *continuo* de datos o *discreto*. Es decir los datos *discretos* tienen un número finito de categorías naturales, mientras que los datos *continuos* pueden tomar un número infinito de valores y no tienen categorías naturales. En la Tabla 4.5 se representan las características faciales obtenidas en función de su pertenencia a un conjunto continuo o discreto.

Rasgo	Continuo	Discreto
Frente	Altura (en píxeles) Anchura (en píxeles)	Altura (pequeña, mediana o grande) Anchura (pequeña, mediana o grande)
Cejas	Situación 1 (Distancia entre las cejas) Situación 2 (Distancia entre la ceja y el ojo) Dimensiones (Longitud de las cejas en píxeles) Dimensiones (Anchura media en píxeles) Ángulos entre los extremos (en grados)	Situación 1 (próximas o separadas) Situación 2 (bajas, altas, medias o asimétricas) Dimensiones (cortas o largas) Dimensiones (lineales, anchas o estrechas) Dirección (oblicuas internas, ob. externas u horizontales) Forma (rectilíneas, arqueadas o sinuosas)
Párpados y globos oculares	Abertura horizontal (en píxeles) Distancia interocular (en píxeles) Ángulos entre los extremos (en grados)	Abertura horizontal (pequeña, media o grande) Distancia interocular (pequeña, normal o grande)
Nariz	Anchura (en píxeles) Altura (en píxeles) Raíz (anchura en píxeles) Altura naso-labial (en píxeles)	Anchura (pequeña, mediana o grande) Altura (pequeña, mediana o grande) Raíz (estrecha, media o ancha)
Boca	Longitud (en píxeles) Anchura (en píxeles) Ángulos entre los extremos (en grados)	Longitud (pequeña, mediana o grande) Particularidad boca-corazón (corazón o ausencia de rasgo) Particularidad comisura (oblicua derecha, ausencia u oblicua izquierda)
Mentón	Anchura (en píxeles) Altura (en píxeles)	Anchura (pequeña o grande) Altura (pequeña, mediana o grande)
Orejas	Longitud (en píxeles) Ángulos entre los extremos (en grados)	
Línea media	Longitud (en píxeles)	

Tabla 4.5: División de rasgos en continuos y discretos

Cabe mencionar que en el sistema implementado, la mayoría de los rasgos discretos se consiguen a partir de los rasgos continuos obtenidos, realizando una conversión detallada más adelante en este capítulo. Sin embargo, la forma de las cejas y la particularidad de la boca en forma de corazón, se han obtenido directamente siguiendo el algoritmo, descrito más adelante en este capítulo, sin necesidad de aplicar ningún tipo de conversión de los datos continuos.

A su vez, se pueden describir las características obtenidas utilizando otra clasificación llamada niveles de medición. La medición puede definirse como la asignación de numerales a objetos o sucesos siguiendo ciertas reglas, llamadas reglas Stevens [37]. En su trabajo, Stevens desarrolló un método para clasificar los diferentes resultados de las mediciones, que llamó niveles de medición. Un nivel de medición es la escala que representa una jerarquía de precisión dentro de la cual una variable puede evaluarse, en función de las características que rigen las escalas.

Para entender mejor el concepto de niveles podemos utilizar un ejemplo práctico: la variable anchura de las cejas. Un conjunto de personas puede clasificarse según la anchura de las cejas que tenga: lineales, estrechas o anchas, creando tres grupos. Para ello no es necesario recurrir a ninguna cinta métrica, simplemente basta observar. El nivel de medición que corresponde a esta forma de medir es *nominal*.

También podemos colocar las caras de los sujetos y ordenarlos según su anchura de cejas, empezando con las más estrechas y acabando con las más anchas. El nivel de medición en este caso es *ordinal*. Hasta el momento no es posible decir cuánto unas cejas son más anchas que otras.

Ahora se pasa a medir la anchura de las cejas para obtener un valor numérico para seguir con la clasificación. En este caso, además del orden se conoce la magnitud de la anchura. Esta forma de medir es propia del *nivel de intervalos*, que permite saber la magnitud de los elementos comparando unos con otros.

La cuarta posibilidad es, además de simplemente medir la anchura con una regla, utilizar un punto de cero absoluto común para todas las cejas, por lo tanto, la anchura se define en función de dicho punto dando lugar al *nivel de razón* o *racional*.

A continuación, se analiza la posibilidad de agrupar las características obtenidas en este proyecto dentro de los cuatro niveles de medición descritos.

1. Nominal

Nivel nominal exige que las categorías sean mutuamente excluyentes entre sí, por lo que no es posible que un mismo valor o sujeto esté en dos grupos a la vez y los sujetos pertenecientes a distintos grupos no tienen ningún tipo de relación entre ellos.

Siguiendo la definición de este nivel las características morfológicas que se analizan en este proyecto se pueden dividir por grupos de rasgos simplemente dándole una etiqueta a los datos. Se definen los siguientes grupos de rasgos con sus respectivas características:

- Frente (altura, anchura)
- Cejas (situación, dirección, separación)
- Párpados y globos oculares (abertura, distancia interocular)
- Nariz (altura, anchura)
- Boca (longitud, anchura)
- Mentón (altura, anchura)
- Orejas (longitud)
- Línea media de la cara (longitud)

La comparación de estos grupos entre sí no tiene mucho sentido, ya que la comparación, por ejemplo, de las longitudes de las orejas con la anchura del mentón no nos da ninguna información sobre el aspecto de la persona.

2. Ordinal

El nivel ordinal describe las variables a lo largo de un continuo sobre el que se pueden ordenar los valores. En este caso las variables no sólo se asignan a grupos sino que además, pueden establecerse relaciones de “mayor que”, “menor que” o “igual que”, entre los elementos. Por ejemplo, se

pueden ordenar los elementos pertenecientes al conjunto de bocas de los sujetos en función de su longitud.

En esta clasificación, los números asignados a los objetos representan el orden o rango de las entidades medidas. Las operaciones aritméticas como la sustracción o la adición no tienen sentido en este tipo de variables ya que no nos aportan ninguna información adicional.

Siguiendo la definición de los rasgos ordinales, todas las características analizadas en este proyecto se pueden clasificar a nivel ordinal, ya que se pueden hacer comparaciones entre ellas siempre y cuando comparemos las mismas características del mismo rasgo. Es decir, no tiene mucho sentido comparar el ángulo de inclinación de los ojos con el ángulo de la inclinación de las orejas. Todos los rasgos pertenecientes al nivel ordinal están representados en la Tabla 4.5.

3. Nivel de intervalos

Este nivel integra las variables que pueden establecer intervalos iguales entre sus valores. Las variables del nivel de intervalos permiten determinar la diferencia entre puntos a lo largo del mismo continuo. Además, en este tipo de medida, los números asignados a los objetos tienen todas las características de las medidas ordinales, y las diferencias entre medidas representan intervalos equivalentes. Es decir, las diferencias entre un par arbitrario de medidas puede compararse de manera significativa. Las variables medidas al nivel de intervalo se llaman variables de intervalo o variables de escala.

Aplicando la definición de nivel de intervalos podemos clasificar las características obtenidas de la siguiente forma (Tabla 4.6):

Rasgo	Intervalar	No Intervalar
Frente	Altura Anchura	
Cejas	Situación Dimensiones	Forma (arqueadas, rectilíneas o sinuosas) Dirección (horizontales, oblicuas internas o externas)
Párpados y globos oculares	Abertura horizontal Distancia interocular Ángulos entre los extremos	
Nariz	Anchura Altura Raíz Altura naso-labial	
Boca	Longitud Anchura	Particularidad boca-corazón Particularidad comisura
Mentón	Anchura Altura	
Orejas	Longitud Ángulos entre los extremos	
Línea media	Longitud	

Tabla 4.6: División de rasgos a nivel de intervalos

Las características como la dirección de las cejas, que puede ser horizontal, oblicua externa u oblicua interna, no se puede medir a nivel de intervalos. Además, la dirección de una ceja no puede ser más oblicua externa que otra. Y lo mismo pasa con la forma de las cejas, que puede ser arqueada, rectilínea o sinuosa. Las particularidades de la boca que contienen las características como comisura oblicua derecha, comisura oblicua izquierda o corazón tampoco pueden medirse según los intervalos, ya que la forma de la boca puede ser en corazón pero no tiene sentido que sea más corazón que otra. Por lo tanto, todas estas características se han asignado a la columna “no intervalar” dentro de la tabla.

4. Nivel de razón

El nivel de razón integra aquellas variables con intervalos iguales que pueden situar un cero absoluto que no puede ser arbitrario. Estas variables nombran orden, presentan intervalos iguales y el cero significa ausencia de la característica.

Es importante mencionar que los rasgos que no pertenecen al nivel de intervalo no pueden pertenecer al nivel de razón, ya que se trata de un sistema de clasificación jerárquico. Por lo que nos queda ver si las características intervalares pertenecen también al nivel de razón. Todas las características intervalares de la Tabla 4.6 se pueden medir con razón a un cero absoluto por lo que también pertenecen al nivel de razón. Además, todas ellas son medidas físicas, es decir, tiene sentido decir que las cejas de un sujeto son el doble de anchas que del otro, igual que comparar su longitud o cualquier medida física de otros rasgos.

4.2.4 Extracción de características

Para analizar todas las características de cada rasgo se ha seguido el manual de Retrato Hablado de la Dirección General de la Guardia Civil [32], donde se detallan los protocolos para la comparación de los rasgos morfológicos de un rostro humano.

Como se ha mencionado en el apartado anterior las medidas obtenidas se pueden dividir en dos grupos: valores continuos y valores discretos. Los valores continuos se miden en píxeles de las imágenes utilizadas en el proyecto. En cambio, los valores discretos han de obtenerse a través de los valores continuos, para ellos se establecen umbrales sobre dichas características de forma que podamos realizar la conversión de las mismas, por ejemplo, la longitud de la boca puede ser traducida a pequeña, mediana o larga. El proceso de conversión seguido, se puede observar en la Figura 4.13 y se explica más adelante en este capítulo.

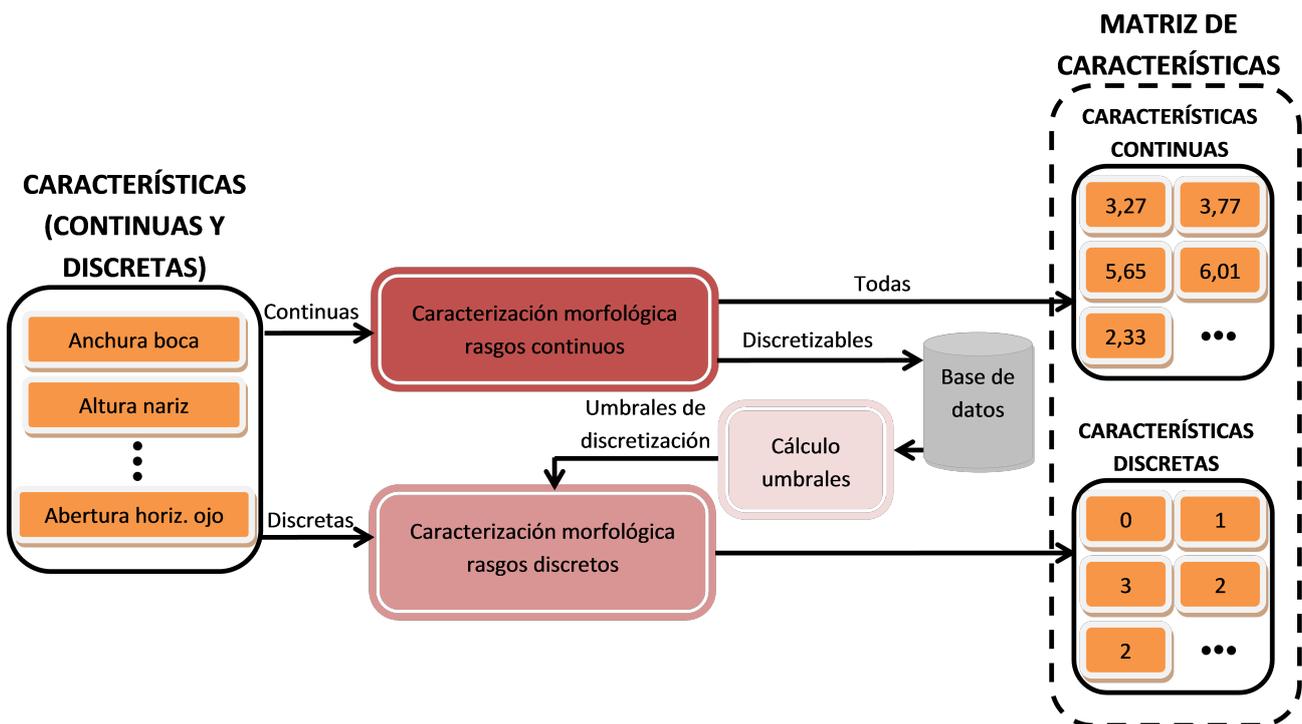


Figura 4.13: Extracción de características y conversión a los rasgos discretos

Para establecer los umbrales se hace un estudio de medidas para cada rasgo, es decir, se utiliza un conjunto de usuarios seleccionados de cada base de datos. La Tabla 4.7 muestra la cantidad proporcional de mujeres y hombres escogidos dentro del conjunto de todos los usuarios. Es conveniente recordar que en cada base de datos hay varias imágenes por usuario, 8 en caso de ATVS y 6 en caso de MORPH. Como puede observarse se ha intentado balancear la selección en cuanto a sexo y cantidad, cogiendo tan sólo el 40% de ATVS y 33% de MORPH de los usuarios totales. El porcentaje de los usuarios escogidos es un parámetro digno de estudio, que debemos considerar para trabajo futuro, pudiendo variar el número de usuarios para entrenar los umbrales, que a su vez modificará las características discretas y por lo tanto su precisión.

Base de datos	Nº hombres	Nº mujeres	Total	Porcentaje
ATVS Forensic	12	6	18	40%
MORPH	21	21	42	33%

Tabla 4.7: Cantidad de sujetos seleccionados para el entrenamiento de los umbrales en la conversión de características continuas a discretas.

El siguiente paso es la representación de forma gráfica de todos los valores continuos para cada característica, que permite visualizar el conjunto de los valores obtenidos. Una vez se haya hecho el histograma, se procede al establecimiento de los umbrales convenientes para cada caso, dependiendo de la cantidad y propiedades de los valores discretos que pueden tomar las características. El ejemplo del proceso de la conversión seguido se puede observar en la Figura 4.14.

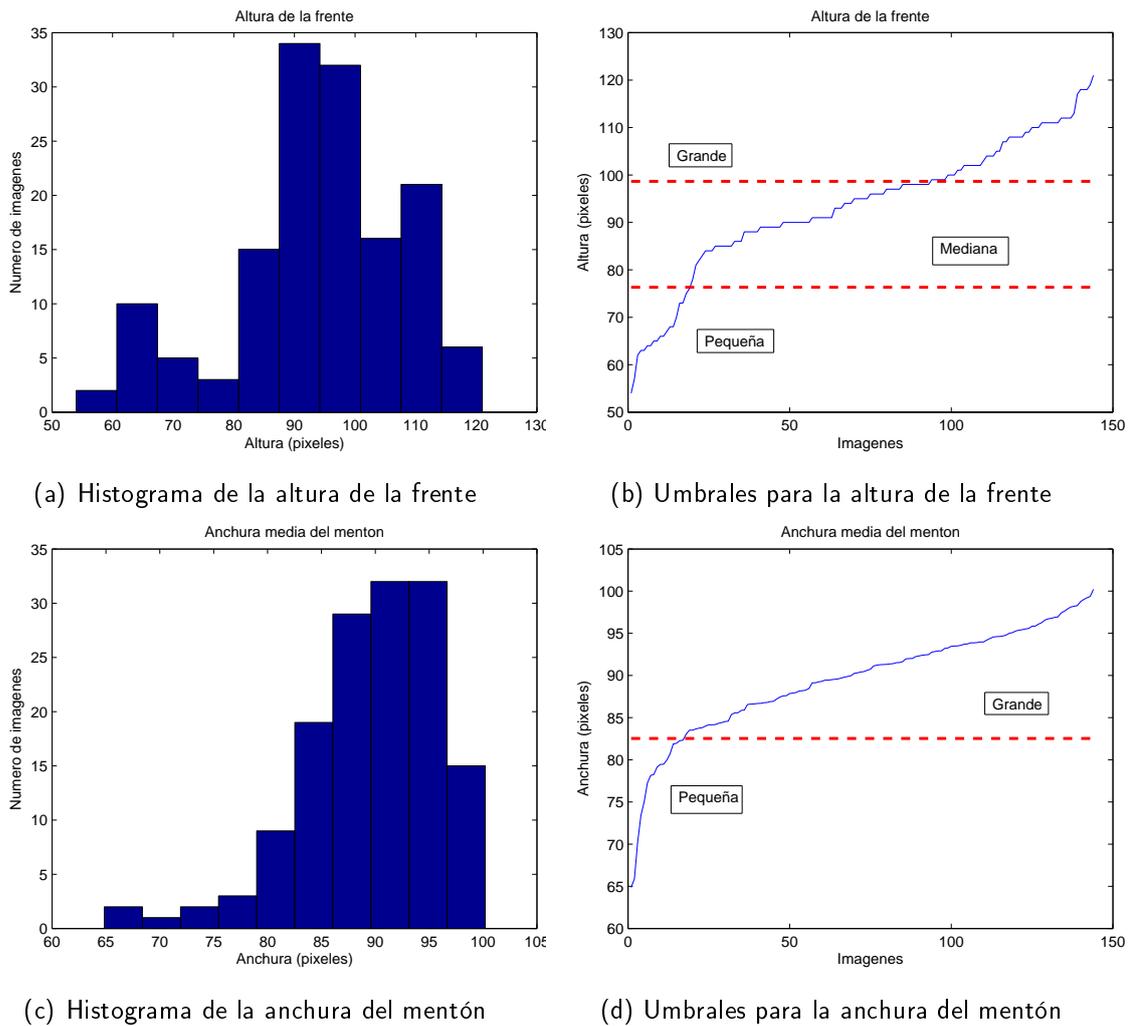


Figura 4.14: Determinación de los umbrales

En este caso la altura de la frente tiene tres posibles opciones: *pequeño*, *mediano* o *grande*, por lo que los valores continuos obtenidos del grupo de las imágenes seleccionadas han de dividirse en 3 grupos con la necesidad de se establecer 2 umbrales. A cada grupo se le asigna un valor numérico en orden creciente (1, 2, 3, etc.):

- Pequeña → 1
- Mediana → 2
- Grande → 3

Hay rasgos como por ejemplo boca en forma de corazón, en los que sólo hay dos posibilidades:

- Presencia del rasgo → 1
- Ausencia del rasgo → 2

La conversión de todas las características se ha hecho según el orden de los valores discretos de la Tabla 4.5, es decir, el orden de las características discretas en la tabla sigue el orden numérico creciente como por ejemplo para la forma de las cejas tenemos:

- Rectilíneas → 1
- Arqueadas → 2
- Sinuosas → 3

A continuación se va a detallar el proceso de extracción de las características para cada uno de los rasgos. La definición que aparece enmarcada para la mayoría de las características representa la definición exacta extraída del documento que describe el Retrato Hablado de la Dirección General de la Guardia Civil Española.

4.2.4.1 Frente

1. Altura

La altura se considera la posición existente entre la raíz de la nariz y la línea de comienzo del cabello

Para obtener las medidas se toma como inicio el punto de la raíz de la nariz, que está situado en el punto medio entre las pupilas de los ojos. El punto final puede variar dependiendo de los distintos peinados que puede llevar el sujeto. Además, la presencia de flequillo que tapa la frente, sobre todo en los sujetos de sexo femenino, puede empeorar las medidas. Por lo tanto, se decide aplicar una regla de proporciones representada en la Figura 4.15. La altura facial se divide en tres partes iguales, el primer tercio va desde el trichion (TR) a la glabella (G), el tercio medio desde la glabella al punto subnasal (SN) y desde este punto al mentón, que se corresponde con el tercio inferior de la cara. De acuerdo a estas proporciones, se decide que el punto final de la altura de la frente se encuentra en la línea de trichion.

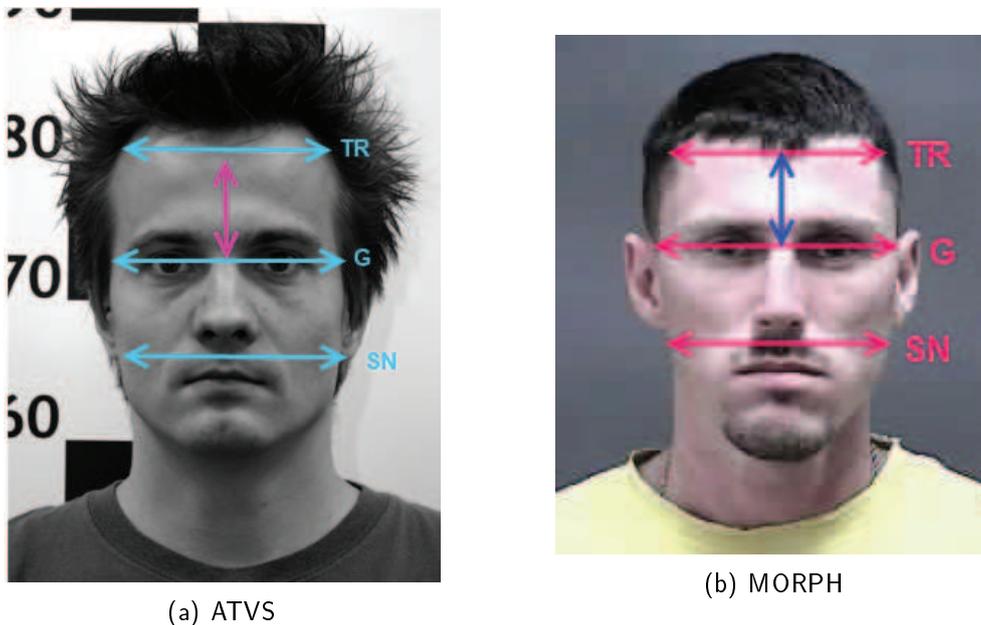


Figura 4.15: Proporciones de la altura de la cara para las bases de datos ATVS y MORPH

Para este proyecto se ha considerado, que el rasgo de la altura de la frente pertenece al conjunto continuo, como la distancia medida en píxeles, y a su vez al conjunto discreto con tres posibles valores.

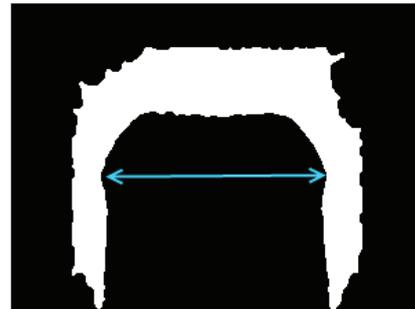
2. Anchura

La anchura se determina sobre las paredes laterales del frontal y unos tres centímetros sobre las cejas

El algoritmo que se ha implementado consiste en identificar el punto de origen que se busca en la zona de la frente. Para la coordenada en el eje de ordenadas, la zona de la frente se divide en tres partes iguales y el punto se sitúa subiendo dos tercios de esta distancia desde las cejas. Para la coordenada en el eje de abscisas se coge el punto medio entre las pupilas y una vez detectado el punto de origen, se hace el recorrido a la derecha e izquierda hasta llegar al comienzo del cabello. La distancia que se toma como la anchura de la frente se puede observar en la Figura 4.16.



(a) Imagen en blanco y negro



(b) Imagen pre-procesada.

Figura 4.16: Anchura de la frente

Una de las principales dificultades es el flequillo que puede cubrir una mitad de la frente, en estos casos lo que se hace es que se comparan las dos mitades obtenidas y si una de las dos está por debajo del umbral mínimo, se multiplica la mitad válida. En el caso contrario se suman las dos mitades. Igual que en el caso de la altura, la anchura de la frente pertenece a la vez al conjunto continuo y discreto.

4.2.4.2 Cejas

1. Situación

Las cejas por su situación pueden ser próximas o separadas y altas, bajas, medias o asimétricas

Por la definición proporcionada por el Retrato Hablado, la situación puede dividirse en dos grupos:

- Proximidad entre las cejas: próximas o separadas.
- Altura entre la ceja y el ojo: altas, bajas, medias o asimétricas.

La separación se calcula como la distancia entre las cabezas de las cejas que vienen marcadas por los puntos.

Y para obtener la altura de las cejas se calcula la distancia desde los extremos de cada ojo hasta la línea inferior de la ceja (Figura 4.17).

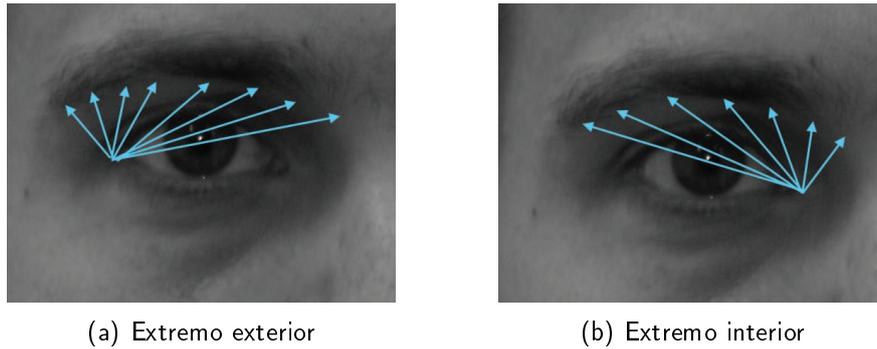


Figura 4.17: Altura de las cejas

Una vez obtenidas estas dos distancias se calcula la media para cada extremo y finalmente la media común. Se han incluido varios valores numéricos a la matriz final de las características, incluyendo la proximidad y la altura a la vez en el conjunto continuo y discreto.

2. Dirección

Según su dirección las cejas pueden ser horizontales, oblicuas internas u oblicuas externas

Las cejas oblicuas internas tienen la cabeza, o extremo interior, más baja que la cola, o extremo exterior, y las externas, al revés. Las cejas horizontales tienen la cabeza y la cola a la misma altura, por lo que para caracterizar las cejas se calcula el ángulo entre la cola y la cabeza de las cejas representados en la Figura 4.18.

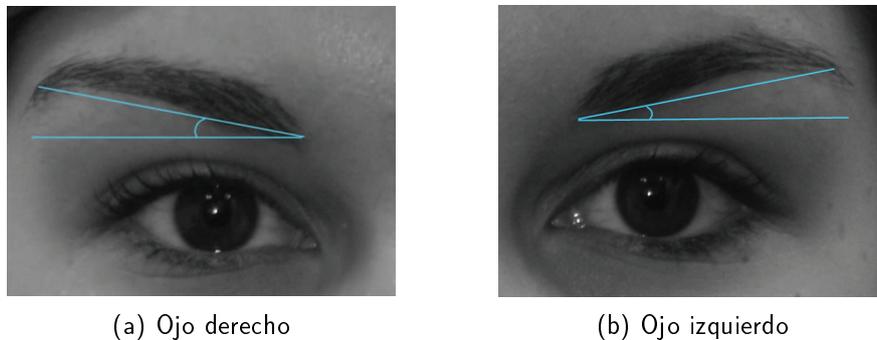


Figura 4.18: Dirección de las cejas

En este caso la dirección sólo pertenece a los rasgos discretos que se traducen en números.

3. Forma

Se clasifican las cejas, por su forma, en arqueadas, rectilíneas y sinuosas, según la línea de su trazado

En este caso, para caracterizar la forma, se ha decidido dividir la ceja en 3 tramos a lo largo de su longitud y se ha buscado el punto más alto de la ceja. Si se superaba un umbral establecido las cejas pasaban a ser arqueadas o sinuosas en función de la ubicación del punto más alto, en el caso contrario se clasificaban como cejas rectilíneas. En la Figura 4.19 tenemos ejemplos de las cejas presentes en la base de datos ATVS y MORPH. Como en el caso de la dirección, la forma sólo forma parte del conjunto discreto de los datos.

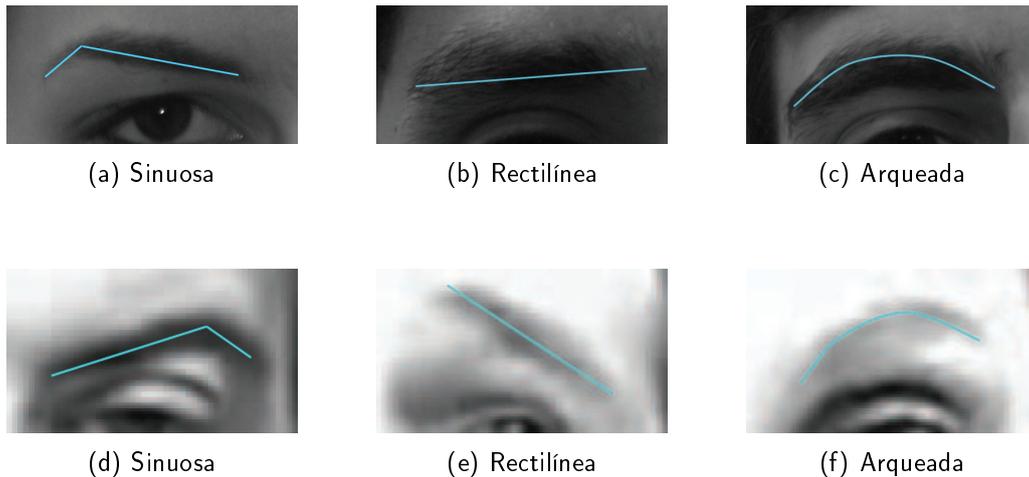


Figura 4.19: Forma de las cejas extraídas de las bases de datos ATVS (a), (b), (c) MORPH (d), (e), (f)

Se puede observar las diferencias existentes entre las dos bases de datos en cuanto a calidad, resolución e iluminación que afectan al proceso de procesamiento de las imágenes y análisis de las características obtenidas.

4. Dimensiones

Atendiendo a las dimensiones las cejas son cortas o largas y lineales, estrechas o anchas

Como en el caso de la situación de la ceja por las dimensiones se puede dividir en dos grupos:

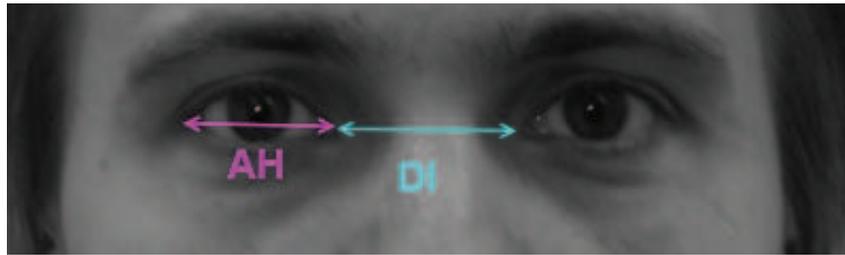
- Longitud: cortas o largas
- Anchura: lineales, estrechas o anchas

La longitud se obtiene con los puntos marcados en las imágenes. Y la anchura se obtiene calculando la distancia entre el borde inferior y superior de la ceja en todos los puntos a lo largo de ésta, y calculando la media de todas las distancias calculadas.

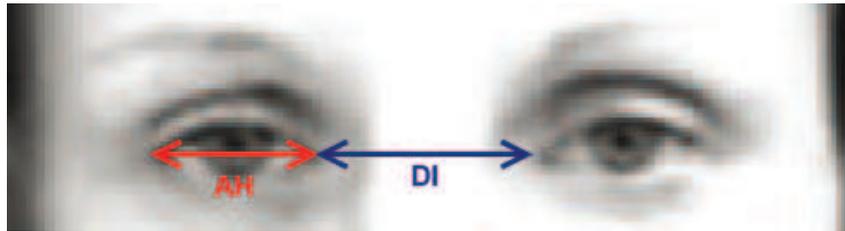
En este caso, la característica forma parte tanto del conjunto continuo, como del discreto.

4.2.4.3 Párpados y globos oculares

Tratándose de los párpados y globos oculares se han obtenido las características como la abertura horizontal de los ojos y la distancia interocular representados en la Figura 4.20.



(a) ATVS



(b) MORPH

Figura 4.20: Características de los párpados y globos oculares de las bases de datos ATVS y MORPH

1. Abertura horizontal (AH)

La abertura horizontal será grande si los ángulos de cada párpado están muy separados y pequeña si están próximos

En este caso se calcula la distancia entre los dos puntos que marcan los extremos de los ojos. En este caso el rasgo es continuo y ,además, se hace la conversión numérica para obtener su equivalente discreta.

2. Distancia interocular (DI)

Es la separación existente entre los ángulos internos de ambos ojos

Puede ser grande, pequeña y normal. Como en el caso anterior, este rasgo tiene un valor continuo, que expresa la distancia en píxeles y por el otro lado tiene los valores discretos en función del grupo al que pertenece.

3. Ángulo entre los extremos

Además, se ha obtenido otra característica continua, que expresa los ángulos entre los extremos de cada ojo, obtenidos mediante los puntos marcados en cada imagen.

4.2.4.4 Nariz

Para el rasgo de la nariz se extraen varias medidas, como anchura entre las aletas, altura y anchura de la raíz, como de puede observar en la Figura 4.21.

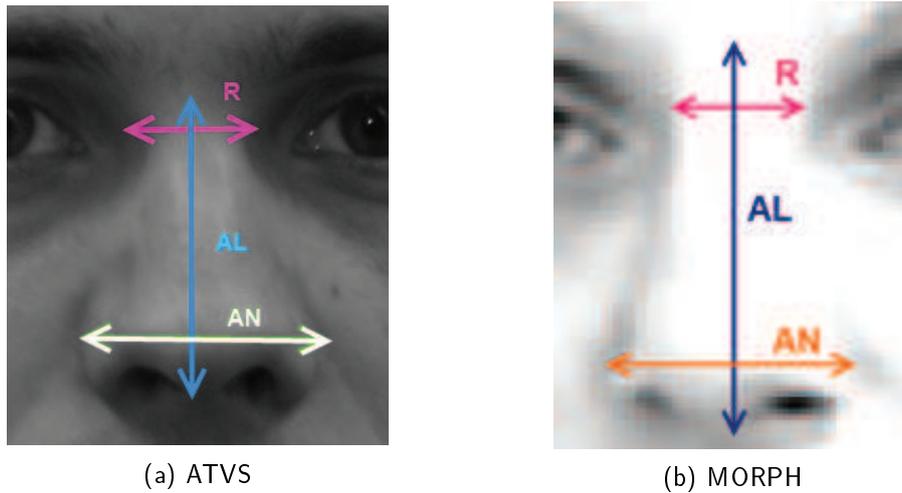


Figura 4.21: Características de la nariz extraídas de las bases de datos ATVS y MORPH

1. Anchura (AN)

Es la separación existente entre las partes más salientes de las aletas, en sentido transversal

La anchura puede ser pequeña, mediana o grande en función de la distancia. Para la matriz final de características se ha considerado dicho rasgo tanto continuo como discreto.

2. Altura (AL)

Es la recta que une el punto más profundo de la raíz con el más bajo del tabique nasal

La altura puede ser pequeña, mediana o grande en función de la distancia. Para la matriz final de características se ha considerado dicho rasgo tanto continuo como discreto.

3. Raíz (R)

Es la parte generalmente hundida que enlaza la nariz con la frente

La raíz está situada inmediatamente debajo de la zona interciliar. Para dicho rasgo sólo se ha considerado su anchura, ya que es la única característica que puede obtenerse de las imágenes frontales. La raíz puede ser ancha o estrecha, según la separación entre las órbitas de los ojos. Se ha considerado este rasgo tanto continuo, la distancia, como discreto, ancha o estrecha.

4. Altura naso-labial

Es la distancia que media entre la base del tabique nasal y la abertura de la boca, estando cerrada

En este caso se mide la distancia tal y como se define en el documento del Retrato Hablado, calculando la distancia entre el tabique nasal y la abertura de la boca en estado cerrado.

4.2.4.5 Boca

1. Anchura

En este caso el Retrato Hablado no considera como tal la anchura de la boca como una característica. Se pueden mencionar dos características morfológicas similares como borde y grosor pero dado a las pequeñas diferencias en su definición para este proyecto se decide obtener la característica de anchura de la boca.

Se obtiene la anchura media de los labios según las distancias obtenidas por toda la boca como se muestra en la Figura 4.22. Se considera que es un rasgo continuo y discreto, ya que a parte de las distancias obtenidas, la anchura puede ser pequeña, mediana o grande.



Figura 4.22: Anchura de la boca extraída de las bases de datos ATVS y MORPH

2. Longitud

Es la dimensión de la boca en sentido horizontal

Para el cálculo de la distancia de la boca en sentido horizontal se han utilizado los puntos marcados, que definen los extremos de la boca en todas las imágenes. Según el protocolo de la Guardia Civil se toma como la boca media, la de 5 centímetros aproximadamente, la de 4 es pequeña, y la de 6, grande. Sin embargo, dentro del Retrato Hablado proporcionado para este proyecto, para la clasificación de la boca en distintos grupos, normalmente no se realiza la medición exacta del rasgo, sino que la evaluación se hace por simple apreciación. En el caso de este proyecto se han obtenido los umbrales para discretizar el rasgo como en los demás casos. Con la discretización realizada, se ha conseguido incluir la longitud, a parte del conjunto continuo, al conjunto discreto.

3. Ángulo entre los extremos

Se ha obtenido el ángulo entre los extremos de la boca y con su ayuda se ha podido caracterizar una de las particularidades de la comisura de la boca que puede ser oblicua derecha u oblicua izquierda. Es decir, cuando un lado de la boca está más bajo que el otro. Los ángulos son la característica continua, mientras que los tipos de comisuras que se obtienen serán discretas. Además, cabe mencionar que los ángulos como tal, no forman parte de la lista de las características del Retrato Hablado, pero se ha decidido añadirlos a la matriz de este proyecto con el objetivo de ver el impacto que puede tener. Puede darse el caso en que el sujeto tenga los dos lados a la misma altura, por lo que se le asigna el valor nulo para este rasgo.

4. Particularidades: Boca en Corazón

Si las líneas limitantes de los labios recuerdan la forma de corazón

Para conseguir detectar dicha forma lo que se hace es que se coge la parte central de la boca. Se buscan los puntos más altos y los puntos más bajos y se compara su ubicación. Si el punto más

bajo está entre los puntos más altos y, además, se supera un umbral establecido de distancia, se considera que la boca tiene la forma de corazón, tal y como se representa en la Figura 4.23.



Figura 4.23: Boca en forma de corazón de las bases de datos ATVS y MORPH

Para comprobar los resultados de la detección de dicho rasgo se ha necesitado un examen visual después de la detección hasta conseguir los umbrales adecuados para dicha forma de la boca. En este caso, la particularidad sólo pertenece al conjunto discreto.

4.2.4.6 Mentón

1. Altura

Es la distancia desde el surco supramentoniano al plano horizontal colocado en la base del mentón

En este caso, dado que las fotos son frontales, la longitud se mide entre el punto central de la boca hasta el punto situado en la base del mentón en la misma recta vertical que el punto inicial.

En la matriz final de características se incluye el valor de la distancia, además del valor discreto de cada imagen, dado que la altura del mentón puede ser pequeña, mediana o grande.

2. Anchura

Según el Retrato Hablado el mentón puede ser pequeño o grande, mirando de frente. Para este proyecto lo que se ha hecho es recorrer la parte de la cara desde la línea horizontal que forman los lóbulos de las orejas hasta la base del mentón midiendo las distancias. Al final se obtiene la distancia media que describe la anchura. Se puede observar el procedimiento aplicado en la Figura 4.24.

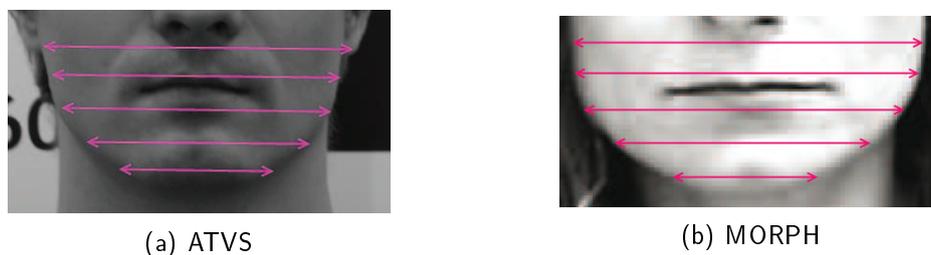


Figura 4.24: Anchura del mentón de las bases de datos ATVS y MORPH

Se ha considerado tanto la anchura obtenida en píxeles, que pertenece al conjunto continuo, como sus descripciones cualitativas pertenecientes al conjunto discreto.

4.2.4.7 Oreas

Dentro de los protocolos de los sistemas forenses las orejas se pueden describir en función de sus partes como helix, lóbulo, trago, etc. En este proyecto lo que se analiza son las imágenes frontales por lo que conseguir la descripción de dichos rasgos es imposible. Pero se ha decidido obtener la longitud de las orejas y los ángulos que forman los extremos utilizando los puntos marcados.

1. Longitud y ángulo

Como se ha mencionado anteriormente, se utilizan los puntos marcados en el extremo superior e inferior de cada oreja en las imágenes, por lo que simplemente se calcula la distancia y el ángulo que se forma entre estos dos puntos. En este caso no se discretiza ninguna característica, ya que el protocolo no especifica ninguna división cualitativa.

4.2.4.8 Línea media

La línea media corre empezando en la línea del pelo a través del centro de la cara y el arco de cupido del labio, dividiéndolo en dos partes. Para conseguir la distancia de dicha línea se utilizan los segmentos de la frente ya analizados. En algunos casos, debido a las dificultades que presenta el pelo, se calcula la distancia según la simetría facial. Es decir, se considera que la línea media es $3/4$ de la distancia entre el punto de la base del mentón y el punto más alto de la cabeza, representada en la Figura 4.25. Como en el caso de las orejas, no hay ninguna división en cualidades dentro del Retrato Hablado para una posible discretización, por lo dicho rasgo sólo se asigna al conjunto continuo.

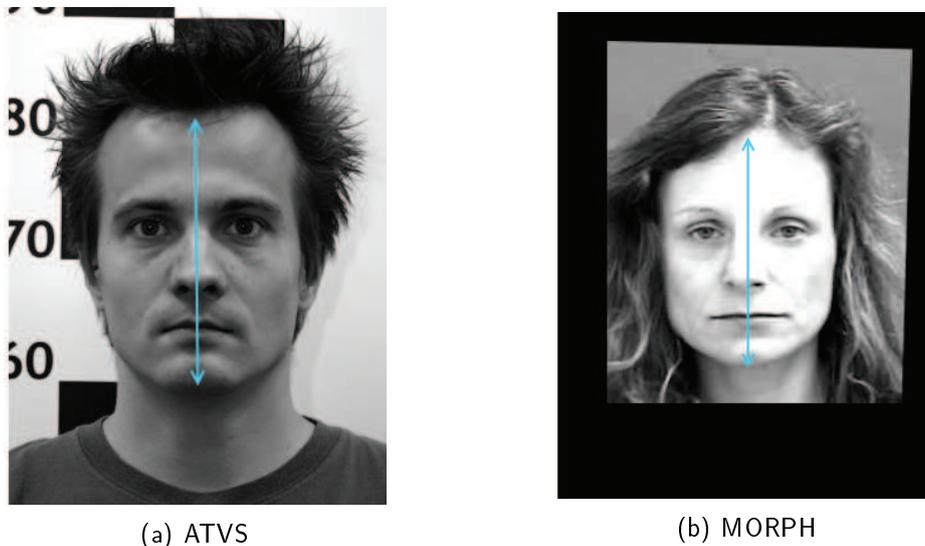


Figura 4.25: Línea media extraída de las bases de datos ATVS y MORPH

4.2.5 Identificación/Verificación

La última parte del sistema implementado incluye la parte de la *Identificación/Verificación* de los sujetos de las dos bases de datos. Previamente, las bases de datos se dividen en conjuntos de entrenamiento y prueba y para cada usuario, del conjunto de entrenamiento y prueba se genera un modelo matemático, que está compuesto por un vector de 55 características obtenidas.

El esquema de la última etapa se puede observar en la Figura 4.26.

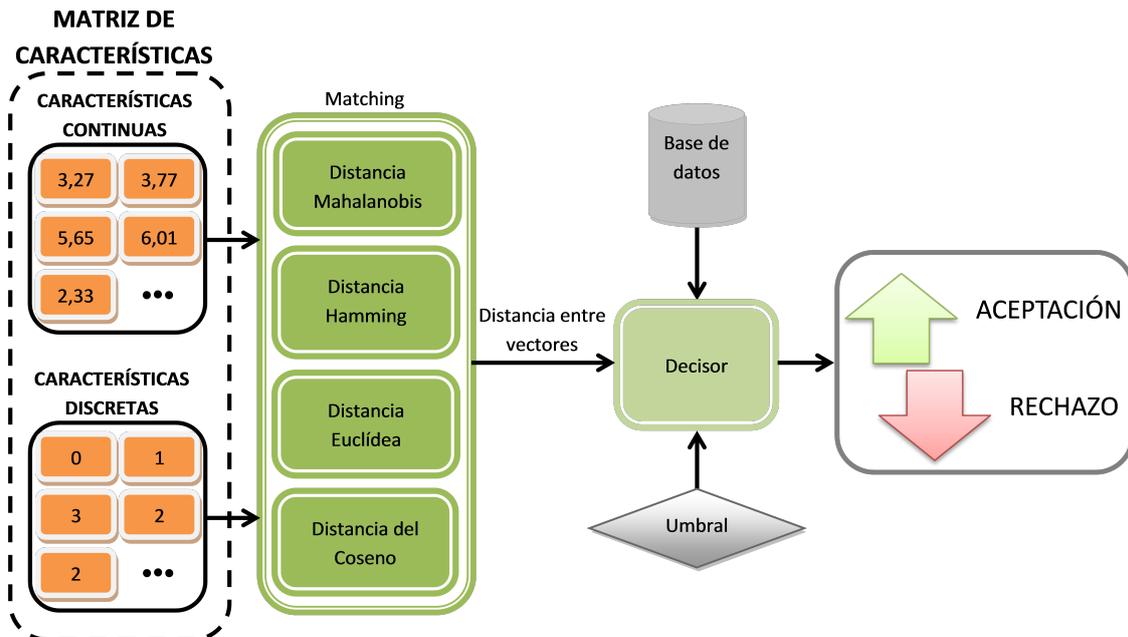


Figura 4.26: Etapa de Identificación/Verificación

Una vez obtenidas todas las características continuas y discretas se procede a la etapa de los experimentos o identificación que consiste en el cálculo de las medidas de semejanza con diferentes distancias. Una vez calculadas las distancias y obtenida una serie de scores para cada vector del sujeto, se pasa al **Decisor**. En esta parte se verifica la identidad del usuario que pertenece al conjunto de prueba. Si el score obtenido es más alto que el umbral establecido el usuario se considera genuino. Como resultado final se obtiene el valor de EER del sistema explicado anteriormente.

Las técnicas y las distancias utilizadas se explican en más profundidad en el siguiente capítulo.

5

Experimentos y Resultados

En este capítulo se describe, además del protocolo experimental, el estudio previo de las características que incluye tanto el análisis estadístico como el estudio de la correlación existente entre dichas características.

5.1 MEDIDAS DE SEMEJANZA

Una vez creada la matriz de características faciales que contiene 32 valores continuos y 23 discretos para cada imagen analizada, se necesita definir un método de comparación entre todos los usuarios.

En este proyecto se ha escogido el método de medidas de proximidad o semejanza, que cuantifica cómo de similares o diferentes dos vectores numéricos son entre sí. Es importante tener en cuenta que aplicando estos métodos no se da mayor prioridad a ninguna característica en especial sino que todas tienen el mismo peso dentro del vector. Existen varias medidas de semejanza:

1. Medidas de disimilitud

Cuanto más parecidos sean los vectores entre sí menor será la distancia o medida de disimilitud entre ellos. En el caso de que la distancia sea cero los vectores se consideran idénticos.

2. Medidas de similitud

Al contrario que en el caso anterior, la medida de similitud mide cuánto de parecidos son los dos vectores entre ellos, por lo que cuanto mayor sea el valor de la distancia más parecidos serán los vectores entre ellos.

En este proyecto los vectores se han probado con los dos tipos de medidas tales como: distancia Euclídea, Coseno y Mahalanobis para los vectores continuos y distancia Hamming para los vectores discretos. Además se ha probado la distancia Mahalanobis con la matriz conjunta.

5.1.1 Características Continuas

1. Distancia Euclídea

La distancia Euclídea entre los dos vectores se calcula de la siguiente forma:

$$Distancia_E = \sqrt{\sum_{i=1}^I (x_i - y_i)^2} \quad (5.1)$$

Como se puede observar la distancia calcula la diferencia entre los vectores, por lo que se considera una medida de disimilitud.

2. Distancia Coseno

La distancia coseno se define como:

$$Distancia_C = \frac{x^T \cdot y}{\|x\| \cdot \|y\|} \quad (5.2)$$

Donde $\|x\| = \sqrt{\sum_{i=1}^I x_i^2}$ y $\|y\| = \sqrt{\sum_{i=1}^I y_i^2}$.

Cuanto mayor sea el valor de la distancia más parecidos serán los vectores, por lo que dicha distancia se considera una medida de similitud.

3. Distancia de Mahalanobis

La distancia de Mahalanobis se diferencia de las distancias más comunes como Euclídea en que tiene en cuenta la correlación entre las variables aleatorias. Se define como:

$$Distancia_M = \sqrt{(x - \mu_i)^T \Sigma^{-1} (x - \mu_i)} \quad (5.3)$$

Donde μ representa la media y Σ la varianza de los vectores de entrenamiento.

Para calcular la distancia de Mahalanobis entre todos los vectores lo que se hace es el cálculo de la media y varianza del conjunto de los vectores de entrenamiento que luego se comparan con los vectores de prueba. El procedimiento aplicado en los experimentos se explica más adelante.

5.1.2 Características Discretas

La diferencia de los vectores discretos reside en que sus coordenadas o variables pertenecen a un conjunto finito de datos. Por lo tanto, no se puede aplicar el mismo tratamiento para los valores continuos y discretos. En este proyecto se ha utilizado la **distancia de Hamming** para los vectores discretos. Dicha distancia indica cómo de diferentes son los vectores por lo que pertenece al grupo de las medidas de disimilitud y se calcula de la siguiente manera:

$$Distancia_H = \sum_{i=0}^{k=1} \sum_{j=0}^{k=1} x_{ij} \quad (5.4)$$

Si los vectores son idénticos el valor de la distancia será 0.

5.1.3 Características Conjuntas

Una vez realizado el estudio de los vectores de las características por separado, se decide estudiar la matriz en su totalidad, es decir, tanto las características continuas como las discretas se analizan con la distancia de Mahalanobis. La elección de dicha distancia corresponde a que ésta toma en cuenta la correlación entre las variables del vector. Al tratarse de una mezcla de variables discretas y continuas, no existe un modelo de distancia estándar. Sin embargo, incorporando en la fórmula la varianza se pretende igualar la importancia de todas las características presentes en la matriz [38].

5.2 CORRELACIÓN ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS

El siguiente paso consiste en determinar si existe correlación entre algunas de las características para poder analizar el sistema más detalladamente.

La correlación entre las variables indica la fuerza y la dirección de una relación lineal de proporcionalidad entre dichas variables estadísticas. Se considera que dos variables cuantitativas están correlacionadas cuando los valores de una de ellas varían sistemáticamente con respecto a los valores homónimos de la otra: si tenemos dos variables (A y B) existe correlación si al aumentar los valores de A lo hacen también los de B y viceversa. Para las características de este proyecto se ha escogido el coeficiente de correlación de Pearson que se puede expresar de la siguiente forma:

$$\text{Correlación}_{\text{Pearson}} = \frac{x_d^T \cdot y_d}{\|x_d\| \cdot \|y_d\|} \quad (5.5)$$

Donde $x_d = [x_1 - \bar{x}, x_2 - \bar{x} \dots x_i - \bar{x}]^T$ e $y_d = [y_1 - \bar{y}, y_2 - \bar{y} \dots y_i - \bar{y}]^T$ con $\bar{x} = \frac{1}{l} \sqrt{\sum_{i=1}^l x_i}$ e $\bar{y} = \frac{1}{l} \sqrt{\sum_{i=1}^l y_i}$, llamados vectores de diferencia. El coeficiente toma valores entre 1 y -1. Lo interesante de la correlación de Pearson es que su valor no depende directamente de los vectores x e y, sino de los vectores de diferencia. El análisis de correlación para los rasgos continuos de la base de datos ATVS está representado en la Figura 5.1, donde los ejes representan las características de los rasgos representados en la Tabla 5.1.

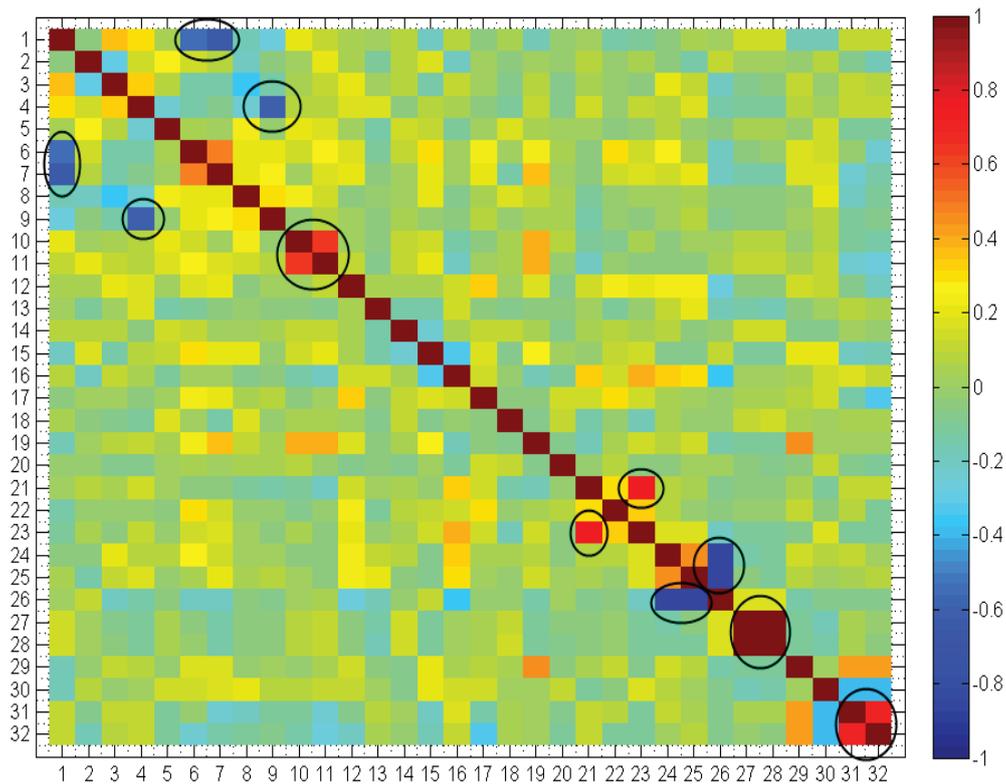


Figura 5.1: Correlación de Pearson de las características continuas para la base de datos ATVS

En la Figura 5.1 están señalados los casos más interesantes de correlación. Podemos observar que los ángulos de los extremos de los ojos, rasgos 27 y 28, tienen una correlación positiva perfecta. El índice indica una dependencia total entre ellas denominada relación directa: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.

Si la correlación está entre 0 y 1, donde los casos más significativos son el ángulo de la ceja derecha y el ángulo de la ceja izquierda, altura de la frente y línea media junto con el ángulo de la oreja derecha y el ángulo de la oreja izquierda, se considera correlación positiva. Es decir que las dos variables aumentan o disminuyen simultáneamente. Si nos paramos a analizarlo, los resultados que se han obtenido son lógicos ya que por ejemplo, en el caso de la altura de la frente y la línea media, la altura de la frente forma una parte de la distancia de la línea media. En el caso de las orejas y cejas, suelen ser bastante parecidas la oreja izquierda con la oreja derecha y la ceja izquierda con la ceja derecha, salvo algún caso especial.

En el caso contrario cuando la correlación sea -1, como en el caso de la distancia interocular con las aberturas horizontales de los ojos, rasgos 24 y 25 respecto al 26, existe una correlación negativa perfecta. El índice indica una dependencia total entre las variables, llamada relación inversa: cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante.

Cuando el valor de la correlación se encuentra ente 0 y -1 existe una correlación negativa. Este caso lo podemos observar con rasgos como la longitud de las cejas y la distancia entre las mismas, rasgos 1 con 6 y 7, y anchura de la ceja izquierda y la distancia entre el ojo y la ceja izquierda, rasgos 4 y 9.

ID	Rasgo
1	Distancia entre las cejas
2	Distancia entre el extremo exterior del ojo a la ceja (ojo derecho)
3	Distancia entre el extremo interior del ojo a la ceja (ojo derecho)
4	Distancia entre el extremo interior del ojo a la ceja (ojo izquierdo)
5	Distancia entre el extremo exterior del ojo a la ceja (ojo izquierdo)
6	Longitud de la ceja derecha
7	Longitud de la ceja izquierda
8	Anchura de la ceja derecha
9	Anchura de la ceja izquierda
10	Ángulo de la ceja derecha
11	Ángulo de la ceja izquierda
12	Longitud de la boca
13	Ángulo entre los extremos de la boca
14	Anchura media de la boca
15	Altura naso-labial
16	Altura de la nariz
17	Anchura de la nariz
18	Anchura de la raíz de la nariz
19	Altura del mentón
20	Anchura media del mentón
21	Altura de la frente
22	Anchura de la frente
23	Línea media
24	Abertura horizontal del ojo derecho
25	Abertura horizontal del ojo izquierdo
26	Distancia interocular
27	Ángulo del ojo derecho
28	Ángulo del ojo izquierdo
29	Longitud de la oreja derecha
30	Longitud de la oreja izquierda
31	Ángulo de la oreja derecha
32	Ángulo de la oreja izquierda

Tabla 5.1: Características continuas

Posteriormente se procede al estudio de la correlación de las características discretas representada en la Figura 5.2, donde como en el caso anterior los ejes representan las características detalladas en la Tabla 5.2.

En este caso se ve claramente la correlación negativa perfecta entre las características 13 con 15 y 14 con 15. La correlación negativa perfecta se repite como en el caso de las características continuas, la abertura de los ojos tiene un comportamiento completamente opuesto a la distancia interocular.

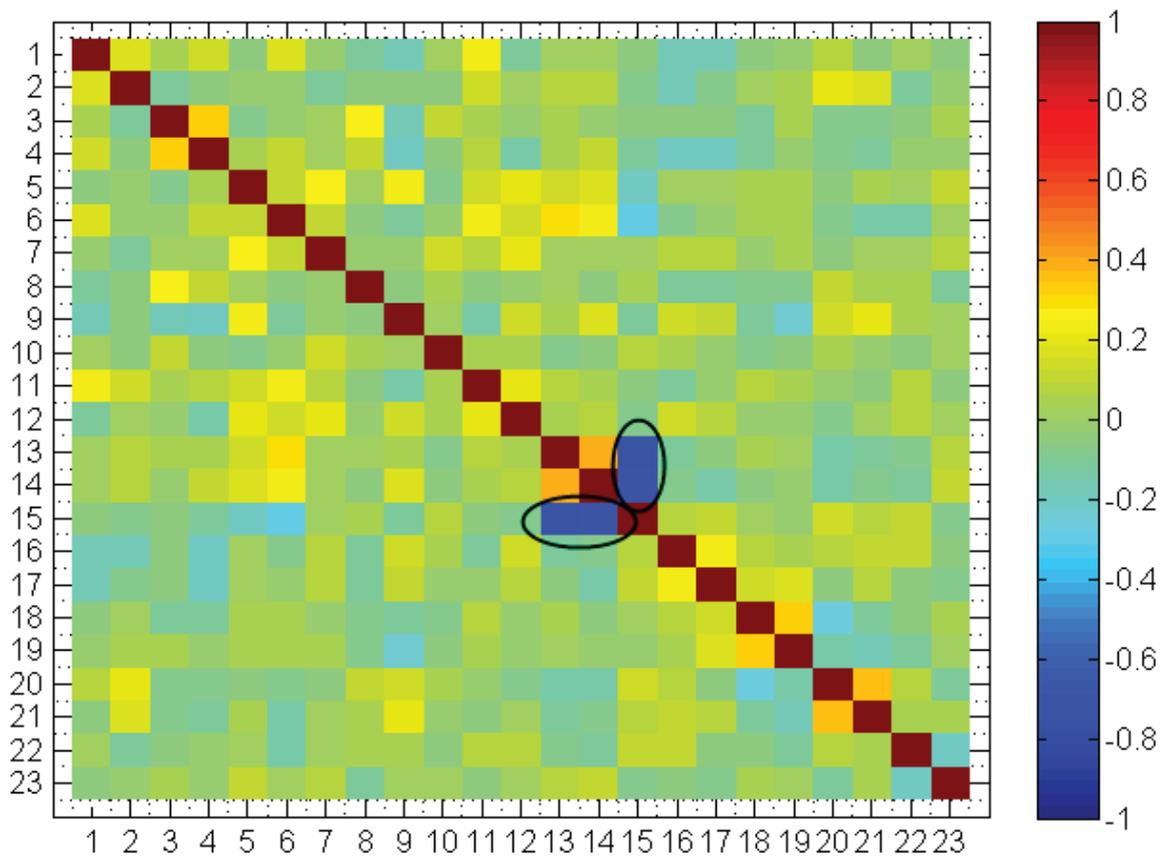


Figura 5.2: Correlación de Pearson de las características discretas para la base de datos ATVS

ID	Rasgo	ID	Rasgo
1	Situación 1 de las cejas	13	Abertura horizontal del ojo derecho
2	Situación 2 de las cejas	14	Abertura horizontal del ojo izquierdo
3	Anchura de la ceja derecha	15	Distancia interocular
4	Anchura de la ceja izquierda	16	Dimensiones de la ceja derecha
5	Longitud de la boca	17	Dimensiones de la ceja izquierda
6	Altura de la nariz	18	Dirección de la ceja derecha
7	Anchura de la nariz	19	Dirección de la ceja izquierda
8	Anchura de la raíz de la nariz	20	Forma de la ceja derecha
9	Altura del mentón	21	Forma de la ceja izquierda
10	Anchura del mentón	22	Comisura de la boca
11	Altura de la frente	23	Boca en forma de corazón
12	Anchura de la frente		

Tabla 5.2: Características discretas

El mismo estudio se hace para las características continuas de la base de datos MORPH y se obtiene la gráfica de la Figura 5.3.

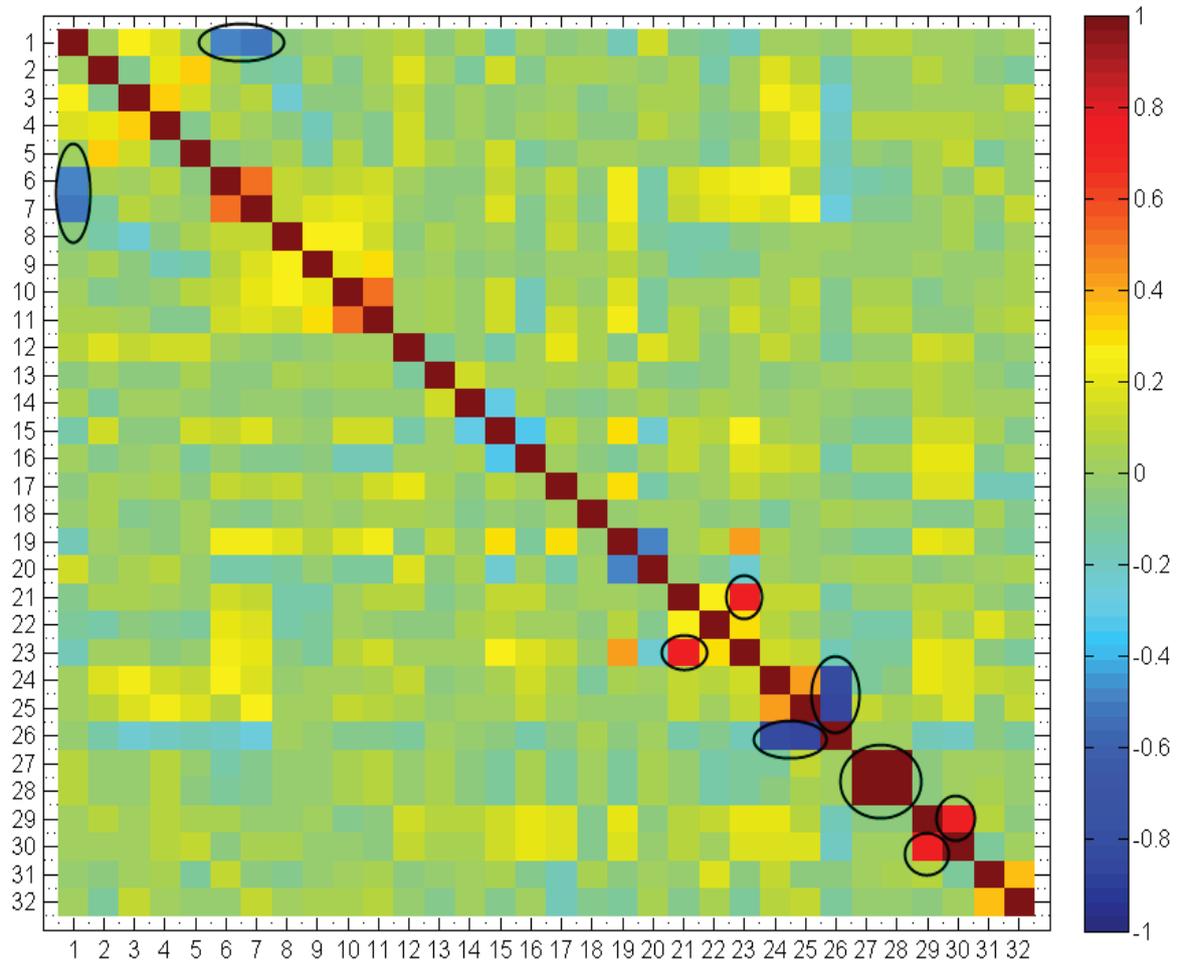


Figura 5.3: Correlación de Pearson de las características continuas para la base de datos MORPH

Las diferencias principal es que en algunos casos como los rasgos 10 y 11, 4 y 9, o 31 y 32, la correlación no es tan significativa. Sin embargo, vemos que los ángulos de los extremos de los ojos, rasgo 27 y 28, siguen teniendo una correlación positiva perfecta como en el caso de la base de datos ATVS. Y el rasgo de la longitud de las orejas, rasgos 29 y 30, tiene una correlación positiva mayor que en el caso anterior.

Analizando la correlación negativa, siguen destacando las características 24 y 25 con respecto al 26.

Al repetir el estudio de la correlación entre las características discretas, los resultados obtenidos son bastante parecidos a los resultados de la base de datos ATVS. La correlación más significativa es entre los rasgos 13 y 14 con el rasgo 15, que se puede observar en la Figura 5.4.

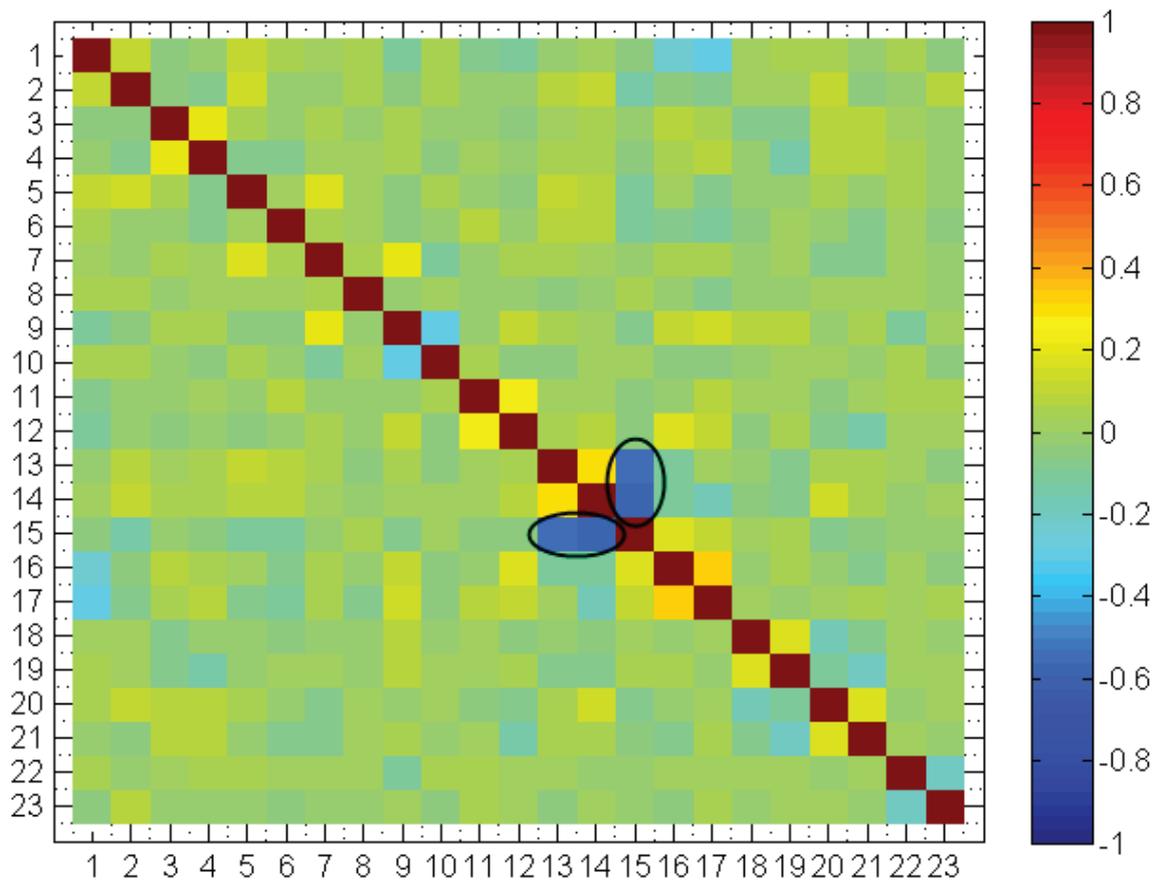


Figura 5.4: Correlación de Pearson de las características discretas para la base de datos MORPH

Las diferencias que aparecen entre las dos bases de datos corresponden a que la base de datos de MORPH está compuesta por las imágenes tomadas en las condiciones no controladas, por lo que los resultados obtenidos pueden tener un margen de error mayor.

5.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se define el Análisis Estadístico de Datos como un conjunto de métodos, técnicas y procedimientos para el manejo de datos, su ordenación, presentación, descripción, análisis e interpretación, que contribuyen al estudio científico de los problemas planteados y a la toma de decisiones en cualquier campo de investigación.

Una vez recopilados todos los datos dentro de una matriz final se procede al análisis estadístico con el propósito de conocer en mayor profundidad los resultados que se han obtenido para poder analizarlos con mayor exactitud y sacar las conclusiones finales. El análisis estadístico consiste en la comparación de las características discretas para las dos bases de datos utilizadas donde se representa **la cantidad de usuarios** para cada tipo de rasgo y su valor.

Las Figuras 5.5 - 5.14 representan los resultados obtenidos para las dos bases de datos.

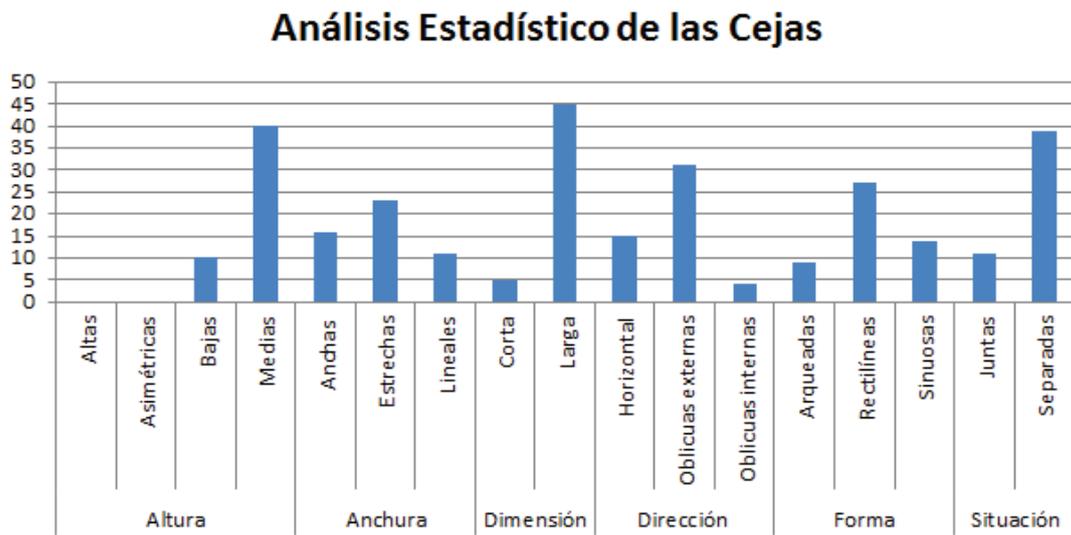


Figura 5.5: Análisis estadístico de las cejas para la base de datos ATVS

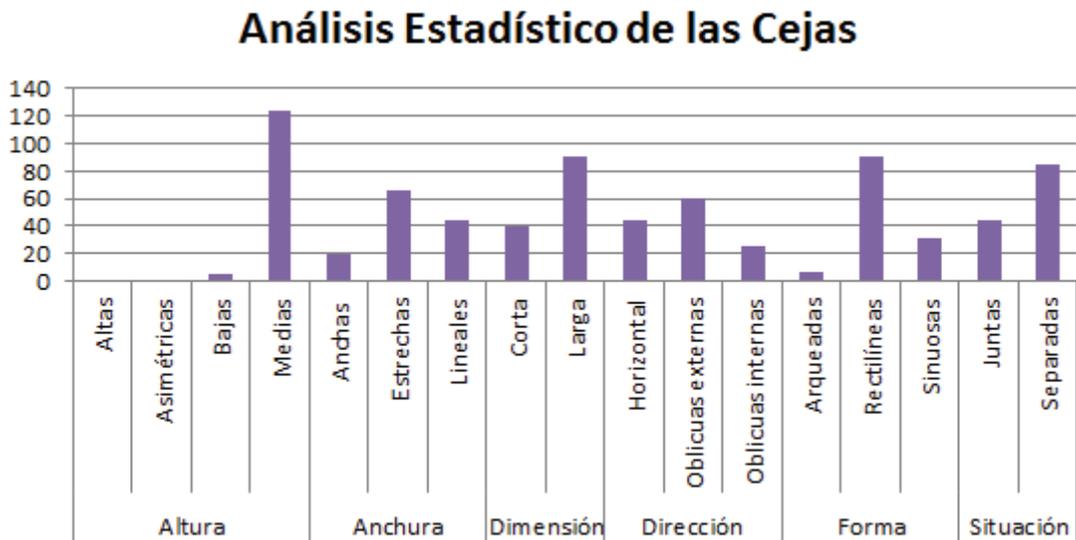


Figura 5.6: Análisis estadístico de las cejas para la base de datos MORPH

Las diferencias principales entre las dos bases de datos son la cantidad de usuarios y la calidad de las imágenes. Pero sin embargo, podemos observar un patrón parecido en la distribución de las características de las cejas. Para el rasgo de **altura**, en ninguna de las bases se han detectado los usuarios con cejas altas y asimétricas, prevaleciendo la altura media. En anchura de la mayoría de los usuarios es estrecha para las dos bases de datos, pero en la base de datos ATVS prevalecen las cejas anchas y en MORPH las lineales.

Análisis Estadístico de la Boca

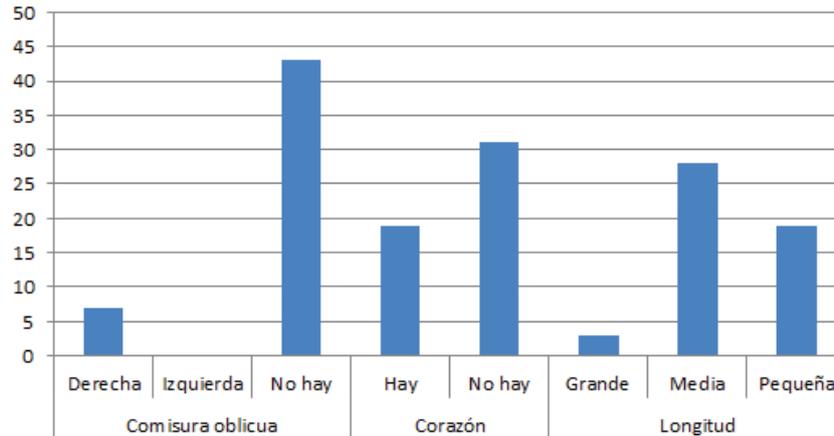


Figura 5.7: Análisis estadístico de la boca para la base de datos ATVS

Análisis Estadístico de la Boca

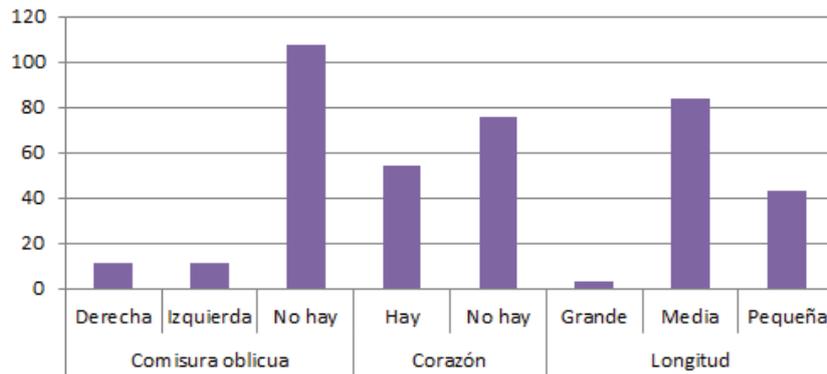


Figura 5.8: Análisis estadístico de la boca para la base de datos MORPH

Como en el caso de la cejas, la boca sigue un patrón parecido en las dos bases de datos, aunque en la base de datos ATVS no hay usuarios con la comisura izquierda. Esto puede pasar debido a que simplemente no hay ningún representante con dicha particularidad entre los 50 usuarios.

Análisis Estadístico de la Nariz

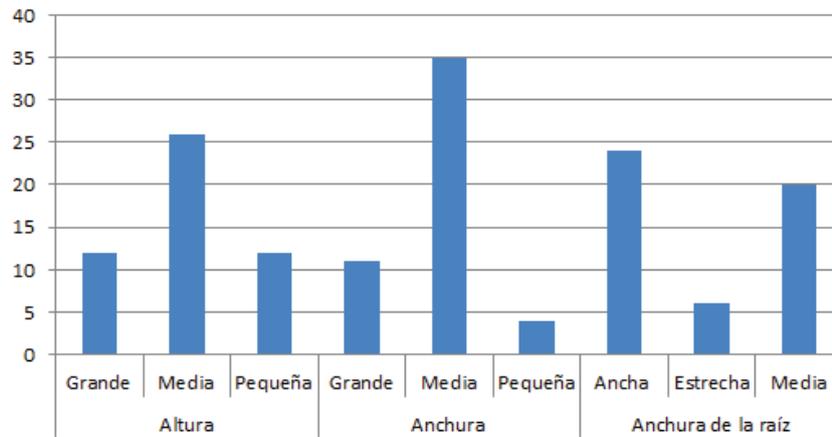


Figura 5.9: Análisis estadístico de la nariz para la base de datos ATVS

Análisis Estadístico de la Nariz

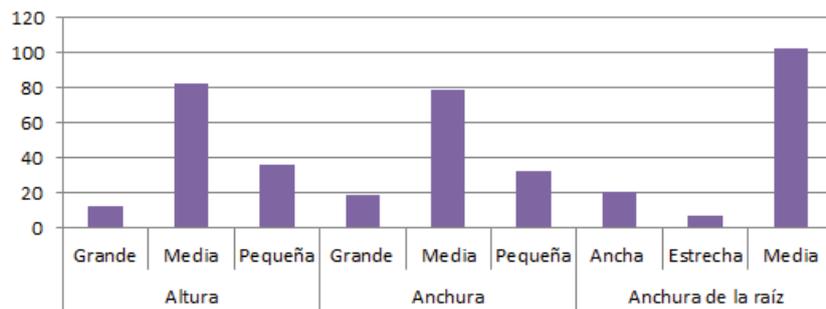


Figura 5.10: Análisis estadístico de la nariz para la base de datos MORPH

En las dos bases de datos prevalecen la anchura y altura medias, la única diferencia se observa en la anchura de la raíz.

Análisis Estadístico del Mentón

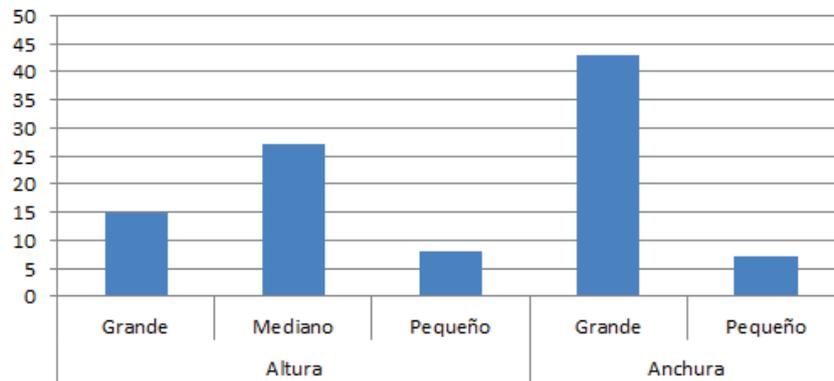


Figura 5.11: Análisis estadístico de la mentón para la base de datos ATVS

Análisis Estadístico del Mentón

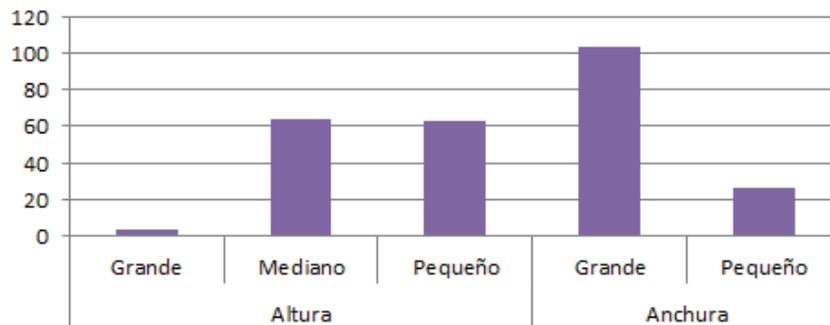


Figura 5.12: Análisis estadístico de la mentón para la base de datos MORPH

Como podemos observar, en las dos bases de datos predominan los mentones grandes frente a los pequeños. Sin embargo, hay diferencias entre las dos bases de datos en la altura del mentón, se observa que en MORPH están bastante igualados los usuarios con las alturas medianas y pequeñas y en la base de datos ATVS hay más usuarios con mentones grandes que pequeños.

Análisis Estadístico de la Frente y Ojos

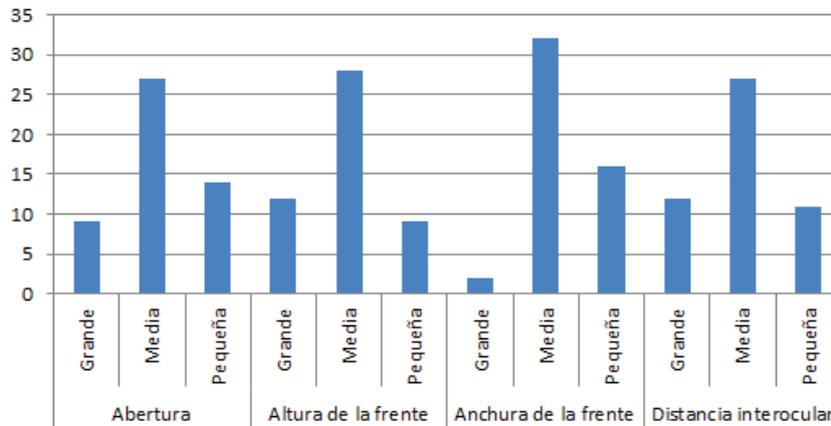


Figura 5.13: Análisis estadístico de la frente y ojos para la base de datos ATVS

Análisis Estadístico de la Frente y Ojos

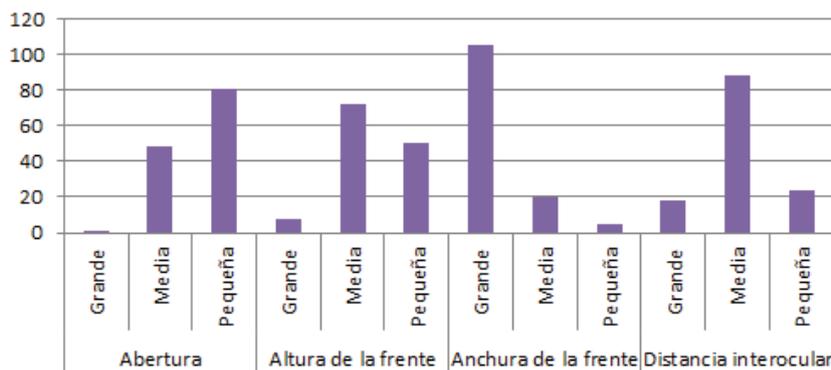


Figura 5.14: Análisis estadístico de la frente y ojos para la base de datos MORPH

Lo interesante del análisis de la abertura de los ojos y la distancia interocular es la existencia de la correlación negativa perfecta entre ellos, descrita en la sección anterior. Según esta correlación, si tenemos más usuarios con la abertura de los ojos pequeña, debería haber más usuarios con la distancia interocular grande. En el caso de la base de datos de ATVS (Figura 5.13) se ve que efectivamente hay más usuarios con la abertura pequeña que con la abertura grande, y más casos con la distancia interocular grande que pequeña. Hay que mencionar que debido a la existencia de una descripción adicional de los rasgos, que es la **distancia media**, la correlación negativa existente no es perfecta.

En el caso de la base de datos MORPH tenemos las imágenes con peor calidad y tomadas en condiciones no controladas, por lo que algunas de las características pueden verse distorsionadas junto con el análisis estadístico elaborado.

5.4 EXPERIMENTOS

Dado que las bases de datos incluyen pocos usuarios, 50 en el caso de ATVS y 130 en el caso de MORPH, se ha decidido aplicar un método de validación cruzada, en concreto, el método *Leave-one-out*.

El método *Leave-one-out* implica separar los datos de forma que para cada iteración tengamos una muestra para los datos de prueba y todo el resto conformando los datos de entrenamiento. Se tienen que ejecutar tantas iteraciones como N muestras tengamos y para cada una analizar los datos tanto de entrenamiento como de prueba (Figura 5.15). De esta forma podemos obtener el resultado más cercano a la realidad, ya que ampliamos tanto el conjunto de prueba como de entrenamiento.

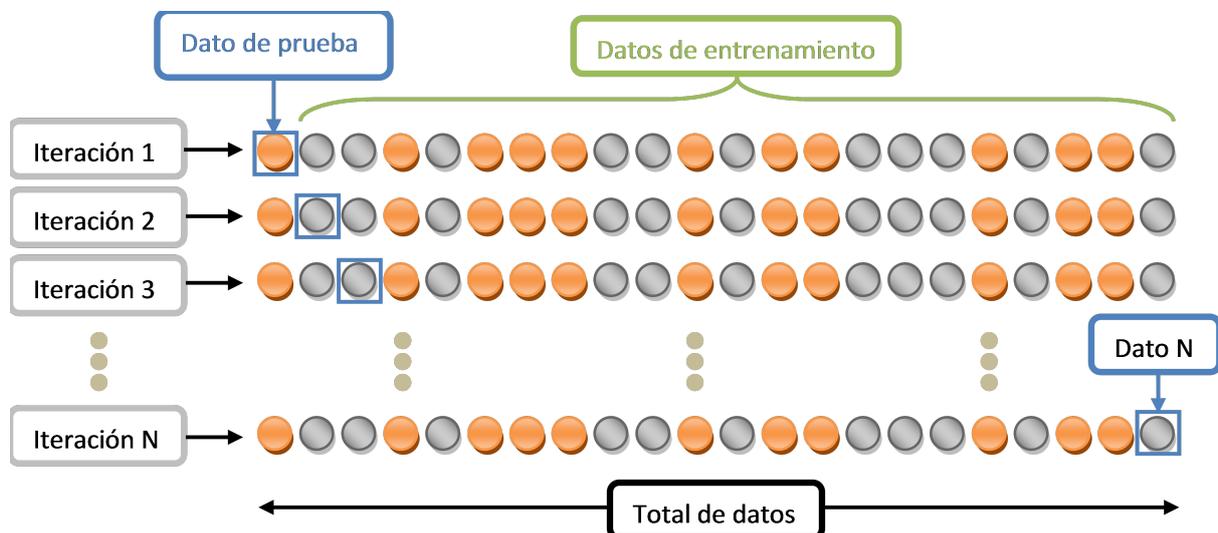


Figura 5.15: Método de validación cruzada *Leave-one-out*

5.4.1 Experimento 1: Características individuales

El experimento 1 consiste en la verificación del rendimiento del sistema separando la matriz conjunta, es decir, por un lado se calcula el EER para los rasgos continuos y por el otro para los rasgos discretos. Como se ha mencionado antes para los rasgos continuos se van a utilizar 3 distancias (Euclídea, Coseno y Mahalanobis) y para los rasgos discretos se calculará la distancia de Hamming. Primero se prueba el sistema con la base de datos controlada ATVS, el siguiente paso es ver como se comporta el sistema en las condiciones no controladas, realizando el mismo experimento con la base de datos MORPH. Los resultados obtenidos para las dos bases de datos se presentan en la Figura 5.16.

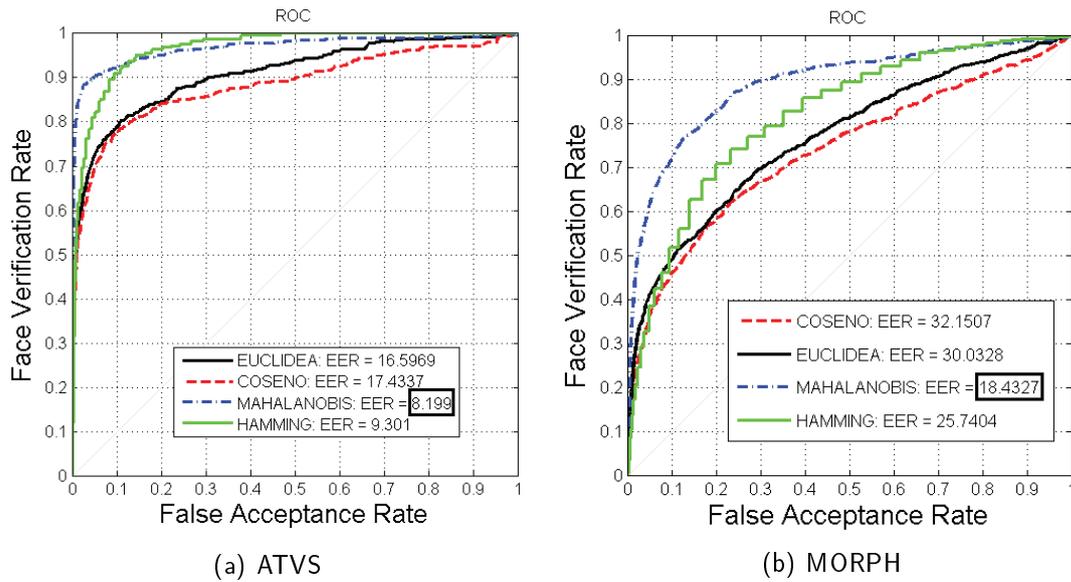


Figura 5.16: Curvas ROC para las características individuales de las bases de datos ATVS y MORPH. FAR y FVR expresados en tanto por 1. Valores de EER expresados en tanto por 100.

La primera conclusión que se obtiene viendo las dos gráficas, es que el sistema presenta mejores resultados para la base de datos ATVS que contiene las imágenes tomadas en entornos controlados.

Además, tal y como se esperaba, para las dos bases de datos los mejores resultados se han obtenido con la distancia Mahalanobis. Como se ha explicado antes, Mahalanobis muestra los mejores resultados debido a que se toma en cuenta la media y la varianza.

5.4.2 Experimento 2: Características conjuntas

El segundo experimento consiste en la verificación del rendimiento del sistema trabajando con la matriz entera, es decir aplicando las mismas distancias para los rasgos continuos y discretos. En este caso se utilizarán sólo las distancias que se aplican para los rasgos continuos como Euclídea, Coseno y Mahalanobis, dado que se pueden aplicar en los casos de las variables reales. La distancia de Hamming sólo se aplica en los casos discretos, por lo que se descarta. Como se ha comentado antes, para las dos bases de datos el mejor resultado se consigue con la distancia Mahalanobis, como se puede observar en la Figura 5.17.

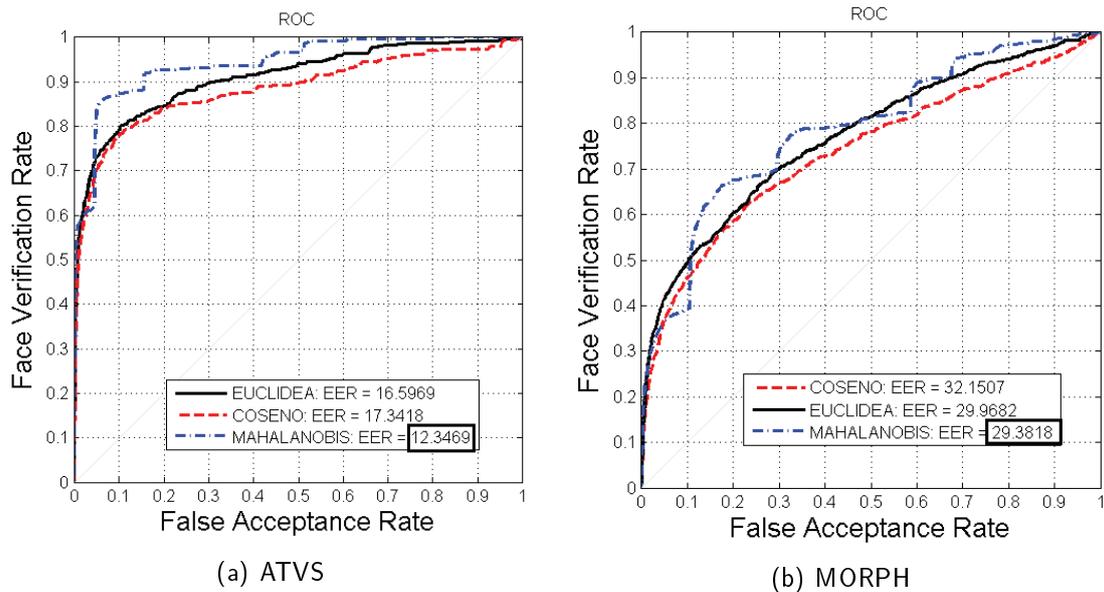


Figura 5.17: Curvas ROC para las características conjuntas de las bases de datos ATVS y MORPH. FAR y FVR expresados en tanto por 1. Valores de EER expresados en tanto por 100.

Observando los resultados obtenidos y comparándolos con el Experimento 1 se pueden hacer varias conclusiones. Se ha conseguido mejores resultados utilizando la distancia Mahalanobis para las dos bases de datos en los dos experimentos por lo que en los siguientes experimentos se utilizará sólo esta distancia. Además, se ve que separando la matriz conjunta en dos matrices de vectores continuos y discretos y tratándolos por separado se obtienen mejores resultados.

Sin embargo, tanto la distancia Euclídea como Coseno no presentan mucha diferencia de EER entre la matriz conjunta y sólo continua, debido a que en el cálculo de estas distancias no se toma en cuenta la varianza entre las características. Por lo tanto, no se iguala la importancia de características continuas y discretas, teniendo en cuenta que el rango de las discretas varía entre 1 y 4 como mucho y las continuas pueden alcanzar los valores hasta varias centenas de píxeles, como la línea media o anchura de frente.

5.4.3 Experimento 3: Estudio de las muestras de entrenamiento

Como se ha podido comprobar los mejores resultados se obtienen utilizando las dos matrices de los rasgos por separado cada una con las distancias correspondientes. Por lo tanto, el siguiente experimento que se realizó es el estudio de las muestras de entrenamiento. Es decir, teniendo un conjunto de datos, en este caso los vectores correspondientes a cada imagen, se divide en muestras de entrenamiento y de prueba.

En el caso de la base de datos ATVS hay 2 sesiones con 4 tomas cada una, por lo que tenemos 8 imágenes por usuario. Se han hecho todas las combinaciones posibles y el resultado obtenido se puede observar en la Figura 5.18a.

La gráfica representa los resultados obtenidos para la distancia Mahalanobis, dado que ésta obtiene los mejores resultados para el sistema implementado. Como podemos ver, según va aumentando la proporción de las muestras dedicadas para al entrenamiento, mejora el valor de EER. Además, se ve que se obtienen mejores resultados separando los rasgos en continuos y discretos para cualquier pareja

de entrenamiento/prueba. Los resultados obtenidos para las distancias Euclídea, Coseno y Hamming también se pueden observar en la Tabla 5.3.

		Matriz	Entrenamiento/Prueba						
			1/7	2/6	3/5	4/4	5/3	6/2	7/1
ATVS	EUCLÍDEA	Conjunta	19.0	18.1	17.7	17.6	17.4	17.2	16.6
		Continua	19.0	18.2	17.8	17.6	17.5	17.2	16.6
	MAHALANOBIS	Conjunta	18.9	24.8	19.6	18.2	15.1	12.5	12.3
		Continua	18.6	20.6	18.5	13.3	10.5	8.6	8.2
	COSENO	Conjunta	19.7	18.8	19.1	19.0	18.3	17.5	17.3
		Continua	19.7	18.9	19.1	19.1	18.3	17.7	17.4
	HAMMING	Discreta	20.4	13.8	13.1	12.8	11.6	10.7	9.3

Tabla 5.3: Estudio de muestras de entrenamiento de ATVS

De nuevo se puede comprobar que dado que estas dos distancias no contemplan la varianza, la diferencia entre utilizar la matriz conjunta y la matriz continua no marca una diferencia considerable.

En la base de datos MORPH hay 6 sesiones con una toma por sesión y se ha hecho el mismo procedimiento que para la base de datos anterior, obteniendo los siguientes resultados (Figura 5.18b).

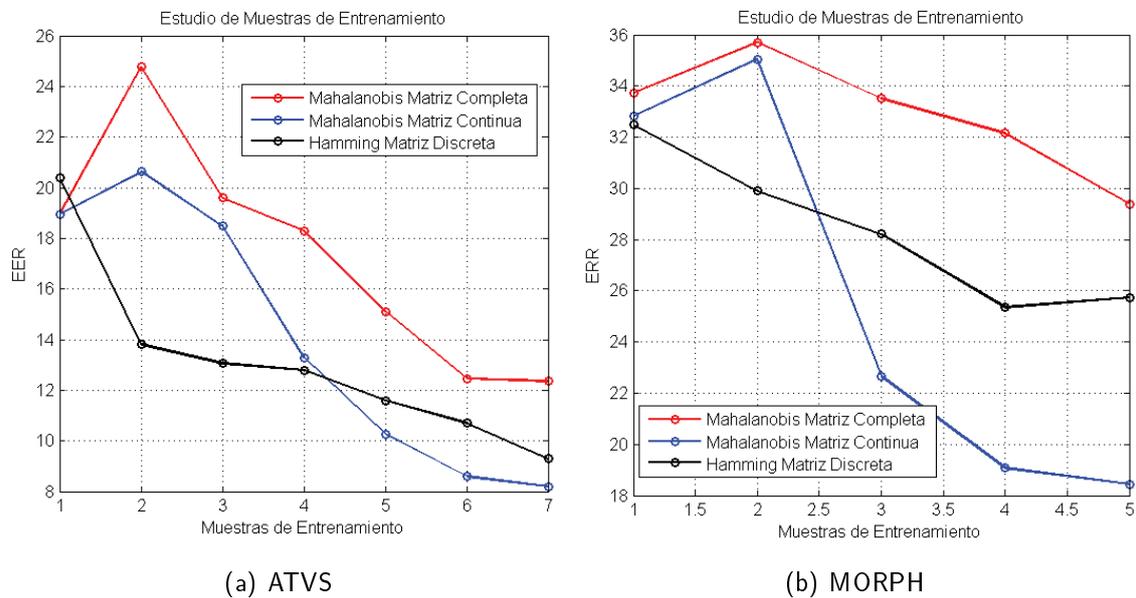


Figura 5.18: Estudio de entrenamiento de las bases de datos ATVS y MORPH

Sobre la base de datos MORPH se pueden hacer las mismas conclusiones que para la base de datos ATVS (Tabla 5.4).

			Entrenamiento/Prueba				
		Matriz	1/5	2/4	3/3	4/2	5/1
MORPH	EUCLÍDEA	Conjunta	32.8	31.4	31.0	30.7	29.9
		Continua	32.8	31.4	30.9	30.7	30.0
	MAHALANOBIS	Conjunta	33.7	35.7	33.5	32.1	29.4
		Continua	32.8	35.0	19.1	31.8	18.4
	COSENO	Conjunta	32.9	32.3	31.8	31.9	32.0
		Continua	32.9	32.3	31.8	31.8	32.1
HAMMING	Discreta	32.5	29.9	28.2	25.4	25.7	

Tabla 5.4: Estudio de muestras de entrenamiento de MORPH

5.4.4 Experimento 4: Fusión a nivel de score

Dado que los mejores resultados se han obtenido separando los rasgos, se procede a aplicar el procedimiento de fusión o combinación de los sistemas.

Existen varios modelos donde se pueden combinar los sistemas, como por ejemplo nivel de extracción de características, nivel de score o nivel de decisión. En este experimento se emplea la fusión a nivel de score de dos tipos *i*) fusión suma y *ii*) fusión con pesos o pesada.

La diferencia entre las dos consiste en que suma al fusionarse da la misma importancia a los scores de todos los sistemas, en nuestro caso, al sistema continuo y discreto. Pero fusión pesada asigna mayor importancia o peso al sistema con mejores resultados consiguiendo mejorar el resultado final. En la Tabla 5.5 se pueden ver los resultados obtenidos.

	Distancias	SUMA	PESADA
ATVS	Mahalanobis y Hamming	5.6	4.7
	Euclídea y Hamming	8.3	-
	Coseno y Hamming	9.5	-
MORPH	Mahalanobis y Hamming	17.7	15.8
	Euclídea y Hamming	24.1	-
	Coseno y Hamming	25.7	-

Tabla 5.5: Resultados de fusión suma y fusión pesada

La fusión pesada sólo se ha calculado para el mejor caso posible que da la distancia de Mahalanobis. En el caso de la base de datos ATVS los pesos que se han establecido han sido 70% para el score de la matriz continua y 30% para la matriz discreta y en el caso de MORPH 72% y 28% respectivamente, ya que con ellos se consigue el mejor resultado de EER.

Como se puede comprobar los resultados de EER han mejorado al fusionarse los dos sistemas.

5.4.5 Experimento 5: Búsqueda de las características más discriminantes

El último experimento consiste en la búsqueda de las características más discriminantes para cada base de datos con la finalidad de reducir la lista de las características utilizadas a la vez que mejorar el rendimiento del sistema. La técnica utilizada se llama **Sequential Floating Forward Selection** (SFFS) [39].

Dicha técnica consiste en un proceso de búsqueda iterativa, es decir, siguiendo un criterio en cada iteración del algoritmo, se van descartando o añadiendo las características morfológicas más discriminantes. El proceso finaliza cuando ya no es posible mejorar el rendimiento del sistema, en nuestro caso es cuando ya no mejora el valor de EER.

Para la realización del experimento se ha considerado la distancia Mahalanobis para las características continuas y distancia Hamming para las discretas, ya que proporcionan el mejor rendimiento para las dos bases de datos.

5.4.5.1 Base de datos ATVS

Para la base de datos ATVS las características continuas más discriminantes están representadas en la Tabla 5.6 siendo la característica más discriminante la primera en la tabla.

ID	Rasgo
19	Altura del mentón
17	Anchura de la nariz
31	Ángulo de la oreja derecha
16	Altura de la nariz
21	Altura de la frente
6	Longitud de la ceja derecha
29	Longitud de la oreja derecha
12	Longitud de la boca
26	Distancia interocular
1	Distancia entre las cejas
10	Ángulo de la ceja derecha
27	Ángulo del ojo derecho
32	Ángulo de la oreja izquierda
7	Longitud de la ceja izquierda
25	Abertura horizontal del ojo izquierdo

Tabla 5.6: Características continuas más discriminantes para ATVS. El ID corresponde a la Tabla 5.1.

La lista de las características se ha reducido de 32 a **15** disminuyendo el tiempo de ejecución y el resultado de EER a mejorado de 8.2 a **3.6**.

El mismo procedimiento se sigue con las características discretas. En este caso no se consigue mejorar notablemente el valor de EER, pero se reduce el número de características de 23 a **19** descartando:

- Anchura del mentón
- Dimensiones de la ceja derecha
- Dimensiones de la ceja izquierda
- Forma de la ceja derecha

El valor de EER obtenido es ahora **9.2** y la característica más discriminante es la **altura de la nariz**.

Una vez obtenidos los dos resultados se procede a la fusión pesada de las dos partes del sistema. Los pesos establecidos son 80 % para el score de la matriz continua y 20 % para la matriz discreta, ya que la mejora de la matriz continua es bastante más significativa. El resultado final de EER común es **2.8**.

5.4.5.2 Base de datos MORPH

En el caso de la base de datos MORPH la lista de las características continuas ha aumentado comparando con la ATVS. En este caso hay **20** características discriminantes. La diferencia está en que desaparece de la lista **ángulo del ojo derecho** y se añaden las siguientes características:

- Altura nasolabial
- Anchura de la ceja derecha
- Ángulo de la ceja izquierda
- Abertura horizontal del ojo derecho
- Longitud de la oreja izquierda
- Ángulo entre los extremos de la boca

Como en el caso anterior, la característica más discriminante sigue siendo **Altura del mentón**. En este caso el resultado es **EER=14.3**.

En el caso de las características discretas la lista disminuye, incluyendo sólo **13** características, representadas en la Tabla 5.7.

ID	Rasgo
9	Altura del mentón
5	Longitud de la boca
6	Altura de la nariz
1	Situación de las cejas
7	Anchura de la nariz
19	Dirección de la ceja izquierda
11	Altura de la frente
3	Anchura de la ceja derecha
17	Dimensiones de la ceja izquierda
2	Altura de las cejas
18	Dirección de la ceja derecha
8	Anchura de la raíz de la nariz
4	Anchura de la ceja izquierda

Tabla 5.7: Características discretas más discriminantes para MORPH. El ID corresponde a la Tabla 5.2.

En este caso la más discriminante es **altura del mentón** coincidiendo con el caso continuo. El resultado final de EER es **23.3**.

Una vez obtenidos los dos resultados se procede a la fusión pesada de las dos partes del sistema. Los pesos establecidos son 75 % para el score de la matriz continua y 25 % para la matriz discreta. El resultado final de EER común es **12.7**.

La Tabla 5.8 engloba los resultados de la aplicación del algoritmo SFFS para las dos bases de datos, donde se reflejan el número de rasgos seleccionados por dicho algoritmo y su rendimiento final.

	Características	Nº de rasgos	EER	ERR con Fusión Pesada
ATVS	Continuas	15	3.6	2.8
	Discretas	19	9.2	
MORPH	Continuas	20	14.3	12.7
	Discretas	13	23.3	

Tabla 5.8: Resultados del algoritmo SFFS para las bases de datos AVTS y MORPH

En resumen, con SFFS se consigue mejorar el sistema, tanto para la base de datos ATVS, como para MORPH. Esto se ve reflejado en el valor de EER, que para la base de datos ATVS se ha conseguido mejorar de **4.7** a **2.8** y para MORPH de **15.8** a **12.7**.

6

Conclusiones y Trabajo Futuro

6.1 CONCLUSIONES

El objetivo del presente proyecto fin de carrera ha sido el desarrollo, mejora, experimentación y documentación del sistema completo de reconocimiento facial, basado en los protocolos de laboratorios forenses como la Dirección General de la Guardia Civil [32] y NFI [33]. El sistema creado se centra en los entornos controlados, pero también se ha demostrado su valía y utilidad en entornos no controlados.

Al tener un grupo reducido de usuarios dentro de las dos bases de datos se utiliza el método de validación cruzada Leave-one-out que permite ampliar tanto el conjunto de los datos de entrenamiento como de prueba y acercar los resultados obtenidos a la realidad. Antes de empezar con la etapa de pruebas se ha hecho un estudio de correlación entre todas las características obtenidas y posteriormente un análisis estadístico de las dos bases de datos utilizadas. Como resultado final del estudio de correlación, se han detectado varios tipos de dependencias entre las características, como por ejemplo la existencia de correlación negativa perfecta entre la abertura horizontal de los ojos y la distancia interocular o correlación positiva entre la longitud de la línea media y la altura de la frente, como era de esperar.

Durante la etapa de experimentación se han utilizado las curvas ROC, que permiten ver la relación entre VR y FAR del sistema, y como resultado final se han tenido en cuenta los valores de EER.

Durante la fase de desarrollo del sistema se ha propuesto un amplio conjunto de características faciales tanto continuas como discretas, con el objetivo de ver su impacto durante el proceso de reconocimiento facial automático mediante los experimentos llevados a cabo. Tras la realización de este proyecto, se ha demostrado que dicho proceso basado en características puede ser de gran ayuda para los expertos forenses, ya que automatiza el análisis morfológico facial llevado a cabo por los mismos.

Al finalizar la etapa de experimentación se procede a la etapa de análisis de los resultados obtenidos. Como ya se ha comentado en el capítulo anterior, se han realizado varias pruebas tanto con las características continuas y discretas por separado, como conjuntas. Se ha comprobado que se consiguen mejores resultados tratando las características continuas y discretas por separado, utilizando la distancia de Mahalanobis para las continuas y Hamming para las discretas. La elección de la distancia Mahalanobis se debe a que ésta toma en cuenta la desviación típica entre las características, por lo que se iguala la importancia de todas y cada una de las características utilizadas en la matriz final. Los resultados finales

de EER para la base de datos ATVS han sido 8.2 para el sistema continuo y 9.3 para el sistema discreto frente a 12.3 para el sistema conjunto. Sin embargo, tratándose de un conjunto de imágenes tomadas en entornos no controlados los resultados finales de EER empeoran, siendo 18.4 para el conjunto continuo, 25.7 para el conjunto discreto frente a 29.4 para la matriz conjunta.

Mediante el estudio de muestras de entrenamiento se ha comprobado que aumentando la cantidad de las muestras de entrenamiento se obtienen mejores resultados de EER, dado que se crea un patrón de entrenamiento más parecido al patrón de prueba correspondiente. Por lo tanto, para el entrenamiento del sistema, se recomienda utilizar varias imágenes para cada usuario tomadas con una separación temporal adecuada.

Tras tratarse las características continuas y discretas por separado, el paso siguiente es la fusión entre ellas para conseguir el resultado final de la matriz conjunta. Se utilizan dos tipos de fusión, suma y pesada explicadas en el capítulo anterior. Analizando los datos de la Tabla 5.5 vemos que los mejores resultados se consiguen con la fusión pesada debido a que ésta asigna mayor peso al sistema que presenta mejores resultados de EER. Los mejores resultados obtenidos son 4.7 para la base de datos ATVS y 15.8 para los entornos no controlados.

Por último con el objetivo de mejorar el valor final de EER y disminuir el tiempo de ejecución del sistema, se realiza la búsqueda de las características más discriminantes mediante el algoritmo SFFS. Para las dos bases de datos se consigue reducir el número de las características utilizadas y mejorar el rendimiento del sistema, además finalmente se aplica la fusión pesada, proporcionando una mejora adicional para el valor de EER. Para la base de datos ATVS se consigue un total de 15 características continuas y 19 discretas obteniendo el valor de EER de **2.8**, donde el rasgo continuo más discriminante es la altura del mentón y rasgo discreto, la altura de la nariz.

Para la base de datos MORPH se quedan 20 características continuas y 13 discretas obteniendo un valor de EER igual a **12.7**. El rasgo continuo más discriminante coincide con la base de datos ATVS, siendo éste la altura del mentón. Sin embargo, para los entornos no controlados el rasgo discreto más discriminante también sigue siendo la altura del mentón, coincidiendo con el caso continuo.

6.2 TRABAJO FUTURO

Con el objetivo de seguir mejorando el sistema se proponen las siguientes líneas de futuro desarrollo:

- Ampliación del sistema para la creación del Retrato Hablado con otras razas que no sean la caucásica. Ampliando el espectro de los sujetos que puedan ser analizados mediante el sistema propuesto, su utilización puede ser posible en todas las partes del mundo.
- Algunas de las características frontales no se han tenido en cuenta en el sistema propuesto, como por ejemplo el amplio rango de las particularidades de la boca, globos oculares o cejas. Añadiendo más características a la matriz creada, sería posible mejorar el resultado de la identificación.
- Durante el desarrollo del sistema sólo se han utilizado las imágenes frontales, sin embargo, hay rasgos como orejas, que para su análisis necesitan una imagen lateral. Por lo tanto, se propone añadir tanto imágenes frontales como laterales al estudio con el objetivo de cubrir todos los rasgos faciales.
- Para las futuras investigaciones sería interesante, a parte de las distancias que se han aplicado en los experimentos, estudiar el impacto que pueden tener otras medidas de semejanza.

- El objetivo de este proyecto se centraba en las características morfológicas, pero existen también las características cromáticas, que estudian el color de los rasgos faciales. Utilizando las fotos en color, sería posible ampliar la lista de las características y posiblemente mejorar el rendimiento del sistema.
- El objetivo de este proyecto era el desarrollo del sistema que trabaje con las imágenes tomadas en un entorno controlado y sólo se ajustaron algunos detalles para un sistema no controlado. Se propone realizar un ajuste más preciso para un sistema no controlado que permitiese utilizar las imágenes sacadas de grabaciones de las cámaras de vídeo vigilancia o teléfonos móviles.
- El porcentaje de los usuarios utilizados para la definición de los umbrales es un parámetro que afecta a la conversión de las características continuas a discretas, por lo que sería interesante estudiar su efecto en los resultados obtenidos. Como trabajo futuro se propone variar el porcentaje del conjunto de los datos dedicados a la definición de los umbrales y ver como este aspecto afecta al rendimiento final del sistema.

Bibliografía

- [1] J. C. Klontz and A. K. Jain. A case study on unconstrained facial recognition using the boston marathon bombings suspects. *Technical Report MSU-CSE-13-4*, 2013.
- [2] A. Ross A.K. Jain, P. Flynn. Handbook of biometrics. *Springer*, 2007.
- [3] Next generation identification. Website. http://fbi.gov/about-us/cjis/fingerprints_biometrics/ngi/ngi2.
- [4] G. Doran G. Porter. An anatomical and photographic technique for forensic facial identification. *Forensic Science International*, vol. 114:97–105, 2000.
- [5] A. Bertillon. *Signaletic Instructions including the theory and practice of Anthropometrical Identification*. The Werner Company, 1896.
- [6] W.W. Bledsoe. Man-machine facial recognition. *Tech. Report. PRI:22, Panoramic Res. Inc.*, 1966.
- [7] A.J. Goldstein and L.D. Harmon. Identification of human faces. *Proceedings of IEEE*, vol.59, no5, pages 748–760, 1971.
- [8] T. Kanade. *Picture Processing System by Computer Complex and Recognition of Human Faces*. Ph.d dissertation, Kyoto University, 1973.
- [9] L. Sirovich and M. Kirby. Low dimensional procedure for the characterization of human faces. *Journal of optical society of America*, vol. 4(no.3):519–524, 1987.
- [10] A. Pentland M. Turk. Eigenfaces for recognition. *Cognitive Neuroscience*, (3):72–86, 1991.
- [11] E. Torres Lezama E. Garnica Olmos P. González Martín, A. Díaz de Pascual. Una aplicación del análisis de componentes principales en el Área educativo. *Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales*, 2008.
- [12] J.P. Hespanha P.L. Belhumeur and D.J. Kriegman. *Eigenfaces vs. Fisherfaces: Recognition Using Class Specific Linear Projection*. *IEEE Trans. on PAMI*, vol. 19, no.7, 1997.
- [13] B. Klare Anil K. Jain and U. Park. Face recognition: some challenges in forensics. *9'th Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, 2011.
- [14] C. Malsburg L. Wiskott, N. Kruger. Face recognition by elastic bunch graph matching. 1999.
- [15] U. Park Z. Li and K. Jain. *A discriminative model for age invariant face recognition*. *IEEE trans. on PAMI*, 2006.
- [16] N.A. Spaun. *Forensic biometrics from images and video at the federal bureau of investigation*. in *Proc. BTAS*, 2007.

- [17] N.A. Spaun. *Facial comparisons by subject matter experts: their role in biometrics and their training*. in Proc. ICB, 2009.
- [18] A.K. Jain U. Park. *Face matching and retrieval using soft biometrics*. IEEE Trans. on IFS, Vol. 5, 2010.
- [19] Pedro Tome. Acquisition scenario analysis for face recognition at a distance. Master's thesis, Universidad Autonoma de Madrid, October 2010. M.Phil.
- [20] B. Klare and K. Jain. *Heterogeneous face recognition: matching NIR to visible light images*. Proc. ICB, 2009.
- [21] D. Lowe. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *Int'l J. Computer vision Vol 60*, pages 91–110, 2004.
- [22] Z. Lei S. Li and M. Ao. *The HFB face database for heterogeneous face biometrics research*. Proc. CVPRW, 2009.
- [23] Facevac software developer kit. Website, 2010. <http://www.cognitec-systems.de>.
- [24] G. J. Edwards T. F. Cootes and C. J. Taylor. Active appearance models. *Proceedings of the European Conference on Computer Vision*, (2):484–498, 1998.
- [25] B. Klare Z. Li and K. Jain. *Matching forensic sketches to mugshot photos*. IEEE trans. on PAMI, 2011.
- [26] L. Farkas. Anthropometry of the head and face. *Raven Press, New-York*, 1994.
- [27] M. Dooley. Anthropometric modeling programs. *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 2:17–25, 1982.
- [28] S. Rogers. Personal identification from human remains. *Charles C. Thomas, Publisher, LTD.,* 1984.
- [29] L. Farkas. *Anthropometric Facial Proportions in Medicine*. Thomas Books, 1987.
- [30] Julian Fierrez Nicomedes Exposito Ruben Vera-Rodriguez, Pedro Tome and Francisco Javier Vega. Analysis of the variability of facial landmarks in a forensic scenario. In *International Workshop on Biometrics and Forensics*, Lisboa, Portugal, April 2013.
- [31] K. Ricanek and T. Tesafaye. Morph: a longitudinal image database of normal adult age-progression. In *Automatic Face and Gesture Recognition, 2006. FGR 2006. 7th International Conference on*, pages 341–345, april 2006.
- [32] Retrato Hablado Dirección General de la Guardia Civil. Website. <http://www.guardiacivil.es/>.
- [33] D. Meuwly. The use of biometric information in forensic practice. *Netherlands Forensic Institute*, 2012.
- [34] European network of forensic science institutes. Website. <http://enfsi.eu>.
- [35] ISO/IEC JTC 1/SC 37 N 504. Biometric data interchange formats part 5: Face image. *ISO*, 2004.
- [36] Luis Blázquez Pérez. *Reconocimiento basado en los puntos característicos de la cara en entornos no controlados*. Pfc, EPS UAM, 2013.

- [37] S.S. Stevens. On the theory of scales measurement. *Science*, (no.103(2684)):677–680, 1946.
- [38] K. Koutroumbas S. Theodoridis. *Pattern Recognition*. Elsevier, 2009.
- [39] J. Novovicová P. Pudil and J. Kittler. Floating search methods in feature selection. *Pattern Recognition Letters*, (15(11)):1119–1125, 1994.

Anexos



Presupuesto

1) Ejecución Material	
▪ Compra de ordenador personal (Software incluido)	1900 €
▪ Alquiler de impresora láser durante 6 meses	200 €
▪ Material de oficina	200 €
▪ Total de ejecución material	2300 €
2) Gastos generales	
▪ sobre Ejecución Material	368 €
3) Beneficio Industrial	
▪ sobre Ejecución Material	138 €
4) Honorarios Proyecto	
▪ 1200 horas a 15 €/ hora	18000 €
5) Material fungible	
▪ Gastos de impresión	150 €
▪ Encuadernación	200 €
6) Subtotal del presupuesto	
▪ Subtotal Presupuesto	20650 €
7) I.V.A. aplicable	
▪ 21 % Subtotal Presupuesto	4336,50 €
8) Total presupuesto	
▪ Total Presupuesto	24986,50 €

Madrid, Septiembre 2013
El Ingeniero Jefe de Proyecto

Fdo.: Maya Binetskaya
Ingeniero Superior de Telecomunicación



Pliego de condiciones

PLIEGO DE CONDICIONES

Este documento contiene las condiciones legales que guiarán la realización, en este proyecto, de un sistema de *Reconocimiento Facial en el Ámbito Forense*. En lo que sigue, se supondrá que el proyecto ha sido encargado por una empresa cliente a una empresa consultora con la finalidad de realizar dicho sistema. Dicha empresa ha debido desarrollar una línea de investigación con objeto de elaborar el proyecto. Esta línea de investigación, junto con el posterior desarrollo de los programas está amparada por las condiciones particulares del siguiente pliego.

Supuesto que la utilización industrial de los métodos recogidos en el presente proyecto ha sido decidida por parte de la empresa cliente o de otras, la obra a realizar se regulará por las siguientes:

Condiciones generales.

1. La modalidad de contratación será el concurso. La adjudicación se hará, por tanto, a la proposición más favorable sin atender exclusivamente al valor económico, dependiendo de las mayores garantías ofrecidas. La empresa que somete el proyecto a concurso se reserva el derecho a declararlo desierto.
2. El montaje y mecanización completa de los equipos que intervengan será realizado totalmente por la empresa licitadora.
3. En la oferta, se hará constar el precio total por el que se compromete a realizar la obra y el tanto por ciento de baja que supone este precio en relación con un importe límite si este se hubiera fijado.
4. La obra se realizará bajo la dirección técnica de un Ingeniero Superior de Telecomunicación, auxiliado por el número de Ingenieros Técnicos y Programadores que se estime preciso para el desarrollo de la misma.
5. Aparte del Ingeniero Director, el contratista tendrá derecho a contratar al resto del personal, pudiendo ceder esta prerrogativa a favor del Ingeniero Director, quien no estará obligado a aceptarla.

6. El contratista tiene derecho a sacar copias a su costa de los planos, pliego de condiciones y presupuestos. El Ingeniero autor del proyecto autorizará con su firma las copias solicitadas por el contratista después de confrontarlas.
7. Se abonará al contratista la obra que realmente ejecute con sujeción al proyecto que sirvió de base para la contratación, a las modificaciones autorizadas por la superioridad o a las órdenes que con arreglo a sus facultades le hayan comunicado por escrito al Ingeniero Director de obras siempre que dicha obra se haya ajustado a los preceptos de los pliegos de condiciones, con arreglo a los cuales, se harán las modificaciones y la valoración de las diversas unidades sin que el importe total pueda exceder de los presupuestos aprobados. Por consiguiente, el número de unidades que se consignan en el proyecto o en el presupuesto, no podrá servirle de fundamento para entablar reclamaciones de ninguna clase, salvo en los casos de rescisión.
8. Tanto en las certificaciones de obras como en la liquidación final, se abonarán los trabajos realizados por el contratista a los precios de ejecución material que figuran en el presupuesto para cada unidad de la obra.
9. Si excepcionalmente se hubiera ejecutado algún trabajo que no se ajustase a las condiciones de la contrata pero que sin embargo es admisible a juicio del Ingeniero Director de obras, se dará conocimiento a la Dirección, proponiendo a la vez la rebaja de precios que el Ingeniero estime justa y si la Dirección resolviera aceptar la obra, quedará el contratista obligado a conformarse con la rebaja acordada.
10. Cuando se juzgue necesario emplear materiales o ejecutar obras que no figuren en el presupuesto de la contrata, se evaluará su importe a los precios asignados a otras obras o materiales análogos si los hubiere y cuando no, se discutirán entre el Ingeniero Director y el contratista, sometiéndolos a la aprobación de la Dirección. Los nuevos precios convenidos por uno u otro procedimiento, se sujetarán siempre al establecido en el punto anterior.
11. Cuando el contratista, con autorización del Ingeniero Director de obras, emplee materiales de calidad más elevada o de mayores dimensiones de lo estipulado en el proyecto, o sustituya una clase de fabricación por otra que tenga asignado mayor precio o ejecute con mayores dimensiones cualquier otra parte de las obras, o en general, introduzca en ellas cualquier modificación que sea beneficiosa a juicio del Ingeniero Director de obras, no tendrá derecho sin embargo, sino a lo que le correspondería si hubiera realizado la obra con estricta sujeción a lo proyectado y contratado.
12. Las cantidades calculadas para obras accesorias, aunque figuren por partida alzada en el presupuesto final (general), no serán abonadas sino a los precios de la contrata, según las condiciones de la misma y los proyectos particulares que para ellas se formen, o en su defecto, por lo que resulte de su medición final.
13. El contratista queda obligado a abonar al Ingeniero autor del proyecto y director de obras así como a los Ingenieros Técnicos, el importe de sus respectivos honorarios facultativos por formación del proyecto, dirección técnica y administración en su caso, con arreglo a las tarifas y honorarios vigentes.
14. Concluida la ejecución de la obra, será reconocida por el Ingeniero Director que a tal efecto designe la empresa.
15. La garantía definitiva será del 4% del presupuesto y la provisional del 2%.
16. La forma de pago será por certificaciones mensuales de la obra ejecutada, de acuerdo con los precios del presupuesto, deducida la baja si la hubiera.

17. La fecha de comienzo de las obras será a partir de los 15 días naturales del replanteo oficial de las mismas y la definitiva, al año de haber ejecutado la provisional, procediéndose si no existe reclamación alguna, a la reclamación de la fianza.
18. Si el contratista al efectuar el replanteo, observase algún error en el proyecto, deberá comunicarlo en el plazo de quince días al Ingeniero Director de obras, pues transcurrido ese plazo será responsable de la exactitud del proyecto.
19. El contratista está obligado a designar una persona responsable que se entenderá con el Ingeniero Director de obras, o con el delegado que éste designe, para todo relacionado con ella. Al ser el Ingeniero Director de obras el que interpreta el proyecto, el contratista deberá consultarle cualquier duda que surja en su realización.
20. Durante la realización de la obra, se girarán visitas de inspección por personal facultativo de la empresa cliente, para hacer las comprobaciones que se crean oportunas. Es obligación del contratista, la conservación de la obra ya ejecutada hasta la recepción de la misma, por lo que el deterioro parcial o total de ella, aunque sea por agentes atmosféricos u otras causas, deberá ser reparado o reconstruido por su cuenta.
21. El contratista, deberá realizar la obra en el plazo mencionado a partir de la fecha del contrato, incurriendo en multa, por retraso de la ejecución siempre que éste no sea debido a causas de fuerza mayor. A la terminación de la obra, se hará una recepción provisional previo reconocimiento y examen por la dirección técnica, el depositario de efectos, el interventor y el jefe de servicio o un representante, estampando su conformidad el contratista.
22. Hecha la recepción provisional, se certificará al contratista el resto de la obra, reservándose la administración el importe de los gastos de conservación de la misma hasta su recepción definitiva y la fianza durante el tiempo señalado como plazo de garantía. La recepción definitiva se hará en las mismas condiciones que la provisional, extendiéndose el acta correspondiente. El Director Técnico propondrá a la Junta Económica la devolución de la fianza al contratista de acuerdo con las condiciones económicas legales establecidas.
23. Las tarifas para la determinación de honorarios, reguladas por orden de la Presidencia del Gobierno el 19 de Octubre de 1961, se aplicarán sobre el denominado en la actualidad "Presupuesto de Ejecución de Contrataz anteriormente llamado "Presupuesto de Ejecución Material" que hoy designa otro concepto.

Condiciones particulares.

La empresa consultora, que ha desarrollado el presente proyecto, lo entregará a la empresa cliente bajo las condiciones generales ya formuladas, debiendo añadirse las siguientes condiciones particulares:

1. La propiedad intelectual de los procesos descritos y analizados en el presente trabajo, pertenece por entero a la empresa consultora representada por el Ingeniero Director del Proyecto.
2. La empresa consultora se reserva el derecho a la utilización total o parcial de los resultados de la investigación realizada para desarrollar el siguiente proyecto, bien para su publicación o bien para su uso en trabajos o proyectos posteriores, para la misma empresa cliente o para otra.
3. Cualquier tipo de reproducción aparte de las reseñadas en las condiciones generales, bien sea para uso particular de la empresa cliente, o para cualquier otra aplicación, contará con autorización expresa y por escrito del Ingeniero Director del Proyecto, que actuará en representación de la empresa consultora.

4. En la autorización se ha de hacer constar la aplicación a que se destinan sus reproducciones así como su cantidad.
5. En todas las reproducciones se indicará su procedencia, explicitando el nombre del proyecto, nombre del Ingeniero Director y de la empresa consultora.
6. Si el proyecto pasa la etapa de desarrollo, cualquier modificación que se realice sobre él, deberá ser notificada al Ingeniero Director del Proyecto y a criterio de éste, la empresa consultora decidirá aceptar o no la modificación propuesta.
7. Si la modificación se acepta, la empresa consultora se hará responsable al mismo nivel que el proyecto inicial del que resulta el añadirla.
8. Si la modificación no es aceptada, por el contrario, la empresa consultora declinará toda responsabilidad que se derive de la aplicación o influencia de la misma.
9. Si la empresa cliente decide desarrollar industrialmente uno o varios productos en los que resulte parcial o totalmente aplicable el estudio de este proyecto, deberá comunicarlo a la empresa consultora.
10. La empresa consultora no se responsabiliza de los efectos laterales que se puedan producir en el momento en que se utilice la herramienta objeto del presente proyecto para la realización de otras aplicaciones.
11. La empresa consultora tendrá prioridad respecto a otras en la elaboración de los proyectos auxiliares que fuese necesario desarrollar para dicha aplicación industrial, siempre que no haga explícita renuncia a este hecho. En este caso, deberá autorizar expresamente los proyectos presentados por otros.
12. El Ingeniero Director del presente proyecto, será el responsable de la dirección de la aplicación industrial siempre que la empresa consultora lo estime oportuno. En caso contrario, la persona designada deberá contar con la autorización del mismo, quien delegará en él las responsabilidades que ostente.