



**Universidad**  
Zaragoza

# Trabajo Fin de Grado

Control de acceso y registro de horario en la empresa mediante reconocimiento facial

Business Access Control and Time Schedule Registration Using Face Recognition

Autor

Néstor Doñate Marqués

Director

Javier Esteban Escaño

Escuela Universitaria Politécnica La Almunia  
2021





**Escuela Universitaria  
Politécnica - La Almunia**  
Centro adscrito  
**Universidad Zaragoza**

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA  
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

**MEMORIA**

Control de acceso y registro de horario en  
la empresa mediante reconocimiento  
facial

Business Access Control and Time  
Schedule Registration Using Face  
Recognition

424.20.17

Autor: Néstor Doñate Marqués

Director: Javier Esteban Escaño

Fecha: Septiembre-2021



## INDICE BREVE

<b>1. Introducción.....</b>	<b>12</b>
<b>2. Estado del arte.....</b>	<b>20</b>
<b>3. Desarrollo.....</b>	<b>66</b>
<b>4. Conclusiones.....</b>	<b>103</b>
<b>5. Bibliografía.....</b>	<b>105</b>

## INDICE DE CONTENIDO

<b>1. Introducción.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1. Resumen.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2. Objetivos.....</b>	<b>14</b>
<b>1.3. Abstract.....</b>	<b>15</b>
<b>1.4. Palabras clave.....</b>	<b>15</b>
<b>1.5. Antecedentes.....</b>	<b>16</b>
<b>2. Estado del arte.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1. Cerraduras.....</b>	<b>20</b>
2.1.1. Tipos de cerraduras.....	20
2.1.1.1. Cerraduras de pomo.....	20
2.1.1.2. Cerraduras de seguridad.....	20
2.1.1.2.1. Cerraduras embutidas o empotradas.....	21
2.1.1.2.2. Cerraduras multipunto.....	21
2.1.1.2.3. Cerraduras superpuestas.....	22
2.1.1.6. Cerraduras digitales.....	23
2.1.1.7. Cerraduras de gorjas.....	24
2.1.1.8. Cerraduras eléctricas o de golpe eléctrico.....	24
2.1.2. Partes de una cerradura.....	29

---

## Introducción

2.1.2.1. Bombín .....	29
2.1.2.2. Pomo .....	30
2.1.2.3. Frontal.....	30
2.1.2.4. Resbalón.....	31
2.1.2.5. Pestillo.....	31
2.1.2.6. Cerradero .....	32
<b>2.2. Visión Artificial .....</b>	<b>33</b>
2.2.1. ¿Qué es la visión artificial?.....	33
2.2.2. Métodos de captación de imágenes .....	34
2.2.3. Cámaras .....	36
2.2.3.1. Tipos de sensores de imagen .....	38
2.2.3.1.1. Sensores CDD .....	38
2.2.3.1.2. Sensores CMOS .....	38
2.2.3.1.3. Sensores FPA.....	39
2.2.3.1.4. Sensores Infrarrojos o microbolómetros .....	39
2.2.4. Iluminación .....	41
2.2.5. Software.....	44
2.2.6. Tipos de sistemas de visión artificial.....	46
2.2.6.1. Sistemas de visión 1D.....	46
2.2.6.2. Sistemas de visión 2D.....	46
2.2.6.3. Sistemas de visión 3D.....	48
2.2.7. Reconocimiento facial.....	49
2.2.7.1. ¿Dónde se utiliza? .....	51
2.2.7.2. Técnicas y algoritmos.....	54
2.2.7.2.1. Holísticos.....	54
2.2.7.2.2. Pingo .....	55
2.2.8. Detección facial.....	57
2.2.8.1. Template Matching.....	57
2.2.8.2. Knowledge Based .....	57
2.2.8.3. Feature Based .....	58
2.2.8.4. Appearance Based .....	58
<b>2.3. Acceso a bases de datos a través de webservices .....</b>	<b>60</b>
2.3.1. ¿Qué es una base de datos? .....	60
2.3.1.1. Bases de datos relacionales .....	60
2.3.1.2. Bases de datos distribuidas.....	61
2.3.1.3. Bases de datos NoSQL.....	61

2.3.1.3.1. Bases de datos orientadas a objetos .....	62
2.3.1.5. Bases de datos gráficas .....	62
2.3.2. ¿Qué es un servicio web o webservice? .....	63
2.3.2.1. Webservices basados en XML .....	64
2.3.2.2. Webservices basados en JSON .....	65
<b>3. Desarrollo .....</b>	<b>66</b>
<b>3.1. Prueba de diferentes placas de arduino basadas en ESP-32 .....</b>	<b>66</b>
3.1.1. Instalación y funcionamiento de las placas ESP-32 .....	67
3.1.1.2. Instalación de la tarjeta ESP-32 en Arduino IDE .....	67
3.1.1.3. Lectura del terminal de puerto serie mediante "Hercules SETUP utility" .....	69
3.1.2. Código en Arduino para el funcionamiento de las placas ESP-32 .....	70
3.1.3. Prueba de la placa ESP-32 OV2640 V1.0 TTGO T-Journal .....	71
3.1.4. Prueba de la placa ESP-32 Ai-Thinker .....	75
3.1.5. Prueba de la placa ESP-32 OV2640 8225N V2.0 .....	78
<b>3.2. Búsqueda de placas con PSRAM .....</b>	<b>81</b>
3.2.1. Prueba de la placa TTGO T-Camera ESP32-WROVER-B OV2640 .....	81
<b>3.3. Guardado de caras en el servidor web .....</b>	<b>86</b>
<b>3.4. Organigrama y casos de uso .....</b>	<b>89</b>
3.4.1. Organigrama .....	89
3.4.2. Casos de uso .....	90
<b>3.5. Diseño del sistema de apertura de la puerta .....</b>	<b>93</b>
3.5.1. Dimensionamiento del sistema de control de la cerradura .....	93
3.5.2. Diseño del esquema electrónico .....	94
3.5.1. Dimensionamiento del SAI .....	97
3.5.1.1. Obtención de 3.3V DC a partir de los 12V DC del SAI .....	98
3.5.2. Diseño del sistema de iluminación .....	99
3.5.2.1. Dimensionamiento del sistema de activación del foco .....	100
3.5.2.2. Diseño 3D del sistema completo .....	102
<b>4. Conclusiones .....</b>	<b>103</b>
<b>5. Bibliografía .....</b>	<b>105</b>

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Puertas con reconocimiento facial incorporado en Osaka, Japón (Panasonic, 2021) .....	16
Ilustración 2. Sistema de reconocimiento facial en aeropuerto de EEUU (Reconocimiento facial y su seguridad, 2021) .....	17
Ilustración 3. Tarjeta de acceso RFID (Tarjetas RFID, 2018) .....	18
Ilustración 4. Sistema de control de acceso por reconocimiento facial comercial 3D Hanvon Face ID (Reconocimiento facial, 2021) .....	19
Ilustración 5. Cerradura de pomo (Cerradura de pomos, 2020) .....	20
Ilustración 6. Cerradura embutida o empotrada (Cómo elegir una cerradura, 2017) .....	21
Ilustración 7. Cerradura multipunto (Cómo elegir una cerradura, 2017).....	22
Ilustración 8. Cerradura superpuesta (Cerradura de sobreponer multipunto, 2020) .....	22
Ilustración 9. Cerradura digital (Cerradura Digital Hyundai, 2021) .....	23
Ilustración 10. Cerradura Gorja con sus llaves (Cerraduras de gorjas, 2017)....	24
Ilustración 11. Cerradura eléctrica con funcionamiento normal (Cerradura Electrónica, 2017) .....	25
Ilustración 12. Gráfica de relación entre tiempo de apertura y tiempo de pulsación en cerraduras de Funcionamiento Automático Temporizado (Cerradura Electrónica, 2017) .....	25
Ilustración 13. Cerradura con Funcionamiento Automático (Cerradura Electrónica, 2017) .....	26
Ilustración 14. Cerradura con Funcionamiento Automático Deslizante(Cerradura Electrónica, 2017) .....	26
Ilustración 15. Cerradura con Funcionamiento Automático Deslizante (Cerradura Electrónica, 2017) .....	27
Ilustración 16. Cerradura con Funcionamiento Invertido DC (Cerradura Electrónica, 2017) .....	27



Ilustración 17. Cerradura con Funcionamiento por Conmutación (Cerradura Electrónica, 2017) .....	28
Ilustración 18. Pernos de bombín actuados por la llave (Partes de las diferentes cerraduras, 2020).....	29
Ilustración 19. Bombín estándar (Partes de las diferentes cerraduras, 2020) ....	29
Ilustración 20. Pomo giratorio (Pomos puerta, 2016) .....	30
Ilustración 21. Frontal de cerradura con extremos cuadrados (Frontal para cerradura, 2021) .....	30
Ilustración 22. Resbalón en posición de bloqueo o extendido (Partes de las diferentes cerraduras, 2020) .....	31
Ilustración 23. Pestillo de puerta en posición extendida o de bloqueo (Partes de las diferentes cerraduras, 2020) .....	31
Ilustración 24. Cerradero con espacios para resbalón y pestillo (Cerradero recto, 2018).....	32
Ilustración 25. Cámara de visión artificial en una línea de producción automatizada (Sistemas de Visión Artificial Industrial, 2020) .....	33
Ilustración 26. Comparación de píxeles que captan las diferentes resoluciones (Sistemas de Visión Artificial Industrial, 2020) .....	34
Ilustración 27. Cámara con reconocimiento de matrículas automático (Sistemas de Visión Artificial Industrial, 2020) .....	35
Ilustración 28. Cámara de visión infrarroja (Cámara de infrarrojos, 2018) .....	36
Ilustración 29. Cámara de rayos X (Cámaras de visión industrial, 2018) .....	37
Ilustración 30. Cámara ultravioleta (Cámaras de visión industrial, 2018) .....	37
Ilustración 31. Cámara multiespectral (Cámaras de visión industrial, 2018) .....	37
Ilustración 32. Sensor CDD (Cámaras de visión industrial, 2018) .....	38
Ilustración 33. Sensor CMOS (Cámaras de visión industrial, 2018).....	39
Ilustración 34. Sensor de tipo FPA (Cámaras de visión industrial, 2018) .....	39
Ilustración 35. Cámara con microbolómetro (Cámaras de visión industrial, 2018) .....	40
Ilustración 36. Iluminación de fondo (Introducción a la visión artificial, 2021) ..	41

Introducción

Ilustración 37. Iluminación difusa axial (Introducción a la visión artificial, 2021)	41
Ilustración 38. Iluminación estructurada (Introducción a la visión artificial, 2021)	42
Ilustración 39. Iluminación de campo oscuro (Introducción a la visión artificial, 2021)	42
Ilustración 40. Iluminación de campo brillante (Introducción a la visión artificial, 2021)	42
Ilustración 41. Iluminación de domo difusa (Introducción a la visión artificial, 2021)	43
Ilustración 42. Software de visión artificial AUTOvision (Introducción a la visión artificial, 2021)	44
Ilustración 43. Sistema de visión 1D en el que se analiza una línea de producción (Introducción a la visión artificial, 2021)	46
Ilustración 44. Diferentes resoluciones capturadas con una misma cámara 2D (Introducción a la visión artificial, 2021)	46
Ilustración 45. Visión 2D con análisis línea por línea de una banda transportadora (Introducción a la visión artificial, 2021)	47
Ilustración 46. Sistema 2D analizando una cinta en movimiento (Introducción a la visión artificial, 2021)	47
Ilustración 47. Sistema de visión 3D con cámaras múltiples (Introducción a la visión artificial, 2021)	48
Ilustración 48. Sistema de visión 3D con una cámara analizando una pastilla de freno (Introducción a la visión artificial, 2021)	48
Ilustración 49. Sistema de reconocimiento facial por puntos (Izquierda) y por vectores (Derecha) (Reconocimiento facial: definición y explicación, 2021)	49
Ilustración 50. Cámara procesando un reconocimiento facial por vectores (Reconocimiento facial: definición y explicación, 2021)	50
Ilustración 51. Centro de datos de Facebook en Suecia (Reconocimiento facial y su seguridad, 2021)	51
Ilustración 52. Reconocimiento facial "FaceID", sistema de desbloqueo propio de Apple (Reconocimiento facial, 2021)	52

Ilustración 53. Sistema de reconocimiento facial en aeropuertos (Reconocimiento facial y su seguridad, 2021).....	52
Ilustración 54. Cámara de reconocimiento facial para la identificación de delitos en comercios (Reconocimiento facial y su seguridad, 2021).....	53
Ilustración 55. Cartel publicitario con reconocimiento facial incorporado (Reconocimiento facial, 2021) .....	54
Ilustración 56. Reconocimiento facial holístico analizando diferentes parámetros de un rostro (Sistema de reconocimiento facial, 2021) .....	55
Ilustración 57. Reconocimiento facial en 3D tomando diferentes parámetros de un rostro (Sistema de reconocimiento facial, 2021) .....	55
Ilustración 58. Malla creada sobre una cara mediante una cámara de reconocimiento facial en 3D (Sistema de reconocimiento facial, 2021) .....	56
Ilustración 59. Ejemplo de Template Matching en el que, con una moneda como base (Izquierda), reconoce si ésta se encuentra en la imagen (Central) y da el resultado (Izquierda) (Sistema de reconocimiento facial, 2021).....	57
Ilustración 60. Ejemplo de Feature Based (Sistema de reconocimiento facial, 2021) .....	58
Ilustración 61. Detección facial mediante Appearance Based (Sistema de reconocimiento facial, 2021) .....	58
Ilustración 62. Servidores de una base de datos (Base de datos, 2019).....	60
Ilustración 63. Ejemplo de base de datos relacional (Base de datos, 2019) .....	61
Ilustración 64. Ejemplo de los parámetros de un coche que se podrían almacenar en una base de datos orientada a objetos (Bases de datos NoSQL, 2019).....	62
Ilustración 65. Ejemplo de base de datos gráfica (Base de datos de gráficos, 2021) .....	63
Ilustración 66. Ejemplo de cómo distintos dispositivos pueden comunicarse con un mismo webservice mediante lenguaje XML o JSON (Web services, 2017) .....	64
Ilustración 67. Ejemplo de código en XML (¿Qué es XML?, 2019) .....	65
Ilustración 68. Ejemplo de código JSON (Web service con JSON, 2015) .....	65
Ilustración 69. Link a insertar en el apartado Gestor de URLs Adicionales de Tarjetas (Elaboración propia a partir de Arduino IDE).....	67

---

## Introducción

Ilustración 70. Descarga de las tarjetas ESP-32 en Arduino IDE (Elaboración propia a partir de Arduino IDE) .....	67
Ilustración 71. Selección de la Placa ESP-32 en Arduino IDE (Elaboración propia a partir de Arduino IDE).....	68
Ilustración 72. Selección del tamaño de la partición de memoria que dedicaremos al programa de Arduino (Elaboración propia a partir de Arduino IDE) .....	68
Ilustración 73. Botón para abrir y cerrar el puerto serie en el programa Hercules (Elaboración propia a partir de Hercules) .....	69
Ilustración 74. Captura del programa Hercules, indicando la dirección a buscar en el navegador web (Elaboración propia a partir de Hercules) .....	69
Ilustración 75. Código ejemplo de CameraWebServer para el funcionamiento de las placas ESP-32 (Elaboración propia a partir de Arduino IDE) .....	70
Ilustración 76. Selección del modelo de cámara ESP-32 en el código de Arduino (Elaboración propia a partir de Arduino IDE) .....	70
Ilustración 77. SSID y clave de la red WiFi a emplear en el código de Arduino (Elaboración propia a partir de Arduino IDE) .....	70
Ilustración 78. Módulo ESP-32 TTGO OV2640 en funcionamiento (Elaboración propia).....	71
Ilustración 79. Dimensiones de la placa ESP-32 OV2640 (TTGO OV2640, 2021) .....	72
Ilustración 80. Captura de la aplicación Hercules en la que indica la dirección web a buscar en el navegador (Elaboración propia a partir de Hércules).....	73
Ilustración 81. Captura del buscador Google Chrome con la dirección del servidor de Streaming (Elaboración propia a partir de Google Chrome) .....	73
Ilustración 82. Detalle del botón para comenzar a capturar imágenes en el servidor de streaming (Elaboración propia a partir de Google Chrome) .....	73
Ilustración 83. Captura de imagen de prueba con el TTGO OV2640 en el servidor de Streaming (Elaboración propia a partir de Google Chrome) .....	73
Ilustración 84. Opción de reconocimiento facial en el servidor de Streaming (Elaboración propia a partir de Google Chrome) .....	74
Ilustración 85. Error en el programa Hercules al tratar de activar el reconocimiento facial en el servidor de Streaming (Elaboración propia a partir de Hércules) .....	74

Ilustración 86. Dimensiones y pines de la placa ESP-32 Ai-Thinker (ESP32-CAM, 2021).....	76
Ilustración 87. Esquema de conexionado del conversor FTDI con la placa ESP-32 (ESP32-CAM, 2021) .....	76
Ilustración 88. Selección de la placa AI-Thinker dentro de la App Arduino IDE (Elaboración propia a partir de Arduino IDE) .....	77
Ilustración 89. Selección de la cámara Ai-Thinker dentro del código de Arduino IDE (Elaboración propia a partir de Arduino IDE) .....	77
Ilustración 90. Módulo ESP-32 OV2640 8225N conectado mediante USB Tipo-C al puerto USB del ordenador (Elaboración propia) .....	78
Ilustración 91. Selección del modelo de cámara ESP-32 dentro de la App Arduino IDE (Elaboración propia a partir de Arduino IDE) .....	79
Ilustración 92. Botón de comienzo de Stream dentro de la plataforma de Streaming del ESP-32 (Elaboración propia a partir de Google Chrome).....	79
Ilustración 93. Prueba del ESP-32 OV2640 8225N con resolución 320 x 240 (Elaboración propia a partir de Google Chrome) .....	79
Ilustración 94. Prueba del ESP-32 OV2640 8225N con resolución 1024 x 768 (Elaboración propia a partir de Google Chrome) .....	80
Ilustración 95. Dentro de la plataforma de Streaming, botón de activación de reconocimiento facial (Elaboración propia a partir de Google Chrome).....	80
Ilustración 96. Fallo en la matriz al tratar de activar el reconocimiento facial en la plataforma de Streaming del ESP-32 (Elaboración propia a partir de Hercules) .....	80
Ilustración 97. Pines de la placa TTGO T-Camera ESP32-WROVER-B OV2640 (ESP32 TTGO T-Camera with PIR, 2021) .....	82
Ilustración 98. Redefinición correcta de los pines del modelo CAMERA_MODEL_AI_THINKER (Elaboración propia a partir de Arduino IDE) .....	83
Ilustración 99. Opciones de reconocimiento facial activadas (Elaboración propia a partir de Google Chrome) .....	83
Ilustración 100. Aviso de que la máxima resolución con la que se puede ejecutar el reconocimiento facial es CIF (400x296) (Elaboración propia a partir de Google Chrome).....	84

---

## Introducción

Ilustración 101. Selección de la resolución CIF (Elaboración propia a partir de Google Chrome) .....	84
Ilustración 102. Cuadrado amarillo indicando la detección de una cara (Elaboración propia a partir de Google Chrome).....	84
Ilustración 103. Botón de Enroll Face para inscribir caras (Elaboración propia a partir de Google Chrome) .....	85
Ilustración 104. Asociación de cara con sujeto 0 (Elaboración propia a partir de Google Chrome) .....	85
Ilustración 105. Código que se ejecuta cuando el ESP-32 recibe una solicitud (Elaboración propia a partir de Arduino IDE) .....	86
Ilustración 106. Código que se ejecuta cuando realizamos una captura (Elaboración propia a partir de Arduino IDE) .....	86
Ilustración 107. Código que se ejecuta para enviar la nueva captura al servicio web (Elaboración propia a partir de Arduino IDE) .....	86
Ilustración 108. Código que inicializa el servicio web (Elaboración propia a partir de Arduino IDE) .....	86
Ilustración 109. Código en el que se indica el tiempo que dura el reconocimiento facial (Elaboración propia a partir de Arduino IDE) .....	87
Ilustración 110. Definición de parámetros al principio del código, incluyendo la creación de la lista de caras (Elaboración propia a partir de Arduino IDE) .....	87
Ilustración 111. Ejemplo de uso de la lista en la que se almacenan los nombres de cada rostro reconocido (Elaboración propia a partir de Arduino IDE) .....	87
Ilustración 112. Parte del código que indica si la cara se encuentra en la lista de rostros reconocidos o no (Elaboración propia a partir de Arduino IDE) .....	88
Ilustración 113. Sistema de control de la cerradura eléctrica mediante reconocimiento facial, y mediante teclado.....	94
Ilustración 114. Expansor de puertos I2C modelo MCP23017 (MCP23017 Expansor de Puertos Bidireccional de 16-Bit-E/S, 2021) .....	95
Ilustración 115. Esquema electrónico realizado mediante el software KiCad (Elaboración propia a partir de KiCad).....	95
Ilustración 116. PCB creada mediante la aplicación KiCad (Elaboración propia a partir de KiCad).....	96

Ilustración 117. SAI 12V DC 2600 mA con conector Schuko a 230V AC (Mini SAI DC 12V, 2021) .....	98
Ilustración 118. Convertidor 12VDC a 3.3VDC (Elaboración propia a partir de KiCad).....	98
Ilustración 119. Foco modelo Aputure AL-F7 diseñado para iluminación de escenas con rostros (Aputure AL-F7 – Thomann España, 2019) .....	99
Ilustración 120. Rodeado en rojo, el sensor PIR incorporado en la placa ESP-32 (ESP32 TTGO T-Camera with PIR, 2021) .....	100
Ilustración 121. Sistema de control del foco LED (Elaboración propia a partir de KiCad).....	101
Ilustración 122. Diseño en 3D aproximado del montaje del sistema (Elaboración propia a partir de Paint) .....	102

## 1. INTRODUCCIÓN

El motivo principal de la elección de este tema para el proyecto, es el conseguir hacer llegar la tecnología de reconocimiento facial, la cual está cada día más extendida en la vida cotidiana, a una mayor cantidad de gente mediante un sistema fiable y que nos permita ahorrar tiempo al "fichar" en la entrada y salida del trabajo.

El objetivo es implementar el sistema en la puerta de entrada y salida a la empresa o lugar de trabajo, reconociendo la cara de cada persona cuando llega, contando el tiempo que la persona está dentro de la empresa, y dejando de contar cuando reconozca la cara de la persona saliendo de la empresa.

Al realizarlo de forma económica, conseguiremos ampliar el abanico de empresas que podrán acceder a este sistema, ya que, de realizarlo con componentes de coste elevado, muchas pequeñas empresas no podrían permitirse el sobrecoste de este sistema.

La elección de basar el proyecto en Arduino ya facilita el que el proyecto sea realizado con unos bajos costes, y además nos asegura que hay una gran comunidad detrás en la que apoyarnos a la hora de necesitar resolver dudas o problemas relacionados con el software o con el hardware de nuestra placa.

Cabe mencionar que las diferentes placas de Arduino ESP-32 han sido prestadas por el tutor del TFG, Javier Esteban Escaño, quien además me informó de forma detallada las grandes posibilidades que permiten este tipo de placas, y promoviendo mi interés por ellas.



## 1.1. RESUMEN

En primer lugar, el proyecto consistirá en buscar una placa de Arduino ya comercializada que lleve incorporada una cámara, y nos permita tener una capacidad de procesamiento lo suficientemente elevada como para poder reconocer caras. Este tipo de cámaras sobre la base de Arduino se denominan ESP-32.

Una vez encontradas las placas de Arduino ESP-32 con cámara incorporada a probar, se procederá a instalar sus drivers en el ordenador, escribir el programa en código C para ejecutarlo en el entorno de desarrollo integrado de Arduino, denominado Arduino IDE. En esta aplicación de desarrollo de Arduino, se deberán descargar e instalar las tarjetas a usar en nuestro proyecto, para así poder seleccionarlas y usarlas.

Para leer el terminal de puerto serie, se empleará el programa "Hercules SETUP utility", el cual nos permite cerrar el puerto para subir nuestro programa a la placa, además de comprobar el funcionamiento de ésta.

Una vez subido el programa a la placa, buscando en el navegador web la dirección indicada por el programa Hércules, se podrán ver las imágenes que capta la cámara.

Entonces, se tratará de activar el reconocimiento artificial de caras que se encuentra disponible en esta dirección web.

En el caso de que no sea posible el reconocimiento facial debido a que estas placas no tienen incorporada memoria PSRAM, se pasará a buscar una alternativa a estas placas.

La alternativa será diseñar mediante la aplicación de diseño de circuitos denominada "KiCad" una placa que pueda funcionar con el software de Arduino, incorporándole una memoria PSRAM lo suficientemente elevada como para que nuestra placa sea capaz de realizar el reconocimiento artificial de caras que estamos buscando.

Además, se incorporará un teclado para que, en caso de que no se pueda reconocer la cara de la persona, debido a cualquier motivo como puede ser que la cámara se empañe, que la persona lleve algo que le tape la cara, etcétera, la persona pueda teclear su código personal para indicar su llegada y salida de la empresa.

## 1.2. OBJETIVOS

El objetivo de este proyecto es, mediante una placa que incorpore un microprocesador y una cámara, poder crear un sistema que reconozca las caras de los empleados de una empresa, para, en vez de indicar su llegada y salida del trabajo mediante una tarjeta o similar, sean reconocidos automáticamente mediante nuestro sistema.

Una vez reconocida una cara, se relacionará con el nombre del empleado y comenzará a contar el tiempo que el empleado pasa dentro de la empresa. En el momento en el que reconozca la cara del empleado en la salida, dejará de contar y almacenará el tiempo que el empleado ha pasado dentro de la empresa.

Además, se busca realizarlo con placas y materiales económicos, permitiendo a cualquier empresa incorporarlo sin tener que realizar un elevado desembolso.

Añadiremos también un teclado numérico, para que, de forma auxiliar en el caso de que no se pueda reconocer alguna cara, el empleado pueda teclear su código y se le reconozca.

El empleo de placas basadas en Arduino permitirá actualizar el software de las placas de forma sencilla, para que, si se encuentra un fallo de seguridad o una forma más rápida de reconocer las caras, poder solucionarlo sin tener que invertir una mayor cantidad de dinero en actualizar componentes.

Para realizar este proyecto, en primer lugar, se analizarán las placas basadas en Arduino ya existentes en el mercado. Habrá que decidir si las placas que podemos comprar actualmente son válidas para llevar a cabo este proyecto, o si por lo contrario no cumplen con las exigencias necesarias para este proyecto. En el caso de que no las cumplieran, se procederá a diseñar una placa electrónica mediante el programa de diseño de esquemas electrónicos "KiCad", y se mandaría imprimir este esquema electrónico en una empresa especializada.

### 1.3. ABSTRACT

The objective of this project is, by means of a plate that incorporates a microprocessor and a camera, to be able to create a system that recognizes the faces of the employees of a company, for, instead of indicating their arrival and departure from work by means of a card or similar, are automatically recognized by our system.

Once a face is recognized, it will be related to the name of the employee and will begin to count the time that the employee spends within the company. The moment it recognizes the employee's face at check-out, it will stop counting and store the time the employee has spent in the company.

In addition, it seeks to do it with plates and inexpensive materials, allowing any company to incorporate it without having to make a high expenditure.

We will also add a numeric keyboard, so that, in case of a face cannot be recognized, the employee can type in his code and it will be recognized.

The use of boards based on Arduino will allow updating the board software in a simple way, so that, if a security flaw is found or a faster way to recognize faces, it can be solved without having to invest a greater amount of money in update components.

To carry out this project, first of all, the Arduino-based boards already on the market will be analyzed. It will be necessary to decide if the plates that we can currently buy are valid to carry out this project, or if, on the contrary, they do not meet the necessary requirements for this project. In the event that they do not comply, an electronic board will be designed using the "KiCad" electronic diagram design program, and this electronic diagram will be printed at a specialized company.

### 1.4. PALABRAS CLAVE

Tras el resumen se incluirán cinco palabras clave, que definan la temática fundamental del trabajo.

Microprocesador, reconocimiento, facial, Arduino, detección.

## 1.5. ANTECEDENTES

Una aplicación reciente que resulta muy interesante para ver la utilidad real del reconocimiento facial como control de acceso, es la implementación por parte de Panasonic en el Ministerio de Justicia de Osaka (Tokio), de puertas con reconocimiento facial incorporado.

Su puerta de reconocimiento facial ha sido elegida por la Oficina de Inmigración del Ministerio de Justicia para agilizar los procedimientos de inmigración en un importante aeropuerto japonés de una manera fácil y segura.

Como parte de las medidas que se implementarán para el creciente número de visitantes extranjeros, el Ministerio de Justicia ha estado considerando el uso de tecnología de reconocimiento facial para agilizar los procesos de salida y regreso de los viajeros japoneses. Desde el 18 de octubre de 2017, se han puesto en funcionamiento tres unidades de la puerta de reconocimiento facial de Panasonic en el control de inmigración del Aeropuerto Internacional de Tokio. El sistema está contribuyendo a un examen de inmigración fluido de los viajeros japoneses que regresan a casa. Sin la necesidad de un registro previo de datos biométricos, el sistema compara los datos fotográficos del rostro del viajero en el chip IC incrustado en el pasaporte de la persona con una foto tomada en la puerta de reconocimiento facial para verificar la identidad. (Panasonic, 2021)



*Ilustración 1. Puertas con reconocimiento facial incorporado en Osaka, Japón (Panasonic, 2021)*

La puerta de reconocimiento facial de Panasonic se diseñó recientemente para agilizar los procesos de salida y llegada de los ciudadanos japoneses, basándose en el concepto de una solución simple y segura en la que tanto los jóvenes como las personas mayores pueden pasar por la puerta sin demoras, frustraciones o confusión.

Otra aplicación a gran escala es la verificación de identidad de todos los viajeros que cruzan las fronteras de EE. UU. Se efectúa el reconocimiento facial para "el cien por ciento de todos los pasajeros internacionales", incluidos los ciudadanos estadounidenses, en los 20 principales aeropuertos de EE. UU. Para 2021, el Departamento de Seguridad Nacional de los Estados Unidos trata de poner en funcionamiento esos sistemas en los aeropuertos de todo el país.



*Ilustración 2. Sistema de reconocimiento facial en aeropuerto de EEUU (Reconocimiento facial y su seguridad, 2021)*

Está luchando para implementar este "sistema biométrico de entrada y salida". Con el objetivo de utilizar la tecnología de reconocimiento facial en viajeros a bordo de 16,300 vuelos por semana, o más de 100 millones de pasajeros que viajan en vuelos internacionales fuera de los Estados Unidos, en tan solo dos años, para cumplir con el cronograma acelerado de Trump para un sistema biométrico que inicialmente había sido promulgada por la administración Obama.

Estados Unidos explicó que retiene fotos hasta por 14 días de ciudadanos no estadounidenses que salen del país para la evaluación de la tecnología y la garantía de la precisión de los algoritmos, lo que implica que esas fotos podrían usarse para el entrenamiento adicional de su IA de coincidencia facial. (Reconocimiento facial y su seguridad, 2021)

Para conocer el coste actual de incorporar un sistema de acceso por reconocimiento facial en una empresa, se han analizado las diferentes opciones que se pueden encontrar en el mercado.

Los sistemas comercializados incorporan en su mayoría no solo un tipo de control de acceso, es decir, no solo podemos acceder mediante reconocimiento facial, sino que incorporan también acceso por huella dactilar, por teclado y por tarjeta RFID.

Esto se hace para facilitar el acceso a personas que, por ejemplo, puedan venir de visita, como pueden ser comerciales o estudiantes.

## Introducción

Es mucho más sencillo darles una tarjeta con RFID para que puedan acceder un único día, que configurar su cara para que puedan acceder y después eliminarla después de la visita.

Un ejemplo estándar de lo que se puede encontrar en el mercado, es el modelo 3D Hanvon Face ID. Este modelo, como se ha mencionado anteriormente, cuenta no solo con reconocimiento facial, incorporando también un lector RFID para tarjetas, un lector de huellas dactilares y un teclado numérico en el que introducir un código de acceso. (Reconocimiento facial, 2021)

Cuenta con un sensor infrarrojos con un alcance de 0,5 metros, por lo que, en el momento que alguien se acerque a esa distancia, se activarán todos los demás sensores. Esto es muy útil para no tener encendidos todos los demás sensores constantemente con el gasto energético que conlleva.

El sistema de reconocimiento facial es mediante tecnología de tres dimensiones, para un reconocimiento más fiable y una mayor seguridad e imposibilidad de falsificación de caras mediante caretas o fotografías que sí pueden ser efectivas en reconocimientos de dos dimensiones.



*Ilustración 3. Tarjeta de acceso RFID (Tarjetas RFID, 2018)*

Hay opción de que antes del reconocimiento facial haya que introducir un código numérico o pasar una tarjeta RFID. También se puede desbloquear con un código o solo con la tarjeta. Esto es extremadamente útil para que por ejemplo un miembro de mantenimiento que se desplaza por todas las fábricas del país pueda acceder con un mismo código. (Tarjetas RFID, 2018)

Sus principales características son las siguientes:

- Capacidad para 500 caras y 500 huellas, extensible opcionalmente hasta 1400
- Permite trabajar con diferentes grados de iluminación, e incluso en la oscuridad

- Incorpora una pantalla TFT a color de 3,5 pulgadas, con resolución de 320\*240 píxeles
- El protocolo de internet permite usar LAN o Network
- Se pueden cargar o descargar datos de usuarios vía USB pen drive
- Bajo consumo, con 5W en modo espera y 12W en funcionamiento
- Velocidad de verificación de menos de un segundo
- Salida Wiegand estándar 26/34. Relé fijo
- Diseñado para montaje en pared
- Tamaño de 200 x 95 x 115 mm
- Peso de 505 gramos
- Precio de 612,80 Euros Iva incluido



*Ilustración 4. Sistema de control de acceso por reconocimiento facial comercial 3D  
Hanvon Face ID (Reconocimiento facial, 2021)*

## 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1. CERRADURAS

#### 2.1.1. Tipos de cerraduras

##### 2.1.1.1. Cerraduras de pomo

Las cerraduras de pomo son un tipo de cerradura económico y muy extendido, pensada para usarse en interiores, sobre todo para puertas que separen diferentes habitaciones o salas.

Aunque su mecanismo interno ha ido actualizándose con los años, no cuentan con un nivel de seguridad suficiente como para poder ser empleadas en exteriores, y en la mayoría de los casos no incorporan llave. (Cerradura de pomos, 2020)



*Ilustración 5. Cerradura de pomo (Cerradura de pomos, 2020)*

##### 2.1.1.2. Cerraduras de seguridad

Las cerraduras de seguridad proporcionan una mayor protección. Son más difíciles de forzar, debido a que se componen de varios pernos en vez de uno solo. Además, se suelen fabricar con aleaciones que dificultan su taladrado o intento de rotura. Dentro de este tipo de cerraduras, se pueden encontrar modelos superpuestos, embutidos o multipunto. (Cerraduras de seguridad, 2018)



### ***2.1.1.2.1. Cerraduras embutidas o empotradas***

Se consideran la mejor opción para las puertas acorazadas, ya que es un tipo de cerradura resistente y se bloquea, aunque no se dé la vuelta con llave al cerrar, y que se puede acompañar con algún mecanismo más para una seguridad aún más elevada.

Constan de un mecanismo que permite la apertura mediante la manilla que está en el interior y hace girar el pestillo.

Se denominan embutidas porque solo dejan ver por la parte exterior de la puerta el hueco donde va la llave. Suelen incorporar en la parte que da al interior de la puerta una manivela o pomo que permita accionarla.

Su versatilidad, ya que se pueden incorporar a cualquier tipo de puerta, ya sea de madera o metálica, hace que sean las más empleadas actualmente en las puertas de seguridad de las viviendas. (Cómo elegir una cerradura, 2017)



*Ilustración 6. Cerradura embutida o empotrada (Cómo elegir una cerradura, 2017)*

### ***2.1.1.2.2. Cerraduras multipunto***

Este tipo de cerraduras de seguridad está formado por una barra que recorre toda la puerta, por lo que cuando se acciona, desbloquea la puerta en sus distintos puntos de bloqueo. Esto refuerza la seguridad y dificulta el forzado de la puerta.

Estas cerraduras están pensadas principalmente para puertas acorazadas, pero se podrían incorporar a cualquier puerta de vivienda, aumentando la seguridad de ésta enormemente. (Cerradura de 3 puntos multipunto, 2020)

---

## Estado del arte

En la siguiente imagen se puede apreciar como los puntos de bloqueo están distribuidos a lo largo de la puerta:



*Ilustración 7. Cerradura multipunto (Cómo elegir una cerradura, 2017)*

### **2.1.1.2.3. Cerraduras superpuestas**

Es uno de los tipos de cerradura más clásicos y antiguamente estaban muy extendidas.

Se suelen utilizar en puertas finas, y los modelos antiguos eran fáciles de forzar, pero han ido mejorando su seguridad considerablemente, a base de mejorar sus materiales y funcionamiento interno, hasta el punto de que a día de hoy se pueden considerar seguras.

Van colocadas por el interior de la puerta, por lo que en caso de que se trate de una puerta maciza o acorazada, hace aún más difícil el que pueda ser forzada. (Cerraduras de sobreponer multipunto, 2020)



*Ilustración 8. Cerradura superpuesta (Cerradura de sobreponer multipunto, 2020)*

### 2.1.1.6. Cerraduras digitales

Estas cerraduras son las más avanzadas tecnológicamente, ya que se desbloquean sin la necesidad de una llave. Emplean distintas formas de desbloqueo, como puede ser un código, una tarjeta, huellas dactilares o reconocimiento facial.

Debido a sus características, es el modelo más apropiado para este proyecto, ya que conectando este tipo de cerradura al ESP-32, se podría controlar el acceso mediante reconocimiento facial.

Están poco implementadas en viviendas, debido a su alto precio en comparación con las cerraduras tradicionales, pero cada vez se van implementando en mayor medida en empresas, donde cada empleado puede acceder con una tarjeta identificativa, y la propia cerradura puede almacenar la información de cuando el empleado ha entrado y cuándo ha salido de la empresa.

Una cerradura digital está formada por dos piezas fundamentales, un electroimán y una lámina metálica que se denomina pieza polar o móvil.

El electroimán se encuentra situado en el marco de la puerta y trabaja como imán a medida que va circulando la corriente por su bobina, cerrando la puerta. Cuando deja de recibir corriente eléctrica, la puerta se abre.

En caso de que se perdiera la conexión eléctrica, suelen incorporar un sistema de alimentación auxiliar que permitiría seguir empleándola durante un tiempo. En caso de que este sistema de alimentación auxiliar se acabara, la puerta permanecería bloqueada hasta que vuelva la conexión eléctrica. (Cerradura Digital Hyundai 2021)

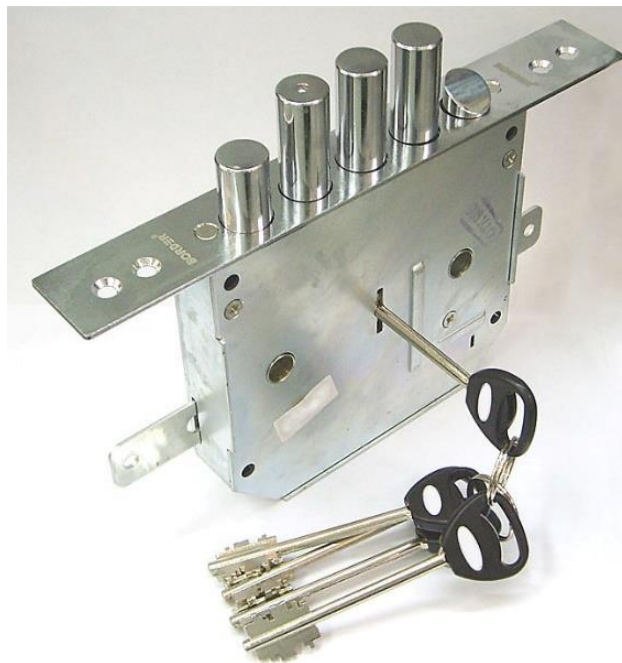


Ilustración 9. Cerradura digital (Cerradura Digital Hyundai, 2021)

### ***2.1.1.7. Cerraduras de gorjas***

Es un tipo de cerradura que, pese a haber estado muy extendida en el pasado, ahora mismo no se usa prácticamente, debido a que hay otros tipos de cerraduras mucho más cómodos y simples, consiguiendo también mayor seguridad que éstas.

Emplean una llave formada por una espiga larga y dentada a ambos lados en su extremo, la cual es uno de los mayores inconvenientes de esta cerradura, dada la incomodidad que supone portar en el bolsillo esta llave. (Cerraduras de gorjas, 2017)



*Ilustración 10. Cerradura Gorja con sus llaves (Cerraduras de gorjas, 2017)*

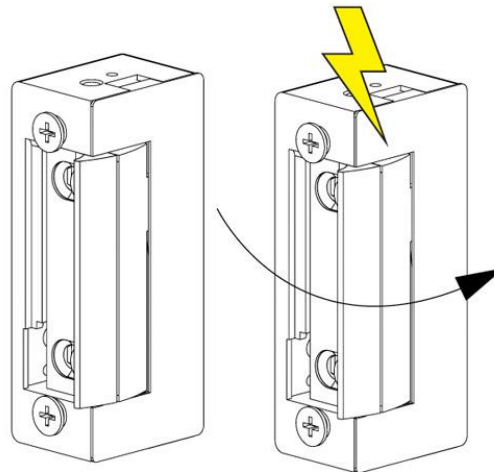
### ***2.1.1.8. Cerraduras eléctricas o de golpe eléctrico***

Una cerradura eléctrica es un dispositivo electromecánico que es instalado en el marco de la puerta, y que permite su bloqueo de forma eléctrica.

Una cerradura eléctrica de empotrar está instalada dentro del marco de la puerta, y consta de una caja con mecanismos y de una armadura o frontal, mientras que una cerradura eléctrica de sobreponer se instala sobre el marco de la puerta, formada por una caja de mecanismos y una funda de sobreponer.

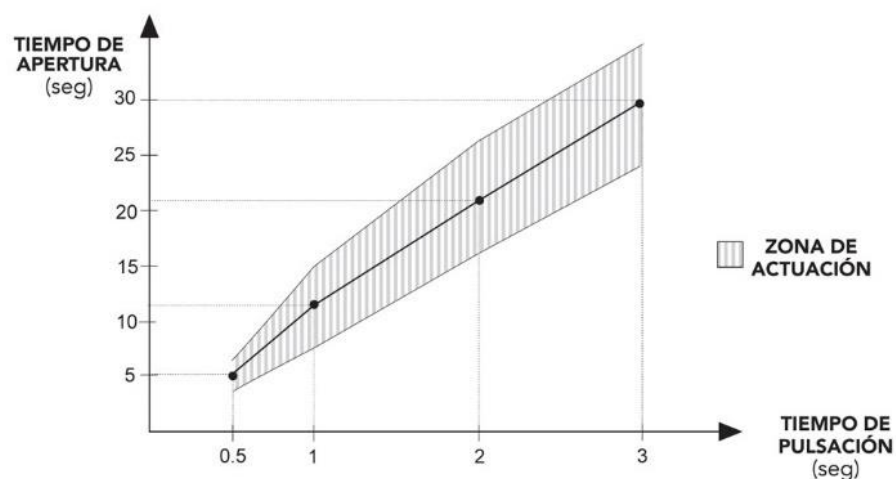
Este tipo de cerraduras puede tener tres tipos diferentes de funcionamiento; normal, automático, y temporizado. Cada uno de estos tipos tiene multitud de variantes.

Funcionamiento normal: Es el funcionamiento estándar de estas cerraduras, en el que en su posición de reposo permanece cerrado manteniendo la puerta bloqueada, y cuando recibe un impulso eléctrico el mecanismo permite la apertura de la puerta. (Cerradura Electrónica, 2017)



*Ilustración 11. Cerradura eléctrica con funcionamiento normal (Cerradura Electrónica, 2017)*

Funcionamiento Automático Temporizado (At): Empleado ampliamente en las puertas de bloques de viviendas, permite mantener la puerta abierta un tiempo determinado después del impulso eléctrico, es decir, cuando la cerradura recibe un impulso eléctrico, permanece abierta un tiempo proporcional a la duración del impulso, entre 5 y 30 segundos, y en caso de no haberse producido la apertura, vuelve a cerrarse.

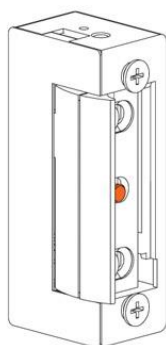


*Ilustración 12. Gráfica de relación entre tiempo de apertura y tiempo de pulsación en cerraduras de Funcionamiento Automático Temporizado (Cerradura Electrónica, 2017)*

## Estado del arte

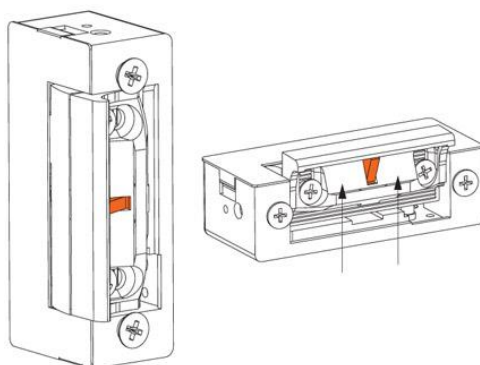
Funcionamiento Automático (A, Ab, Aa): Permite el acceso cuando da el impulso eléctrico, pero este acceso no debe ser inmediato, es decir, que una vez la cerradura se desbloquea, la puerta queda abierta hasta que sea abierta y cerrada de nuevo. Existen tres tipos diferentes con cerraduras de funcionamiento automático.

Funcionamiento Automático (A): La puerta permanece abierta hasta que se produzca un acceso. Esto es accionado por un bulón que cuando recibe electricidad activa la función de forma automática. (Cerradura Electrónica, 2017)



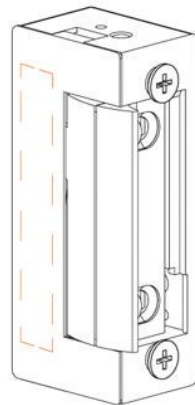
*Ilustración 13. Cerradura con Funcionamiento Automático (Cerradura Electrónica, 2017)*

Funcionamiento Automático Deslizante (Ab): El bulón del modo Automático normal es sustituido por una pieza que se desplaza solidariamente con la aleta cuando esta se ajusta al picaporte, permitiendo que la función actúe eficazmente en cualquier punto de regulación del mecanismo.



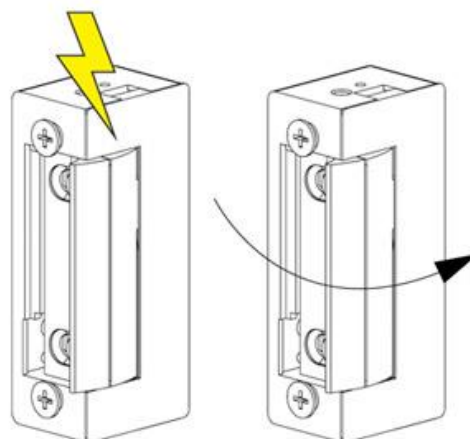
*Ilustración 14. Cerradura con Funcionamiento Automático Deslizante (Cerradura Electrónica, 2017)*

Funcionamiento Automático Invisible (Aa): permite a la cerradura la función automática sin ningún tipo de mecanismo ni pieza adicional externa a él gracias a su construcción interna. Es preferible un periodo de pulsación eléctrica breve para el correcto funcionamiento de este sistema. (Cerradura Electrónica, 2017)



*Ilustración 15. Cerradura con Funcionamiento Automático Deslizante (Cerradura Electrónica, 2017)*

Funcionamiento Invertido DC: Este funcionamiento se denomina "Fail Safe". Funciona de forma invertida, por lo que en la posición de reposo del abrepuertas es abierto y cuando recibe electricidad se bloquea cerrando la puerta. En caso de un corte eléctrico la puerta queda abierta permitiendo el franqueo de ésta.

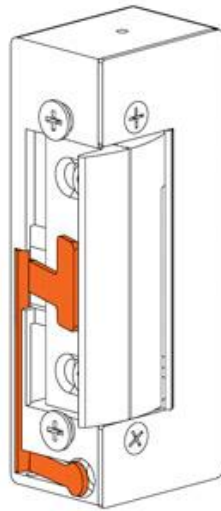


*Ilustración 16. Cerradura con Funcionamiento Invertido DC (Cerradura Electrónica, 2017)*

---

### Estado del arte

Funcionamiento por Conmutación: Esta versión lleva incorporado un microwitch o activador que da la información de si la puerta se encuentra abierta o cerrada. Mediante una salida de cables adicional se conecta a un sistema de seguridad o un control de acceso permitiendo multitud de aplicaciones diferentes (sistemas de alarmas, control de accesos, esclusas...). (Cerradura Electrónica, 2017)



*Ilustración 17. Cerradura con Funcionamiento por Conmutación (Cerradura Electrónica, 2017)*



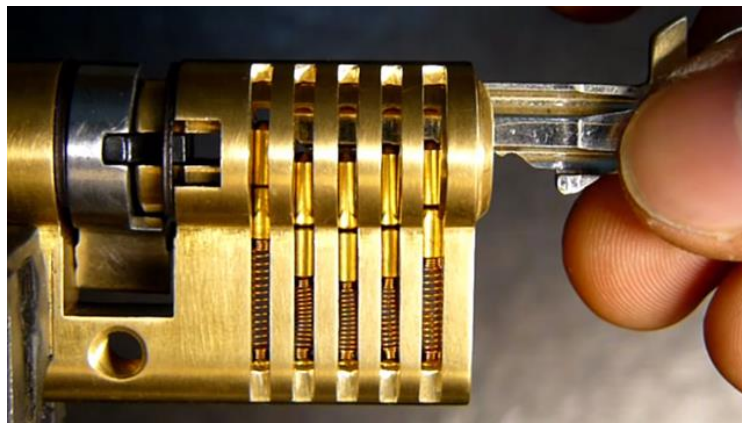
## 2.1.2. Partes de una cerradura

Todos los tipos de cerradura constan de unas partes básicas, que dependiendo del tipo estarán fabricadas en un material u otro, y con una forma determinada, pero que son comunes y todos los tipos de cerradura necesitan para funcionar correctamente.

### 2.1.2.1. Bombín

Es el lugar en el que introducimos la llave, y si introducimos la llave correcta, los pernos se colocarán en una posición determinada que permitirá desbloquear la cerradura. Normalmente, el bombín sobresale de la puerta.

En la siguiente imagen se puede apreciar como los pernos son actuados por la llave. Si la llave es correcta, todos los pernos quedarán a la misma altura.



*Ilustración 18. Pernos de bombín actuados por la llave (Partes de las diferentes cerraduras, 2020)*

En las cerraduras digitales, se sustituye el bombín mecánico por uno electrónico, que desbloquee la puerta no con introducir una llave correcta sino con introducir un código de desbloqueo, huella dactilar o cara correcta, según sea su tipo de desbloqueo. (Partes de las diferentes cerraduras, 2020)



*Ilustración 19. Bombín estándar (Partes de las diferentes cerraduras, 2020)*

### 2.1.2.2. Pomo

Es la parte mediante la cual la persona puede accionar la puerta. En vez de un pomo, puede tratarse de una manivela o un tirador, diferenciándose en que en unas hay que girar para abrir y en el tirador basta con únicamente tirar, pero siguen ejerciendo la misma función, que es el permitirnos desplazar la puerta a la vez que accionamos el pestillo. (Pomos puerta, 2016)



*Ilustración 20. Pomo giratorio (Pomos puerta, 2016)*

### 2.1.2.3. Frontal

Es la parte sobrepuesta de una cerradura que podemos ver cuando la puerta se encuentra abierta, en el marco de ésta, y se encarga de unir el bombín con la puerta, al tiempo que sujeta la cerradura, mediante una serie de tornillos o remaches.

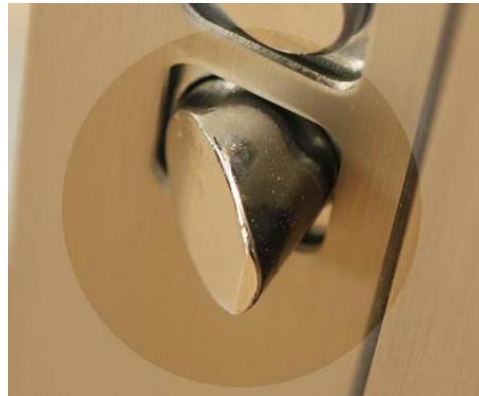
Podemos encontrarnos modelos con los extremos redondeados, o cuadrados, como el que se puede observar en la siguiente imagen. (Frontal para cerradura, 2021)



*Ilustración 21. Frontal de cerradura con extremos cuadrados (Frontal para cerradura, 2021)*

#### 2.1.2.4. Resbalón

Es una pieza móvil que tiene forma de cuña y se ubica en el frontal. Es el encargado de que una vez la puerta está bloqueada, no se pueda abrir. Cuando giramos la llave o el pomo, accionamos el resbalón provocando que la puerta quede desbloqueada y la podamos abrir. (Partes de las diferentes cerraduras, 2020)

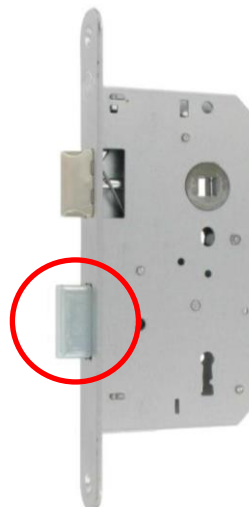


*Ilustración 22. Resbalón en posición de bloqueo o extendido (Partes de las diferentes cerraduras, 2020)*

#### 2.1.2.5. Pestillo

Se encuentra en el interior de la caja, y es el encargado de sobresalir de la caja e introducirse en el frontal, bloqueando la puerta en la posición en la que está extendido, y desbloqueándola en caso de que lo retraigamos. Es actuado únicamente por la llave. (Partes de las diferentes cerraduras, 2020)

Se puede apreciar en la siguiente imagen, rodeado en rojo.



*Ilustración 23. Pestillo de puerta en posición extendida o de bloqueo (Partes de las diferentes cerraduras, 2020)*

### *2.1.2.6. Cerradero*

Es la parte metálica que se encuentra superpuesta al frontal y colocada en el marco de la puerta. Cuenta con dos espacios, en uno de ellos encaja el pestillo y en otro el resbalón, cuando la puerta está cerrada. (Cerradero recto, 2018)



*Ilustración 24. Cerradero con espacios para resbalón y pestillo (Cerradero recto, 2018)*

## 2.2. VISIÓN ARTIFICIAL

### 2.2.1. ¿Qué es la visión artificial?

La visión artificial es una tecnología que abarca todas las aplicaciones industriales y no industriales en la que existe una combinación de hardware y software que, empleados de forma conjunta, dan una guía operativa a dispositivos para ejecutar sus funciones mediante la captura y el procesamiento de imágenes.

La visión artificial industrial por computadora emplea muchos algoritmos similares, pero sus limitaciones no son las mismas. Los sistemas de visión artificial industrial necesitan contar con una mayor fiabilidad que un sistema académico-educativo, pero su coste suele ser mucho menor que el de usos gubernamentales o militares.

Esto implica que la visión artificial industrial debe contar con un coste reducido, una precisión aceptable, gran solidez y confiabilidad, y elevada estabilidad mecánica y térmica.

Para conseguir un correcto funcionamiento, los sistemas de visión artificial emplean sensores digitales, situados dentro de cámaras industriales diseñadas con ópticas especializadas en adquirir imágenes, las cuales son necesarias para que el hardware y el software procesen, analicen y midan los diferentes parámetros necesarios para la toma de decisiones.

Hoy en día, este tipo de tecnología está muy extendida especialmente en tareas que impliquen repetir una inspección visual de forma continuada, como puede ser, por ejemplo, en una planta de embotellado para analizar que las botellas no tienen ningún defecto. (Sistemas de Visión Artificial Industrial, 2020)



*Ilustración 25. Cámara de visión artificial en una línea de producción automatizada (Sistemas de Visión Artificial Industrial, 2020)*

## Estado del arte

Además, permiten reducir el tiempo necesario para realizar la inspección visual en procesos automatizados. Esto permite abaratar costes de forma importante en la industria, y reducir el tiempo de producción, especialmente en cadenas de producción.

Los ámbitos dentro de los que está más extendida la visión artificial en la industria actualmente son:

- Inspección de objetos en cadenas de producción
- Guiado de robots gracias a su capacidad de visión espacial
- Mediciones tridimensionales y angulares
- Obtención de coordenadas de objetos

### 2.2.2. Métodos de captación de imágenes

Para captar imágenes mediante técnicas digitales, existen distintos tipos de captación.

El método más antiguo y básico es mediante píxeles, tomando la imagen y dividiéndola como si se tratara de una cuadrícula. Cada cuadro de esta cuadrícula es un píxel, y las resoluciones habituales actualmente son:

- High Definition: 1.280 x 720 píxeles
- Full High Definition: 1.920 x 1.080 píxeles
- Quad High Definition: 2.560 x 1.440 píxeles
- Ultra High Definition: 3.840 x 2.160 píxeles



Ilustración 26. Comparación de píxeles que captan las diferentes resoluciones (Sistemas de Visión Artificial Industrial, 2020)

Cuanto mayor sea la resolución, mayor será la calidad de la imagen tomada, lo cual permitirá una mayor exactitud en el tratamiento de ésta.

Otro método antiguo es el de tratar la imagen de forma binaria, distinguiendo únicamente entre valores de brillo superiores a un umbral, asignándoles un 1, o por debajo de este umbral, asignándoles un 0.

También existe el método de captación de imágenes es mediante una escala de grises, utilizando la intensidad del brillo de cada parte de la imagen, asignándole un valor numérico a cada tonalidad de gris, lo cual se denomina nivel de gris.

Otro método de captación son las escenas, mediante una zona de memoria en la que se almacenan los parámetros base, los cuales no van a ser modificados, y que el sistema no analizará, para poder centrarse en lo que queremos analizar de forma particular. Es decir, el patrón será la imagen original, y sobre ésta se analizarán los cambios que hayan sucedido. (Sistemas de Visión Artificial Industrial, 2020)

El último método de captación es el de ventana, que capta únicamente el área que se desea analizar. Este método de captación se realiza de la siguiente manera:

En primer lugar, se capta la imagen visual del objeto a analizar, empleando uno de los métodos ya nombrados. Después, se tratan las imágenes mediante un conjunto de instrucciones que anteriormente han sido programadas en el elemento que debe analizarlas. Por último, tras acabar de analizar la imagen, se realiza la actuación necesaria sobre el aparato o pieza analizado, en función de los resultados del análisis.

Un ámbito en el que está muy extendida la visión artificial es en el reconocimiento automático de matrículas, que lleva usándose desde el año 2005 en España, concretamente en los radares de tráfico. Este algoritmo reconoce automáticamente las matrículas de las fotos realizadas por los radares, agilizando la tramitación de las multas. (Sistemas de Visión Artificial Industrial, 2020)



*Ilustración 27. Cámara con reconocimiento de matrículas automático (Sistemas de Visión Artificial Industrial, 2020)*

### 2.2.3. Cámaras

Habrá que tener en cuenta varios factores antes de elegir una cámara de visión industrial. En primer lugar, es importante asegurarse de que las funciones de la cámara correspondan a la aplicación a la que se destinará. Una cámara para el control de producción no tendrá las mismas características que una cámara para el guiado de un robot.

También habrá que considerar el espectro de inspección necesario: ¿necesitaremos visión infrarroja, visión ultravioleta, o será más conveniente otro tipo?

Además, será necesario decantarse por uno de los diferentes tipos de sensores de imagen: sensores CCD, sensores CMOS, microbolómetros o sensores FPA.

Por último, será esencial elegir la interfaz de comunicación correcta entre las muchas interfaces que existen: USB 2.0, USB 3.0, GigE, Camera Link, PoE y VGA.

La elección de cada una de estas características dependerá tanto de la aplicación como del presupuesto. El propósito del control, además del tipo de radiación que se necesite captar, definirán qué cámara será la necesaria.

Por ejemplo, una cámara que tenga que supervisar un proceso, necesitará un espectro visible amplio, pero si la cámara es para un horno, será necesario un espectro infrarrojo más restringido. (Cámaras de visión industrial, 2018)

Cada tipo de cámara cuenta con un espectro de observación diferente, siendo las principales las siguientes:

- Cámaras de infrarrojos: Permiten visión térmica, la cual es muy útil en la industria, por ejemplo, para buscar fugas eléctricas mediante la temperatura.



Ilustración 28. Cámara de visión infrarroja (Cámara de infrarrojos, 2018)



- Cámaras de rayos X: Muy útiles para atravesar cuerpos blandos, debido a esto son muy empleadas en imagenología médica.



*Ilustración 29. Cámara de rayos X (Cámaras de visión industrial, 2018)*

- Cámaras de ultravioletas: También muy usadas en imagenología médica, dada su capacidad para captar frecuencias de onda que un sensor normal no puede captar.



*Ilustración 30. Cámara ultravioleta (Cámaras de visión industrial, 2018)*

- Cámaras multiespectrales: Disponen de un amplio espectro de inspección, incluyendo todos los demás tipos de espectros.



*Ilustración 31. Cámara multiespectral (Cámaras de visión industrial, 2018)*

También hay que tener en cuenta, que los objetos y procesos se encuentran dentro del ámbito industrial, por lo que habrá que pensar también en cómo se va a integrar la cámara, y en cómo proteger sus elementos frágiles. Por ejemplo, una cámara que vaya a ir situada en un horno, deberá estar dentro de una carcasa protectora que la permita soportar temperaturas elevadas. (Cámaras de visión industrial, 2018)

### *2.2.3.1. Tipos de sensores de imagen*

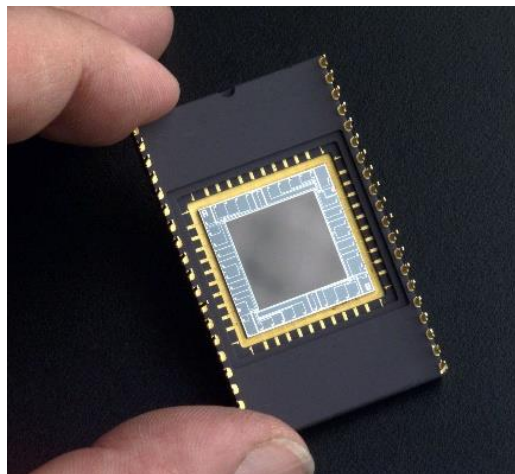
Otra característica importante que analizar a la hora de elegir la cámara, es el tipo de sensor que se va a emplear. Existen cuatro tipos, cada uno con diferentes calidades y precios. Estos son:

#### *2.2.3.1.1. Sensores CDD*

Son un tipo de sensor económico y con una relación calidad precio elevada. Su mayor limitación es que solo puede captar el espectro visible. Además, son muy sensibles al resplandor y cuentan con un elevado número de electrones parásitos que aumenta mucho con la temperatura.

Por este motivo, es necesario enfriarlos para evitar que se produzca ruido térmico.

La calidad que obtienen es muy elevada, similar a la de un sensor CMOS. Se emplean ampliamente en escáneres. (Cámaras de visión industrial, 2018)



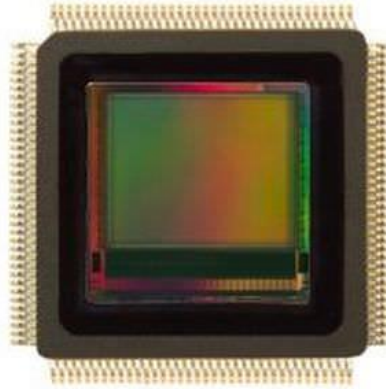
*Ilustración 32. Sensor CDD (Cámaras de visión industrial, 2018)*

#### *2.2.3.1.2. Sensores CMOS*

Su calidad es bastante superior a la de los sensores CDD, aunque cada vez más, estos se acercan a la calidad de los CMOS. Su precio es mucho más elevado, y pueden ver con bajos niveles de luz.

Cuentan con una velocidad de lectura mayor que la de los sensores CDD, y un consumo energético más bajo.

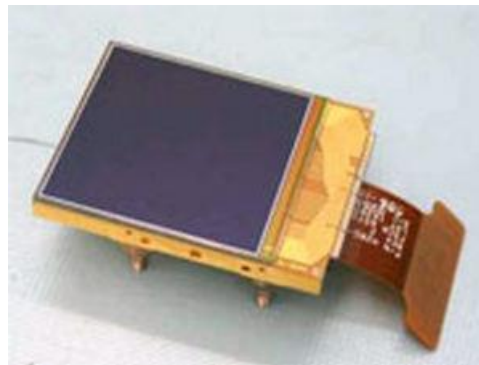
Sus aplicaciones son similares a las de los sensores CDD, como pueden ser escáneres, laboratorios o control de líneas de envasado. (Cámaras de visión industrial, 2018)



*Ilustración 33. Sensor CMOS (Cámaras de visión industrial, 2018)*

### **2.2.3.1.3. Sensores FPA**

Los sensores FPA cuentan con una elevada sensibilidad y una muy alta calidad de imagen. Su mayor inconveniente es la baja resolución de imagen, la cual suele ser de 320x240 píxeles. Estos sensores tienen un gran tamaño, y se suelen emplear en diversos usos como son las cámaras de inspección, el guiado de armas o la imagenología médica y espacial. (Cámaras de visión industrial, 2018)



*Ilustración 34. Sensor de tipo FPA (Cámaras de visión industrial, 2018)*

### **2.2.3.1.4. Sensores Infrarrojos o microbolómetros**

Son ligeros, su consumo energético es bajo y su funcionamiento extremadamente rápido. Solo pueden detectar la banda infrarroja.

Su principal inconveniente es su precio, ya que resulta muy elevado. También son menos sensibles que otros sensores debido a que, al igual que en los sensores de tipo CDD, la cantidad de electrones parásitos aumenta con la temperatura, y esto puede provocar problemas de resolución debido al ruido térmico.

---

Estado del arte

Cada vez este problema es menor, debido a los avances en la tecnología, que hacen estos sensores cada vez más eficientes. (Cámaras de visión industrial 2018)



*Ilustración 35. Cámara con microbolómetro (Cámaras de visión industrial, 2018)*

## 2.2.4. Iluminación

La iluminación es una de las partes más determinantes de la visión artificial, ya que los sistemas de visión artificial forman las imágenes a partir del análisis de la luz reflejada en los objetos, y no analizando el propio objeto.

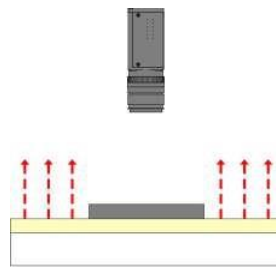
Para una correcta iluminación, se precisa de una fuente de luz colocada de forma correcta respecto a la cámara y el objeto a analizar.

Una determinada técnica de iluminación puede eliminar algunas características, así como destacar otras, o resaltar una imagen en concreto.

Por ejemplo, si se silueta un objeto, se oscurecerán los detalles que existan en la superficie y esto nos dará una mejor medición de los bordes. (Introducción a la visión artificial, 2021)

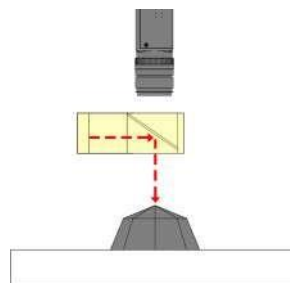
Los diferentes tipos de iluminación y sus efectos son los siguientes:

- **Iluminación de fondo:** Iluminando la parte trasera de un objeto destacamos el borde externo de éste.



*Ilustración 36. Iluminación de fondo (Introducción a la visión artificial, 2021)*

- **Iluminación difusa axial:** Juntando la luz en el camino óptico desde el costado, de forma coaxial, se obtiene una imagen muy iluminada y de forma homogénea.

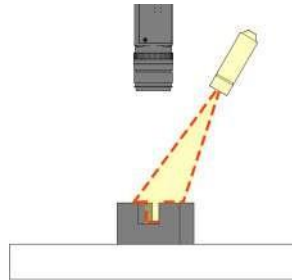


*Ilustración 37. Iluminación difusa axial (Introducción a la visión artificial, 2021)*

---

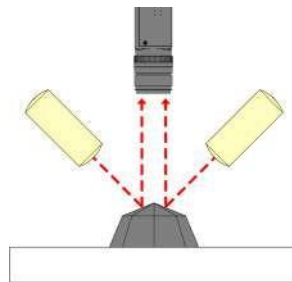
Estado del arte

- **Iluminación estructurada:** Se proyecta un patrón de luz en un ángulo fijo sobre el objeto, con el objetivo de crear un contraste en inspecciones de superficie.



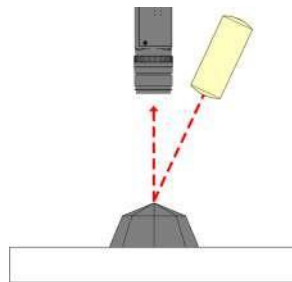
*Ilustración 38. Iluminación estructurada (Introducción a la visión artificial, 2021)*

- **Iluminación de campo oscuro:** Se refleja la luz lejos de la cámara y los cambios de la elevación de aprecian en la cámara. Muestra con mayor detalle los defectos que pueda presentar una superficie y se usa especialmente en aplicaciones con bajo contraste.



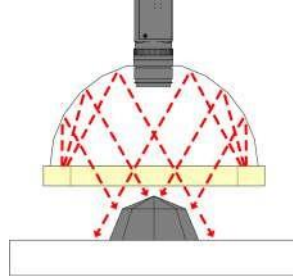
*Ilustración 39. Iluminación de campo oscuro (Introducción a la visión artificial, 2021)*

- **Iluminación de campo brillante:** Se emplea para aplicaciones en las que es necesario un contraste alto. Sus inconvenientes son la posibilidad de producir sombras y que la iluminación no es constante en todo el campo de visión.



*Ilustración 40. Iluminación de campo brillante (Introducción a la visión artificial, 2021)*

- **Iluminación de domo difusa:** Este tipo de iluminación suministra una luz más uniforme sobre las características de interés y puede ocultar irregularidades que no sean importantes para no confundir a la hora del análisis.



*Ilustración 41. Iluminación de domo difusa (Introducción a la visión artificial, 2021)*

- **Iluminación estroboscópica:** Se emplea en aplicaciones con velocidad elevada, para poder captar objetos que se encuentran en movimiento para poder analizarlos. Además, disminuye enormemente la borrosidad de la imagen. (Introducción a la visión artificial, 2021)

## 2.2.5. Software

La función del software es realizar los cálculos y análisis necesarios para poder analizar las imágenes, y proporcionar un resultado al usuario.

Hoy en día existen diferentes tipos de software, y la gran mayoría de los ordenadores actuales tiene capacidad de procesamiento suficiente como para realizar un análisis en tiempo real con sus correspondientes cálculos.

Según el tipo de visión escogido, se podrán analizar diferentes parámetros de la imagen, como pueden ser la lectura de caracteres, la inspección de elementos o la variación en una partícula.

El funcionamiento de los softwares de análisis de imagen para visión artificial está bastante estandarizado. Vamos a suponer el análisis de una pieza determinada, pero en vez de una pieza puede analizarse, por ejemplo, una cara. En primer lugar, captura la imagen mediante un sensor determinado. Después, analiza la imagen o la zona determinada que queremos inspeccionar. Una vez hecho esto, determina si la pieza es válida o no, analizando sus propiedades o características. (Introducción a la visión artificial, 2021)



Ilustración 42. Software de visión artificial AUTOvision (Introducción a la visión artificial, 2021)



Es importante una correcta combinación de hardware y software para obtener un análisis correcto, de forma eficaz y rápida.

Existen a la venta equipos ya configurados, con un hardware a medida del software que incorporan, en forma de pequeños dispositivos y que necesitan una programación mínima por parte del usuario para un correcto funcionamiento.

Este tipo de equipos es muy útil para, por ejemplo, trabajos en campo, como puede ser una cámara de visión térmica para hallar una fuga de corriente, pero a la hora de grandes instalaciones industriales, se opta por crear sistemas a medida para esa aplicación en concreto.

Los sistemas integrados pueden ser de dos tipos, o bien cámaras que incorporan un procesador ya programado previamente y que incorporan memoria, puertos y todo lo necesario para su funcionamiento, o sistemas de visión multicámara, que tienen una "central" en la que se encuentra el procesador, memoria, es decir, todo lo necesario para procesar la visión artificial, y a la que se conectan las diferentes cámaras. (Introducción a la visión artificial, 2021)

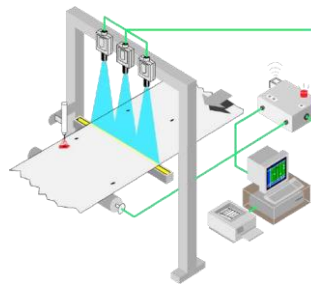
## 2.2.6. Tipos de sistemas de visión artificial

Existen tres tipos de sistemas de visión artificial, relacionados directamente a las dimensiones que analizan, por lo tanto, al existir tres dimensiones, tenemos tres tipos.

### 2.2.6.1. Sistemas de visión 1D

La visión 1D, en vez de ver una imagen entera cada vez, inspecciona una señal digital, y analiza la diferencia entre el último grupo de 10 líneas adquiridas y otro más antiguo. Es decir, escanean una línea por la que van pasando objetos en vez de tomar una imagen completa de ellos.

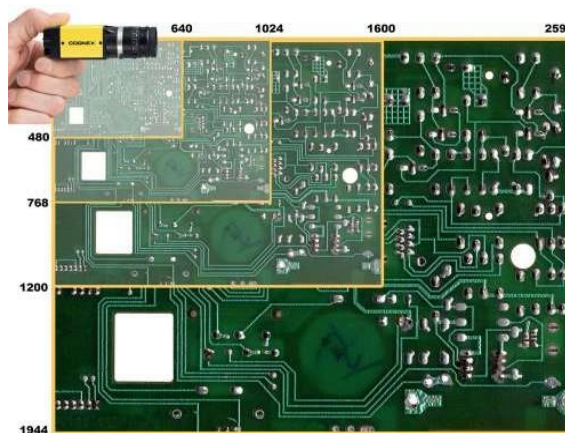
Se suele emplear este tipo de visión en sistemas que analizan defectos en un proceso continuo, tales como plásticos, metales o papeles.



*Ilustración 43. Sistema de visión 1D en el que se analiza una línea de producción (Introducción a la visión artificial, 2021)*

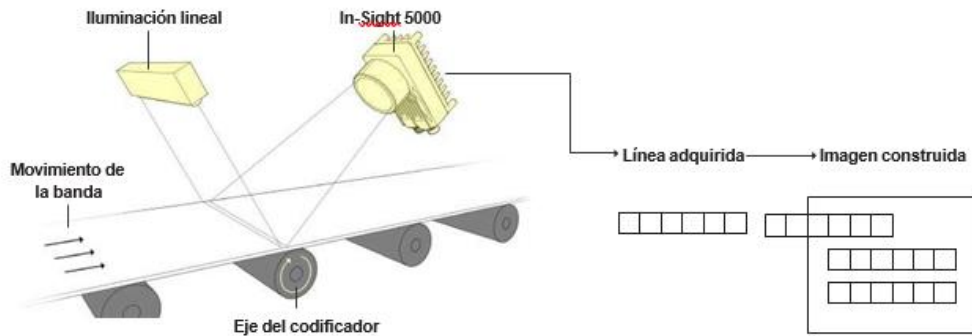
### 2.2.6.2. Sistemas de visión 2D

Son el tipo de cámara de visión artificial más empleado para realizar escaneos de área en los que es necesario captar imágenes de dos dimensiones en varias resoluciones distintas de forma instantánea.



*Ilustración 44. Diferentes resoluciones capturadas con una misma cámara 2D (Introducción a la visión artificial, 2021)*

También existen cámaras de escaneo en 2D de forma lineal, que construyen una imagen línea por línea, como se puede apreciar en el ejemplo de la siguiente imagen.



*Ilustración 45. Visión 2D con análisis línea por línea de una banda transportadora (Introducción a la visión artificial, 2021)*

Es importante seleccionar correctamente entre el escaneo de área y el escaneo de línea cuando hablamos de sistemas de visión 2D.

Los sistemas de escaneo de línea tienen algunas ventajas sobre los de escaneo de área, ya que, por ejemplo, en piezas cilíndricas, nos podemos encontrar con que sean necesario varias tomas para conseguir un escaneo de área efectivo de toda la superficie de la pieza. Este mismo caso podemos resolverlo fácilmente con una cámara de escaneo de línea y girando la pieza cilíndrica sobre su eje.

Además, los sistemas de escaneo lineal ofrecen una resolución más elevada y son más fáciles de incorporar en sistemas que haya que introducir en el interior de piezas.

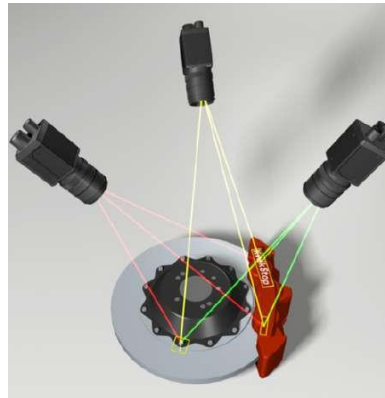
En la mayoría de los casos, se emplean en sistemas que requieren un escaneo continuo de piezas en movimiento.



*Ilustración 46. Sistema 2D analizando una cinta en movimiento (Introducción a la visión artificial, 2021)*

### 2.2.6.3. Sistemas de visión 3D

Los sistemas de visión 3D suelen constar de más de una cámara o sensor, ya que las cámaras proporcionan al robot información sobre la orientación de la pieza. Las cámaras están colocadas en distintos lugares y consiguen una triangulación de la pieza sobre un espacio de tres dimensiones.



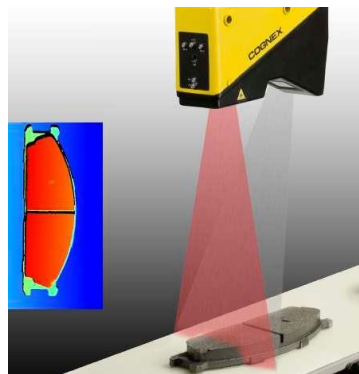
*Ilustración 47. Sistema de visión 3D con cámaras múltiples (Introducción a la visión artificial, 2021)*

Sin embargo, existen aplicaciones en las que se emplean cámaras de visión 3D en las que solo se emplea una cámara, la cual se va desplazando por la superficie de inspección. En algunos casos lo que se desplaza es el objeto y no la cámara.

En el análisis, se genera un mapa de altura por el desplazamiento del reflejo del láser sobre el objeto a analizar.

El láser calibrado obtiene parámetros como la altura de la superficie o la planitud con una precisión de 20 micrómetros.

En la siguiente imagen se puede apreciar un sistema de visión 3D con una sola cámara que se desplaza para conseguir analizar una pastilla de freno. (Introducción a la visión artificial, 2021)

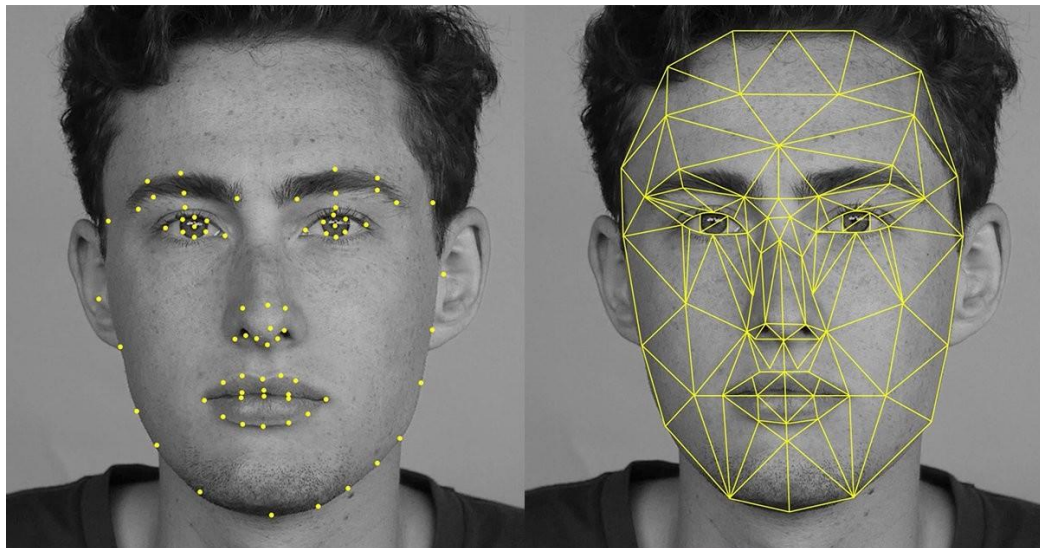


*Ilustración 48. Sistema de visión 3D con una cámara analizando una pastilla de freno (Introducción a la visión artificial, 2021)*

## 2.2.7. Reconocimiento facial

El reconocimiento facial es un sistema que nos permite confirmar o identificar la identidad de una persona mediante la captura de su rostro. Este tipo de sistemas pueden emplearse para identificar personas tanto en videos como en fotos, o incluso en tiempo real, dependiendo de la potencia de procesamiento del instrumento con el que se lleve a cabo este reconocimiento.

El reconocimiento facial es un sistema de seguridad biométrica. Otros tipos son el reconocimiento de huellas digitales, de retina o iris, o el reconocimiento por voz entre otros. (Reconocimiento facial: definición y explicación, 2021)



*Ilustración 49. Sistema de reconocimiento facial por puntos (Izquierda) y por vectores (Derecha) (Reconocimiento facial: definición y explicación, 2021)*

Es ampliamente usado como sistema de protección, y especialmente dentro de las fuerzas de seguridad, aunque cada vez crece más el interés de su uso en nuevas áreas.

La mayoría de la gente está familiarizada con esta tecnología debido al desbloqueo por reconocimiento facial que ya incluyen casi todos los nuevos smartphones que se encuentran en venta actualmente.

Normalmente, el reconocimiento facial no compara la cara capturada con una base de datos masiva de fotografías, sino que solo reconoce e identifica a una persona como la propietaria de dicho dispositivo, comparando la cara capturada únicamente con la que hayamos incluido nosotros en la configuración del desbloqueo facial.

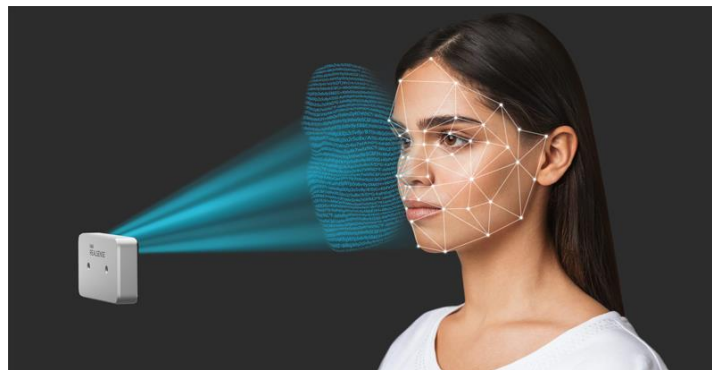
También se emplea ampliamente en cámaras especiales de control en países como China, comparando el rostro analizado con una lista de control.

## Estado del arte

Las listas de control pueden incluir imágenes de cualquier persona, aunque no sea sospechosa de ningún delito, y pueden ser obtenidas de cualquier sitio, como pueden ser de nuestras redes sociales.

Por lo general, los sistemas de reconocimiento facial funcionan de la siguiente manera:

En primer lugar, la cámara procesa el reconocimiento facial. Esto consiste en detectar y situar la imagen de un rostro, que puede ser de forma independiente o junto con más rostros. El rostro puede encontrarse de frente o de perfil. (Reconocimiento facial: definición y explicación, 2021)



*Ilustración 50. Cámara procesando un reconocimiento facial por vectores (Reconocimiento facial: definición y explicación, 2021)*

Después, se procede al análisis facial, es decir, se captura y analiza la imagen del rostro. La mayoría de los sistemas de reconocimiento facial emplean imágenes de dos dimensiones y no de tres dimensiones, ya que una imagen de dos dimensiones se puede comparar de forma más sencilla con fotos públicas o de bases de datos.

El software se encarga de analizar la geometría del rostro, prestando especial atención a los factores clave, como son la distancia entre los ojos y la profundidad de las cuencas de éstos, el contorno de los labios y la forma de los pómulos o el tamaño de las orejas y el mentón, todo con el objetivo de conseguir puntos de referencia faciales para poder distinguir un rostro de otro.

A continuación, se convierte la imagen en datos, transformando la información analógica, es decir, el rostro, en información digital como son los datos, basados en los rasgos faciales obtenidos de la persona. Es decir, el análisis facial es básicamente una fórmula matemática, que tras operarla nos proporciona un código numérico, siendo este la huella facial. Cada huella dactilar es única, no hay dos iguales en el mundo.

Por último, una vez obtenida la huella digital, se procede a buscar una coincidencia con alguna que se encuentre en la base de datos. Algunas bases de datos, como la del FBI, contienen hasta 650 millones de fotos.

Cuando subimos una foto a la red social Facebook y etiquetamos a una persona por su nombre, automáticamente pasa a formar parte de la base de datos de Facebook, la cual también se puede emplear para reconocimiento facial. (Reconocimiento facial y su seguridad, 2021)



*Ilustración 51. Centro de datos de Facebook en Suecia (Reconocimiento facial y su seguridad, 2021)*

Cuando una huella facial coincide con una imagen de la base de datos, se produce una determinación, es decir, una relación de la cara con el nombre de la persona.

El reconocimiento facial es considerado como la forma más natural de medición biométrica, y es debido a que los humanos, cuando reconocemos a los demás, también lo hacemos mirando a la cara a la otra persona, en lugar de mirar su iris o sus huellas dactilares. Actualmente, se estima que más de la mitad población está sometida al reconocimiento facial periódicamente. (Reconocimiento facial, 2021)

### **2.2.7.1. ¿Dónde se utiliza?**

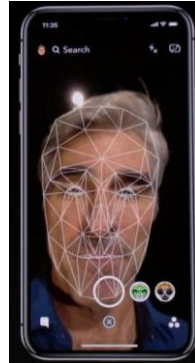
El reconocimiento facial se emplea para infinidad de propósitos. Algunos de los más empleados actualmente son:

**Desbloqueo de teléfonos:** Los smartphones más actuales cuentan con tecnología de reconocimiento facial para el desbloqueo del dispositivo. De esta forma, se garantiza que, ante un posible robo, los datos e informaciones personales quedan bien protegidas, ya que la probabilidad de que una cara aleatoria consiga desbloquear un teléfono con desbloqueo facial es de alrededor de una entre un millón.

Un ejemplo muy popular es el FaceID, desarrollado por Apple y que fue una revolución en el desbloqueo de los teléfonos móviles ya que su tecnología fue la primera en incorporarse a gran escala.

## Estado del arte

A continuación, se puede observar un ejemplo de cómo un móvil de dicha marca capta un rostro:



*Ilustración 52. Reconocimiento facial "FaceID", sistema de desbloqueo propio de Apple (Reconocimiento facial, 2021)*

**Fuerzas de seguridad:** Las fuerzas de seguridad emplean el reconocimiento facial muy a menudo, ya que la policía recopila fotos de los arrestados y gracias a este sistema pueden compararlas con las bases de datos estatales.

Además, gracias a este sistema, un policía puede tomar una foto de un conductor o un peatón que esté realizando un acto ilegal, y luego contrastar esta imagen con las bases de datos, para conseguir identificar a esta persona. (Reconocimiento facial y su seguridad, 2021)

**Control en aeropuertos y fronteras:** En muchos países existe la posibilidad de crearse un pasaporte biométrico, el cual nos permite saltarnos las filas de los aeropuertos accediendo directamente con un reconocimiento facial, sin ser necesario esperar a que los cuerpos policiales relacionen nuestro pasaporte con nuestra cara.

Se estima que, dentro de dos años, el reconocimiento facial se usará por prácticamente el 100% de viajeros. También se emplea en eventos con gran afluencia de público, para agilizar la entrada sin tener que identificar a los asistentes uno por uno personalmente. (Reconocimiento facial y su seguridad, 2021)



*Ilustración 53. Sistema de reconocimiento facial en aeropuertos (Reconocimiento facial y su seguridad, 2021)*



**Búsqueda de personas desaparecidas:** El reconocimiento facial es muy útil para buscar a personas desaparecidas, como puede ser en el caso de un tsunami. Se agregan los rostros de las personas desaparecidas a una base de datos, y cuando una persona vaya al hospital, se puede contrastar con la base de datos para tratar de avisar a su familia. (Reconocimiento facial, 2021)

**Identificación de delitos en comercios:** Creando una base de datos de ladrones conocidos, podemos identificarlos rápidamente cuando entran a un comercio, y avisar al personal de seguridad de éste para que preste una mayor atención a esta persona. De esta forma se pueden evitar la mayoría de robos, ya que un gran porcentaje de los ladrones son reincidentes.



*Ilustración 54. Cámara de reconocimiento facial para la identificación de delitos en comercios (Reconocimiento facial y su seguridad, 2021)*

**Banca:** Mediante el reconocimiento facial podemos realizar operaciones bancarias de forma online de forma segura, ya que se puede identificar fácilmente que la persona que está realizando la operación es quien dice ser, y además lo único que se necesita para esta identificación es una webcam, algo que casi todo el mundo tiene en su casa. Si por el contrario se precisara de identificación por huella dactilar, poca gente podría llevarla a cabo en su casa, ya que es algo que no suelen incorporar los ordenadores.

Además, con el reconocimiento facial, no existen contraseñas que los hackers puedan conseguir. Si los hackers consiguieran robar una base de datos de fotos, existe la denominada detección de "elementos no vivos", que es una técnica que, teóricamente, determina si el rostro de la persona es real o una representación falsa. (Reconocimiento facial y su seguridad, 2021)

## Estado del arte

**Mercadotecnia y publicidad:** Se emplea ampliamente para conseguir una mejor experiencia de los clientes. Por ejemplo, algunas vallas publicitarias, como las de Picadilly Circus en Londres, incorporan reconocimiento facial para analizar las reacciones de cada persona a los anuncios, y así poder ofrecer anuncios personalizados según el tipo de público y sus reacciones.



*Ilustración 55. Cartel publicitario con reconocimiento facial incorporado (Reconocimiento facial, 2021)*

### 2.2.7.2. Técnicas y algoritmos

Existen dos grandes tipos de técnicas de reconocimiento facial, y cada una de ellas usa unos algoritmos diferentes para conseguir obtener un reconocimiento facial fiable.

#### 2.2.7.2.1. Holísticos

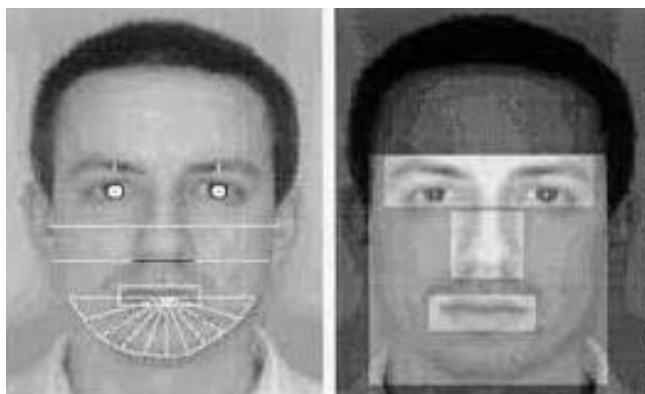
El método holístico se basa en la correlación, empleando toda la imagen facial. El modelo más básico es el template matching, en el cual se comparan modelos para buscar su reconocimiento.

El principal problema que presenta esta técnica es que cada píxel es considerado una característica, por lo que las características a comparar son demasiadas, y esto provoca que no se pueda implementar en tiempo real.

Por este motivo, actualmente se trabaja con otros métodos que separan las características unas de otras para reducir el número de factores a analizar, permitiendo así una comparación mucho más rápida, e incluso la posibilidad de un reconocimiento en tiempo real.

Se buscan rasgos que se distingan fácilmente entre personas, como puede ser el tamaño de las cejas o la distancia entre los ojos.

La técnica que da una mayor fiabilidad y rendimiento dentro de los métodos holísticos es la denominada PCA, la cual asigna un peso a cada una de las facciones faciales, como pueden ser el tamaño de los labios o de la nariz, o la distancia entre las orejas. Una vez obtenido un valor para cada una de las facciones, se suman todos estos valores.



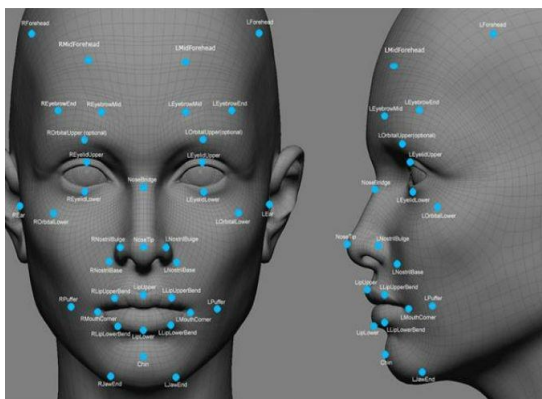
*Ilustración 56. Reconocimiento facial holístico analizando diferentes parámetros de un rostro (Sistema de reconocimiento facial, 2021)*

De esta forma, cuando se reconoce una cara compara el valor numérico que ha obtenido al analizarla con los valores numéricos que tiene en su base de datos, y en caso de que coincida con alguna, ya estaría la cara identificada.

El mayor problema de este sistema es la influencia de la iluminación, ya que puede provocar que algún valor se distorsione por alguna sombra, y el valor numérico ya no coincida. (Sistema de reconocimiento facial, 2021)

### 2.2.7.2.2. Pingo

La técnica Pingo consiste en un reconocimiento facial con tres dimensiones, en el cual se emplean imágenes con tres dimensiones tanto para reconocer la cara como para la base de datos de imágenes.



*Ilustración 57. Reconocimiento facial en 3D tomando diferentes parámetros de un rostro (Sistema de reconocimiento facial, 2021)*

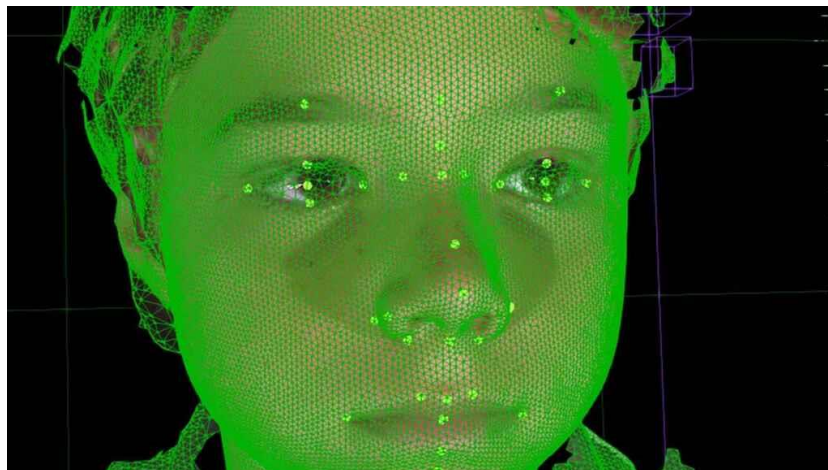
---

## Estado del arte

Para poder captar la información sobre la cara a reconocer, se emplean sensores de imagen capaces de crear imágenes en tres dimensiones. Tras obtener estas imágenes, se analizan los rasgos característicos de las caras, como son la barbilla, los ojos, la nariz o los pómulos.

La principal ventaja que presenta el reconocimiento facial en tres dimensiones es que no depende de la iluminación, por lo que, al no afectarle este factor, hay muchas situaciones en las que nos dará ventaja respecto a otros tipos de reconocimiento. (Sistema de reconocimiento facial, 2021)

El mayor problema que tiene este tipo de reconocimiento es que no es nada fácil obtener imágenes en tres dimensiones que se puedan emplear para reconocimiento facial dada la dificultad de calibración y sincronización de estas cámaras.



*Ilustración 58. Malla creada sobre una cara mediante una cámara de reconocimiento facial en 3D (Sistema de reconocimiento facial, 2021)*

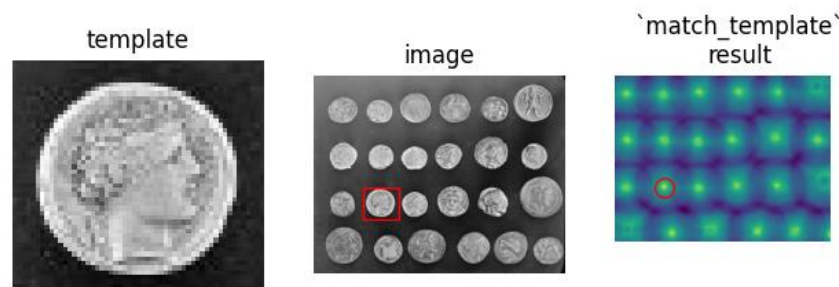
## 2.2.8. Detección facial

Una vez mencionados los posibles algoritmos en los que se basa el reconocimiento facial, se puede pasar a analizar el desarrollo de los sistemas de detección facial.

Existen cuatro formas principales en las que podemos llevar a cabo una detección facial, las cuales son:

### 2.2.8.1. Template Matching

Se emplea como plantilla una base de datos de rostros, con la que compara los rostros que son captados por la cámara, y en caso de encontrar en la base de datos ese rostro, lo marcará como reconocido. No se emplea en lugares en los que hay que reconocer muchas caras, dado que comparar con una base de datos grande cuesta mucho tiempo y precisa de una gran capacidad de procesamiento para que tengamos un porcentaje de fiabilidad elevada.



*Ilustración 59. Ejemplo de Template Matching en el que, con una moneda como base (Izquierda), reconoce si ésta se encuentra en la imagen (Central) y da el resultado (Izquierda) (Sistema de reconocimiento facial, 2021)*

### 2.2.8.2. Knowledge Based

Se trata de un sistema que toma como base el conocimiento humano, es decir, al igual que los seres humanos, necesita que una cara tenga ojos, boca, nariz, y orejas para reconocerla. El sistema establece un conjunto de normas sobre qué define un rostro para una persona.

Este método es el que más fallos provoca, ya que estamos tomando un estándar de caras, pero puede suceder que a una persona le falte una oreja, o que lleve mascarilla y no se le vea la boca, o lleve gafas de sol y no se le vean los ojos. Esto hace que el programa de muchas veces una identificación correcta, sin serlo, debido a estas normas tan genéricas. (Sistema de reconocimiento facial, 2021)

### 2.2.8.3. Feature Based

Se basa en comparar las caras a analizar con estructuras faciales que han sido anteriormente almacenadas. Para que funcione correctamente, se debe preparar al sistema para que sea capaz de detectar caras, y saber que parte de la imagen las contiene y que parte no.

Como se puede observar en el siguiente esquema, descompone los elementos de la cara para analizarlos de forma individual, lo que permite procesar un mejor reconocimiento individual de éstas, permitiendo la detección de caras en tiempo real con una fiabilidad de más del 90%.

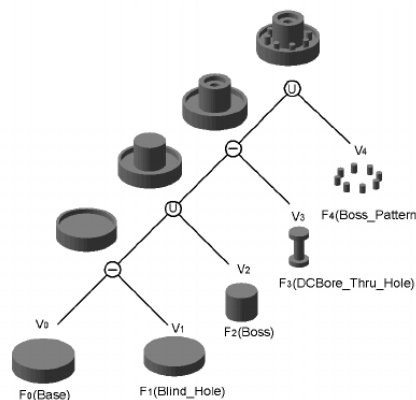


Ilustración 60. Ejemplo de Feature Based (Sistema de reconocimiento facial, 2021)

### 2.2.8.4. Appearance Based

Es tipo de detección facial más compleja, ya que consiste en entrenar y configurar a un sistema que pueda detectar cualquier rostro. Pese a que es el más difícil de crear, a la hora de su empleo es el más fiable debido a que se basa en el "machine learning", es decir, que el propio sistema aprende de sus errores para aprender a detectar las caras de una forma cada vez más fiable.

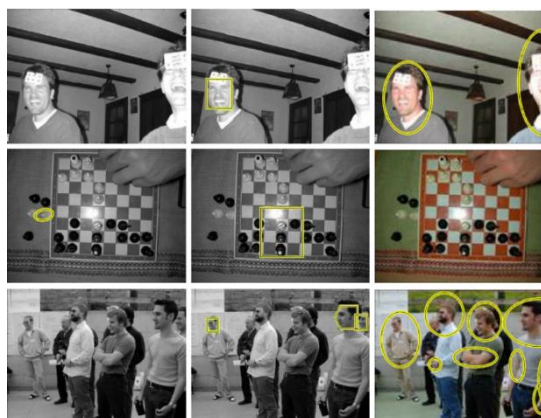


Ilustración 61. Detección facial mediante Appearance Based (Sistema de reconocimiento facial, 2021)

Este método consta de los siguientes subpartados:

**Support Vector Machine (Máquinas de Vectores de Soporte):** Emplea clasificadores lineales denominados máquinas de vectores de soporte, que maximizan el margen entre el hiperplano de decisión y los tipos de entrenamiento.

**Sparse Network of Winnows (Escasez de redes):** Se crea una red escasa, es decir, que solo tiene dos unidades o nodos objetivos, siendo uno el patrón facial y otro el no facial. Es rápido y eficiente.

**Naive Bayes Classifiers (Clasificador Bayesiano Genuino):** Es el encargado de determinar la probabilidad de que en la imagen haya un rostro, empleando para ello la frecuencia con la que un rostro aparece en las imágenes según, por ejemplo, el fondo de la imagen o la cantidad de coches que aparecen en ella. También se trata de saber en qué parte de la imagen es más probable que aparezcan caras.

**Hidden Markov Model (Modulo Oculto de Markov):** Se trata de un modelo estadístico que tiene el objetivo de combinarse con otros métodos con el objetivo de crear un algoritmo de detección de rostros.

**Information Theoretical Approach (Planteamiento Teórico de la información):** Se emplea un campo aleatorio de Markov para relacionar patrones faciales, mediante la discriminación entre clases que incluye la divergencia de Kullback Leibler, lo cual permite que se pueda implementar en la discriminación de rostros.

**Inductive Learning (Aprendizaje Inductivo):** Mediante el aprendizaje inductivo, se pueden realizar multitud de algoritmos de detección facial.

**Eigenface Based (Rostros Propios):** Se emplea una serie de vectores propios que se suelen usar en visión artificial y reconocimiento facial, para crear un algoritmo de rostros propios.

**Distribution Based (Basados en la Distribución):** Analizando los componentes principales y la discriminante lineal de Fisher, se pueden obtener algoritmos muy útiles para la obtención de patrones faciales.

Gracias a esto, se obtiene un clasificador que identifica automáticamente los patrones faciales que se hallan en las imágenes.

**Neural Networks (Redes Neuronales):** La mayoría de los fallos que existen en la detección de rostros y objetos han sido solucionados por los algoritmos de redes neuronales, los cuales son capaces de identificar y aprender patrones. (Sistema de reconocimiento facial, 2021)

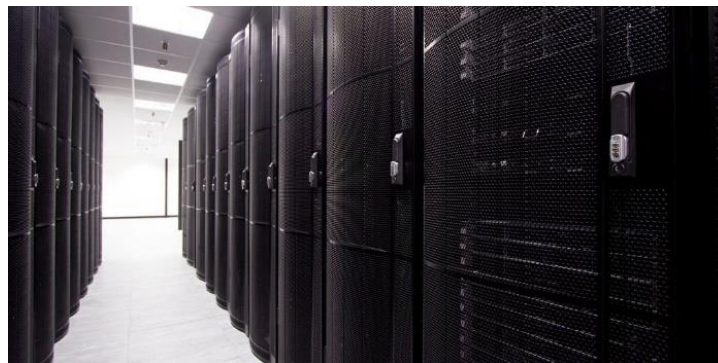
## 2.3. ACCESO A BASES DE DATOS A TRAVÉS DE WEBSERVICES

### 2.3.1. ¿Qué es una base de datos?

Las empresas manejan una gran cantidad de datos, que pueden ser de tipo personal, financiero o de inventario, entre otros. Al tratarse de grandes cantidades de información, es necesario tenerlos ordenados y con niveles de acceso para que sea sencillo encontrar la información que se necesite, y que solo puedan acceder a ella los usuarios autorizados.

Una base de datos es una plataforma que recopila, organiza y relaciona datos del mismo o de distintos tipos, para poder realizar una búsqueda de forma rápida mediante el uso de un ordenador.

Actualmente, las bases de datos se emplean también como forma de desarrollar análisis, e incluso cuentan con motores para obtener informes de datos complejos. (Base de datos, 2019)



*Ilustración 62. Servidores de una base de datos (Base de datos, 2019)*

Es importante saber que existen varios tipos de bases de datos, ya que se usan en varias formas de trabajo distintas. Los diferentes tipos son:

#### 2.3.1.1. Bases de datos relacionales

Las bases de datos relacionales consisten en una recopilación de elementos de datos con relaciones definidas anteriormente entre ellos. La organización de estos elementos es como un conjunto de tablas con columnas y filas.

Las tablas son empleadas para guardar información sobre los objetos a representar en la base de datos. Cada una de las columnas guardará un determinado tipo de datos y un campo se encarga de almacenar el valor real de un atributo.



Las filas son las encargadas de guardar una recopilación de valores que están relacionados con una entidad u objeto. Pueden marcarse con un identificador que se llama clave principal, y las filas de varias tablas se pueden relacionar mediante claves extranjeras.

Se puede tener acceso a los datos de distintas formas sin reorganizar las tablas de la base de datos.



Ilustración 63. Ejemplo de base de datos relacional (Base de datos, 2019)

### 2.3.1.2. Bases de datos distribuidas

Las bases de datos distribuidas almacenan la información en varias computadoras diferentes, que se encuentran conectadas entre sí, y a las que los usuarios pueden acceder desde cualquier sitio como si se tratara de una red local.

Un ejemplo puede ser la base de datos de una escuela universitaria con facultades en varias ciudades, conectadas mediante una base de datos distribuida.

A cada computadora se le denomina nodo, y ésta puede trabajar con autonomía local. (Base de datos distribuida. ¿Qué es?, 2021)

### 2.3.1.3. Bases de datos NoSQL

Las bases de datos NoSQL consisten en estructuras que almacenan información en ocasiones en las que las bases de datos relacionales causan problemas principalmente de escalabilidad y de rendimiento, en situaciones en las que se encuentran miles de usuarios a la vez, y con millones de consultas a lo largo del día.

No utilizan estructuras de datos en forma de tabla, sino que usan otro tipo de formatos, como pueden ser el de clave-valor, mapeo de columnas o grafos. (Bases de datos NoSQL, 2019)

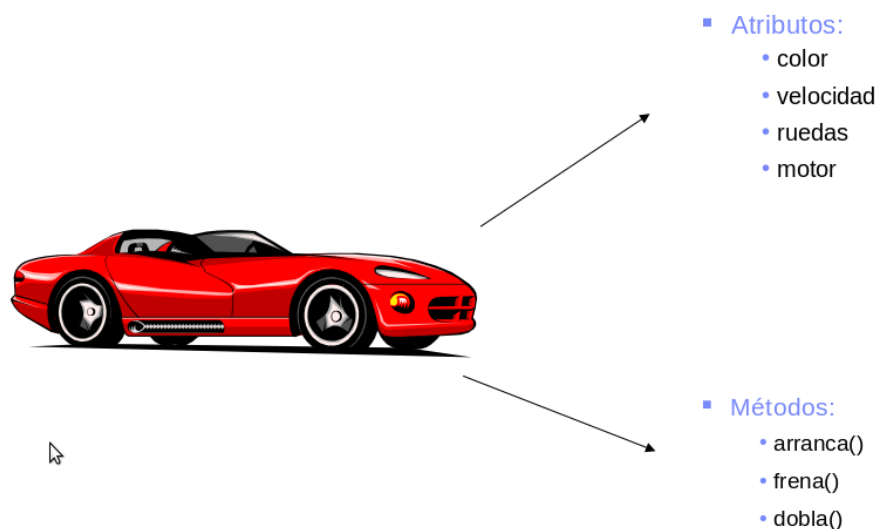
### 2.3.1.3.1. Bases de datos orientadas a objetos

Dentro de las bases de datos NoSQL, la mayoría son orientadas a objetos.

Una base de datos orientada a objetos implementa dentro de un sistema de información los datos representados en forma de objetos. Su diferencia respecto a las bases de datos relacionales en que no emplean las clásicas tablas para el tratamiento de datos.

Combinan perfectamente con lenguajes de programación ampliamente extendidos, como son C++, Java, Python o NET, entre otros.

La forma en la que se define el esquema de la base de datos es mucho más flexible.



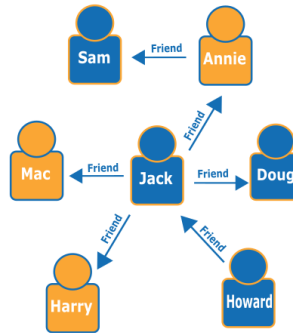
*Ilustración 64. Ejemplo de los parámetros de un coche que se podrían almacenar en una base de datos orientada a objetos (Bases de datos NoSQL, 2019)*

### 2.3.1.5. Bases de datos gráficas

Las bases de datos gráficas están especialmente diseñadas para almacenar relaciones y permitir su navegación entre ellas. Este tipo de bases de datos emplea nodos para almacenar entidades de datos y bordes para el almacenamiento de relaciones entre las entidades.

Los bordes constan de un nodo de inicio, un nodo final, una dirección y un tipo. El borde puede describir las relaciones principales y secundarias, las cosas similares, la propiedad y las acciones. La cantidad de relaciones que puede tener un nodo es infinita.

A continuación, se puede apreciar un ejemplo de datos gráfica en la que se puede averiguar, mediante las personas (nodos) y sus relaciones (bordes) quienes son los amigos de los amigos de una persona en particular. (Base de datos de gráficos, 2021)



*Ilustración 65. Ejemplo de base de datos gráfica (Base de datos de gráficos, 2021)*

### 2.3.2. ¿Qué es un servicio web o webservice?

Un webservice facilita un servicio por medio de internet, es decir, se trata de una interfaz a través de la cual dos máquinas o aplicaciones se comunican.

Sus dos principales características son:

**Multiplataforma:** El servidor y el cliente no tienen que tener una misma configuración para poder comunicarse, sino que el webservice se encarga de que esto sea posible.

**Distribuida:** No suele ser para un cliente único, sino que pueden acceder al servicio distintos clientes mediante internet.

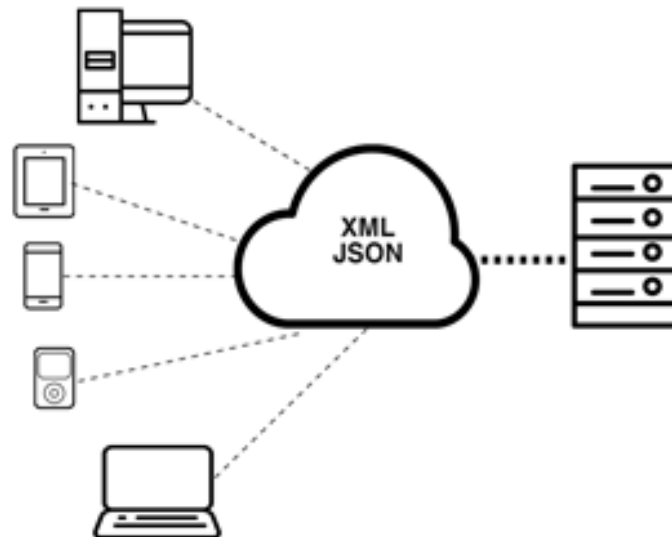
Para poder emplear un webservice, el cliente manda una solicitud al servidor, y éste responde al cliente.

La principal ventaja de los servicios web es que no dependen de una plataforma en concreto para la comunicación, lo cual permite que el servidor y el cliente no necesiten tener rasgos comunes para comunicarse.

Se suelen emplear formatos estandarizados, que permiten ser interpretados en todos los sistemas. (¿Qué son los web services?, 2015)

## Estado del arte

Una de las desventajas que tienen es el gran tamaño de los paquetes de datos, que puede llegar a crear problemas si se tiene una conexión a internet de baja velocidad.



*Ilustración 66. Ejemplo de cómo distintos dispositivos pueden comunicarse con un mismo webservice mediante lenguaje XML o JSON (Web services, 2017)*

Para la comunicación de datos de los webservices, se usan lenguajes escritos en archivos de texto plano. Existen dos formatos mayormente extendidos para los webservices, que son XML y JSON. Cada uno cuenta con unas características determinadas. A continuación, serán analizados.

### **2.3.2.1. Webservices basados en XML**

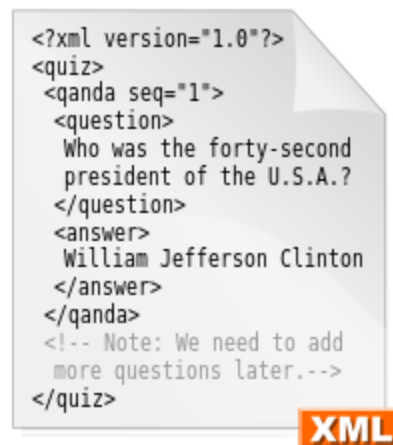
El lenguaje XML es un lenguaje de marcado que define unas reglas para la codificación de los documentos. Está basado en etiquetas, igual que el lenguaje HTML. Es un lenguaje bastante más avanzado, que presenta muchas utilidades para su extensión, validación y sintaxis de datos.

Básicamente consiste en un conjunto de diferentes códigos que se pueden emplear en el análisis de datos o para leer textos creados por computadoras o por personas.

Su diseño se basa en simplificar y generalizar todo lo posible, siendo fácil de utilizar para varios servicios web. Gracias a estas características, permite simplificar el intercambio de datos, el cambio de plataforma y la disponibilidad de los datos. (¿Qué es XML?, 2019)

A continuación se puede observar un ejemplo de la sencillez del código en XML:

```
<?xml version="1.0"?>
<quiz>
  <qanda seq="1">
    <question>
      Who was the forty-second
      president of the U.S.A.?
    </question>
    <answer>
      William Jefferson Clinton
    </answer>
  </qanda>
  <!-- Note: We need to add
  more questions later.-->
</quiz>
```

A screenshot of a code editor showing XML code. The code is enclosed in a light gray box with a folded top-right corner. At the bottom right of the box is a small orange tab with the text 'XML' in white. The code defines a quiz with one question and answer, and a comment.

*Ilustración 67. Ejemplo de código en XML (¿Qué es XML?, 2019)*

### 2.3.2.2. Webservices basados en JSON

El lenguaje JSON, al igual que el lenguaje XML, es un formato de intercambio ligero, con características similares a XML ya que puede ser leído fácilmente y es independiente de la plataforma.

Está basado en un subconjunto de Javascript por lo que puede ser convertido a dicho lenguaje rápidamente.

Su principal ventaja es que las capas que representan la información tienen un formato más ligero que XML y por lo tanto, consume menos ancho de banda y se transporta más rápidamente.

Esto se consigue enviando solo la información necesaria cuando se realiza una petición en el webservice, lo que disminuye de forma considerable la cantidad de datos que se envían y se reciben en el servidor, haciendo el sistema altamente escalable y respondiendo mejor ante una gran carga de usuarios. (Web service con JSON, 2015)

```
<script>
  Persona = {
    "ID": "1",
    "Nombre": "Jhon",
    "Apellido": "Doe",
    "Edad": 64,
    "Tel" : null,
    "check": true,
    "SO": ["Windows 10", "Ubuntu", "Android"]
  };
  console.log(Persona)
</script>
```

A screenshot of a code editor showing JavaScript code. The code is enclosed in a dark gray box with a light gray border. The code defines a JavaScript object 'Persona' with various properties and logs it to the console.

*Ilustración 68. Ejemplo de código JSON (Web service con JSON, 2015)*

## 3. DESARROLLO

Para la realización de este proyecto, en primer lugar, se han buscado placas de Arduino con cámara incorporada ya comercializadas, para probarlas y ver si son capaces de realizar reconocimiento artificial de caras.

Si se da el caso de que no se pueda realizar reconocimiento artificial debido a que el hardware de la placa no es lo suficientemente potente (ya que estas placas no cuentan con memoria PSRAM), se procederá a la búsqueda de una alternativa, como puede ser diseñar un esquema electrónico del hardware que necesitamos sobre la aplicación de diseño de circuitos "KiCad", y mandarla imprimir en un lugar especializado.

A continuación, se procederá a realizar los apartados del proyecto, comentando el procedimiento realizado para cada prueba y analizando los resultados obtenidos en cada apartado antes de pasar al siguiente. En primer lugar, se comenzará con la búsqueda y prueba de varias placas basadas en ESP-32.

### 3.1. PRUEBA DE DIFERENTES PLACAS DE ARDUINO BASADAS EN ESP-32

A continuación, se van a probar las tres diferentes placas con cámara basadas en Arduino, con denominación ESP-32.

Dentro del modelo ESP-32, hay multitud de modelos diferentes, cada uno con distintos componentes de hardware, variando componentes como pueden ser la memoria interna, el modelo de antena WiFi o la cámara.

Los tres modelos de ESP-32 a probar van a ser los siguientes:

- OV2640 V1.0 TTGO T-Journal
- OV2640 Ai-Thinker 2AHMR-ESP32-S
- 8225N V2.0 171026

Se tratará de realizar el reconocimiento artificial de caras con estos modelos, pero, en primer lugar, se explicará cómo hacer funcionar las placas de Arduino ESP-32 en nuestro ordenador y poder captar imágenes con ellas.

### 3.1.1. Instalación y funcionamiento de las placas ESP-32

Para escribir listas de datos deberás de emplear el estilo TFG Viñetas. A continuación tienes un ejemplo:

- Elemento 1
- Elemento 2
- Elemento 3


Para insertar notas al pie, empleamos el comando "insertar notas al pie" con las especificaciones que por defecto incluye dicho comando. Se encuentra en la ficha referencias, grupo notas al pie.

Para poder hacer funcionar las placas ESP-32, se deben instalar las tarjetas de dicho modelo en la aplicación de desarrollo de Arduino (Arduino IDE). Además, para leer el terminal de puerto serie, se empleará el programa "Hercules SETUP utility".

#### 3.1.1.2. Instalación de la tarjeta ESP-32 en Arduino IDE

Para poder hacer funcionar la placa en la aplicación de desarrollo de Arduino, se realizarán los siguientes pasos dentro de dicha aplicación.

En primer lugar, se ha añadido el link correspondiente al ESP-32 en el apartado de Gestor de URLs Adicionales de Tarjetas, el cuál se encuentra dentro del apartado Preferencias->Archivo.

Gestor de URLs Adicionales de Tarjetas:  

*Ilustración 69. Link a insertar en el apartado Gestor de URLs Adicionales de Tarjetas (Elaboración propia a partir de Arduino IDE)*

Luego, accediendo al apartado de Herramientas, se encuentra una pestaña en la que seleccionar la placa, y dentro de ella el apartado de Gestor de tarjetas, y se procederá a la descarga las tarjetas correspondientes al ESP-32.

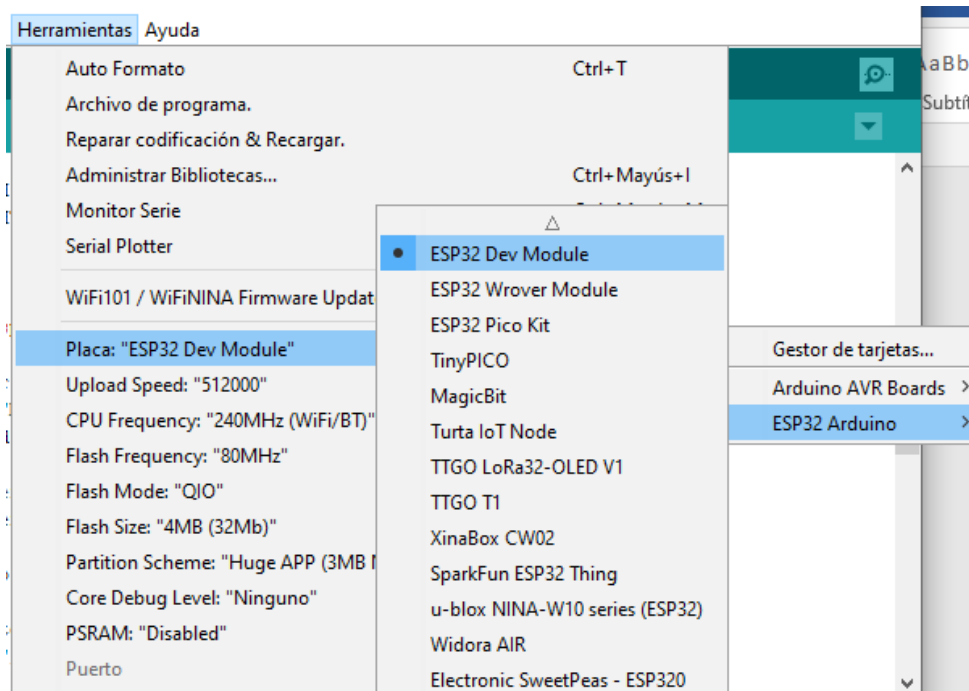


*Ilustración 70. Descarga de las tarjetas ESP-32 en Arduino IDE (Elaboración propia a partir de Arduino IDE)*

## Desarrollo

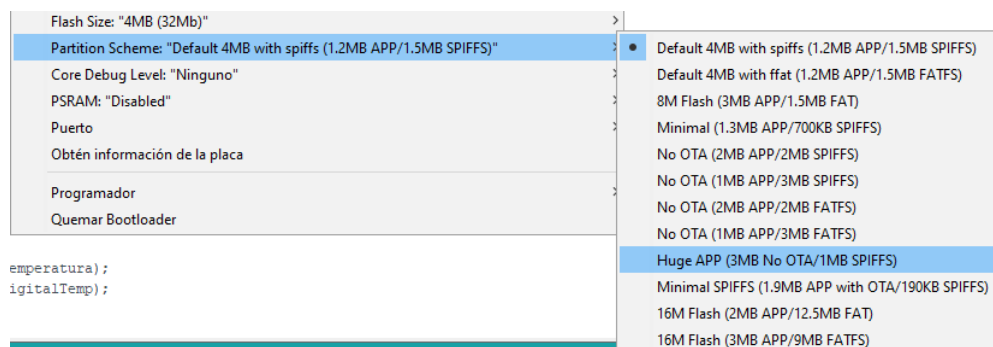
Una vez instalada la tarjeta ESP32, se procede a conectar el módulo ESP-32 módulo al ordenador vía USB, y se selecciona desde el apartado de Placa, el cual se encuentra dentro de Herramientas.

El modelo a seleccionar dependerá de la placa que se vaya a emplear, en este caso las tres placas a probar entran dentro de ESP32 Dev Module, por lo que se seleccionará esta opción.



*Ilustración 71. Selección de la Placa ESP-32 en Arduino IDE (Elaboración propia a partir de Arduino IDE)*

También se deberá seleccionar el tamaño de la partición de memoria que dedicaremos al programa de Arduino que ejecutará la placa. La opción escogida será la que da mayor capacidad para el programa, la opción de aplicación enorme (Huge APP), la cual permite una capacidad de 3MB para el programa.



*Ilustración 72. Selección del tamaño de la partición de memoria que dedicaremos al programa de Arduino (Elaboración propia a partir de Arduino IDE)*



### 3.1.1.3. Lectura del terminal de puerto serie mediante "Hercules SETUP utility"

Para leer el terminal de puerto serie, se empleará el programa "Hercules SETUP utility", el cual permite cerrar el puerto para subir nuestro programa a la placa y abrirlo una vez se haya subido el programa, además de comprobar el funcionamiento de la placa.

Teniendo el puerto cerrado en el programa Hercules, se procederá a ejecutar en la placa el programa de Arduino.

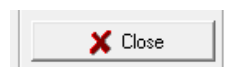


Ilustración 73. Botón para abrir y cerrar el puerto serie en el programa Hercules (Elaboración propia a partir de Hercules)

Una vez subido el programa a la placa, se debe pulsar el botón de abrir puerto, y buscar en el navegador web a la dirección que nos indica el programa Hercules, en este caso <http://192.168.1.175> seguido de una terminación definida por el puerto del servidor web indicado, en este caso el 80, por lo que se deberá buscar en el navegador la siguiente dirección: <http://192.168.1.175.80>

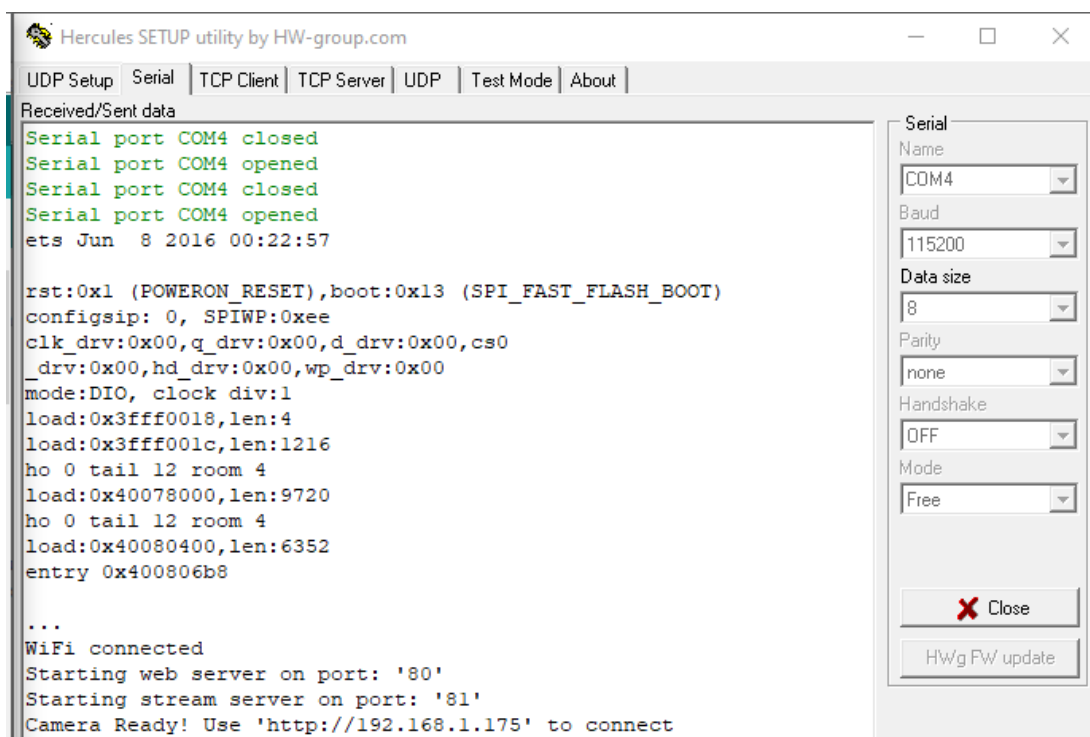


Ilustración 74. Captura del programa Hercules, indicando la dirección a buscar en el navegador web (Elaboración propia a partir de Hercules)

### 3.1.2. Código en Arduino para el funcionamiento de las placas ESP-32

El código de Arduino para el correcto funcionamiento de las placas ESP-32, se encuentra dentro de los ejemplos de Arduino, bajo el nombre CameraWebServer.

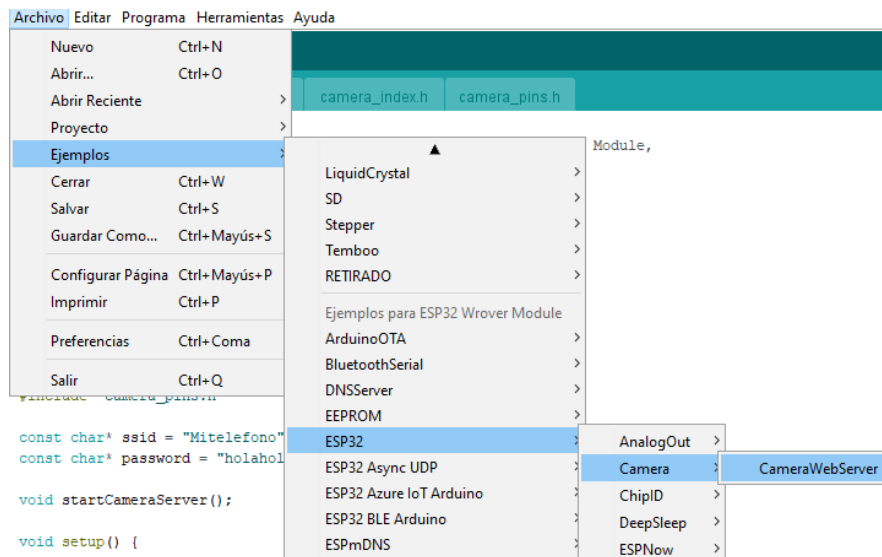


Ilustración 75. Código ejemplo de CameraWebServer para el funcionamiento de las placas ESP-32 (Elaboración propia a partir de Arduino IDE)

Se debe indicar en el código el modelo de cámara que se está empleando. El código empleado se encontrará en el apartado de anexos.

```
// Select camera model
#define CAMERA_MODEL_T_JOURNAL
//#define CAMERA_MODEL_WROVER_KIT
//#define CAMERA_MODEL_ESP_EYE
//#define CAMERA_MODEL_M5STACK_PSRAM
//#define CAMERA_MODEL_M5STACK_WIDE
//#define CAMERA_MODEL_AI_THINKER
```

Ilustración 76. Selección del modelo de cámara ESP-32 en el código de Arduino (Elaboración propia a partir de Arduino IDE)

Además, en el código, se deberá indicar la SSID y la clave de la red WiFi que se va a emplear.

```
const char* ssid = "MIWIFI_2G_ah5j";
const char* password = "JuG3FUeu";
```

Ilustración 77. SSID y clave de la red WiFi a emplear en el código de Arduino (Elaboración propia a partir de Arduino IDE)

Una vez completado el código, se procederá a compilarlo y a subirlo a la placa.

### 3.1.3. Prueba de la placa ESP-32 OV2640 V1.0

#### TTGO T-Journal

La primera placa que se va a probar, es el modelo OV2640 V1.0 TTGO T-Journal, el cual cuenta con las siguientes características:



*Ilustración 78. Módulo ESP-32 TTGO OV2640 en funcionamiento (Elaboración propia)*

#### Hardware

- Microprocesador Chipset ESPRESSIF-ESP32-PCIO-D4 240MHz Xtensa® single-/dual-core 32-bit LX6
- Memoria FLASH QSPI flash/SRAM, hasta 4 x 16 MB
- Memoria SRAM 520 kB SRAM
- Botón de Reset y botón en la entrada GPIO 32
- Pantalla OLED modelo SSD1306 con un tamaño de 128x32 píxeles (0.91 pulgadas)
- Led indicador de encendido
- Conector USB a TTL CP2104, que nos permite cargar el código en la placa mediante un cable USB.
- Cámara OV2640 con una resolución de 2 Megapíxeles
- Oscilador de cristal de 40MHz
- Voltaje de trabajo de 2.3V-3.6V
- Corriente de trabajo de alrededor de 160mA
- Rango de temperaturas de trabajo de -40°C a +85°C
- Tamaño de 64.57 mm de alto por 23.98 mm de ancho

## Desarrollo

- Voltaje de alimentación vía USB de 5V
- Corriente de alimentación de 1A
- Posibilidad de incorporar una batería de litio de 3.7V para alimentar la placa.

## Software

- Modos de WiFi Station/SoftAP/SoftAP+Station/P2P
- Mecanismo de seguridad WPA/WPA2/WPA2-Enterprise/WPS
- Encriptación de tipo AES/RSA/ECC/SHA
- Actualización del firmware mediante descarga UART/OTA
- Protocolo de red IPv4, IPv6, SSL, TCP/UDP/HTTP/FTP/MQTT

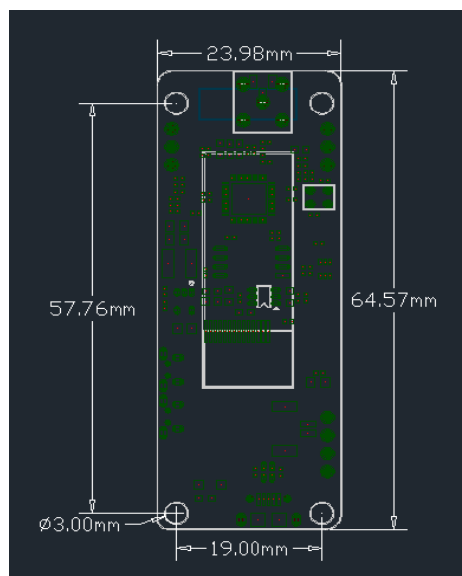
## WiFi

- Emplea los estándares FCC/CE/TELEC/KCC/SRRC/NCC
- Emplea el protocolo 802.11 b/g/n/e/i, soportando una velocidad de hasta 150MB/s
- Rango de frecuencias de 2.4GHz a 2.5GHz (no podremos conectarlo a las nuevas redes WiFi que funcionan a 5GHz.
- Potencia de transmisión de 22dBm
- Distancia de comunicación de hasta 300m

## Bluetooth

- Emplea el protocolo Bluetooth v4.2BR/EDR
- Usa frecuencias de radio con -98dBm de sensibilidad. (TTGO OV2640 2021)

## Dimensiones



*Ilustración 79. Dimensiones de la placa ESP-32 OV2640 (TTGO OV2640, 2021)*

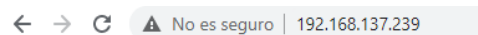
Se han seguido los procedimientos indicados anteriormente para hacer funcionar la placa correctamente, después de conectar la placa por micro USB al puerto USB del ordenador.

La aplicación Hércules ha indicado que la dirección a buscar en el navegador web para ver las imágenes captadas por el módulo, es decir, la dirección del servidor de Streaming, es la siguiente: <http://192.168.137.239/>

```
..  
WiFi connected  
Starting web server on port: '80'  
Starting stream server on port: '81'  
Camera Ready! Use 'http://192.168.137.239' to connect
```

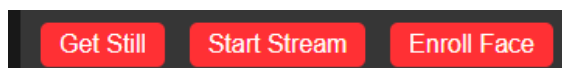
*Ilustración 80. Captura de la aplicación Hercules en la que indica la dirección web a buscar en el navegador (Elaboración propia a partir de Hércules)*

Por lo que se ha buscado en el navegador web, en este caso Google Chrome, la dirección:



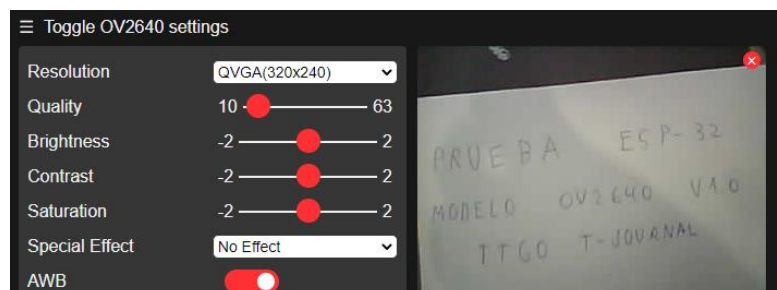
*Ilustración 81. Captura del buscador Google Chrome con la dirección del servidor de Streaming (Elaboración propia a partir de Google Chrome)*

Una vez buscada esta dirección en el navegador web, en la parte inferior de la ventana se encuentra el botón de "Start Stream". Al pulsarlo, se comenzará a observar la imagen que capta la cámara del ESP-32.



*Ilustración 82. Detalle del botón para comenzar a capturar imágenes en el servidor de streaming (Elaboración propia a partir de Google Chrome)*

Los resultados obtenidos con esta placa son los siguientes:

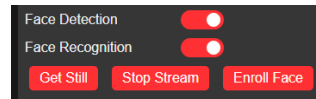


*Ilustración 83. Captura de imagen de prueba con el TTGO OV2640 en el servidor de Streaming (Elaboración propia a partir de Google Chrome)*

Dentro de la ventana, se pueden ajustar múltiples opciones de visualización de la imagen, tales como la resolución, el brillo o el contraste.

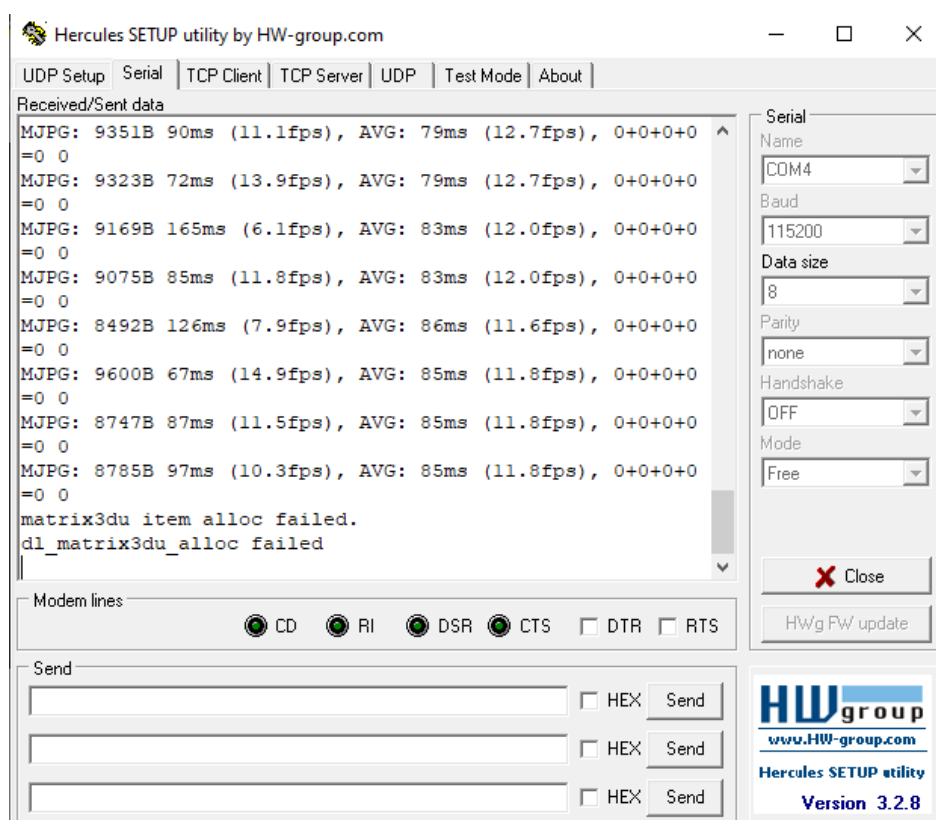
## Desarrollo

Pero la opción más interesante, y en la que se centra este trabajo de final de grado, es la opción de reconocimiento facial.



*Ilustración 84. Opción de reconocimiento facial en el servidor de Streaming (Elaboración propia a partir de Google Chrome)*

Al pulsar esta opción, la imagen deja de transmitirse, y al comprobar el programa Hercules, se indica que se ha producido un fallo en la matriz.



*Ilustración 85. Error en el programa Hercules al tratar de activar el reconocimiento facial en el servidor de Streaming (Elaboración propia a partir de Hércules)*

Este error, es producido debido a que esta placa ESP-32 no cuenta con memoria PSRAM, es decir, memoria temporal. Esto provoca que la placa no tenga suficiente capacidad de procesamiento como para poder reconocer una cara.

### 3.1.4. Prueba de la placa ESP-32 Ai-Thinker

La segunda placa que se va a probar, es el modelo Ai-Thinker.

Para el correcto funcionamiento de esta placa ESP-32, se debe emplear un módulo conversor FTDI, de puerto mini USB a puerto serial TTL. Esto nos permitirá conectar el dispositivo serial TTL al ordenador mediante un puerto USB.

Las siglas en inglés TTL significan transistor-transistor logic (lógica transistor a transistor). Es una tecnología de construcción de circuitos integrados electrónicos digitales, basada en el uso de transistores bipolares. (RS-232 vs TTL, 2020)

Las características de esta placa son las siguientes:

- Módulo WIFI ESP-32S
- Procesador ESP32-D0WD
- Memoria Flash integrada de 32 Mb
- Memoria RAM interna 512KB + PSRAM externo 4M
- Antena PCB integrada
- Protocolo WiFi IEEE 802,11 b/g/n/e/
- Bluetooth 4,2 BR/EDR y BLE
- Seguridad WPA/WPA2/WPA2-Enterprise/WPS
- Formato de imagen de salida: JPEG (solo compatible con OV2640), BMP, escala de grises
- Soporta tarjeta de memoria externa de hasta 4 Gb
- Fuente de alimentación de 5V
- Potencia de transmisión:
  - 802.11b:  $17 \pm 2$  dBm(@ 11Mbps)
  - 802,11g:  $14 \pm 2$  dBm(@ 54Mbps).
  - 802.11n:  $13 \pm 2$  dBm(@ HT20,MCS7)
- Sensibilidad de recepción:
  - CCK 1Mbps: -90 dBm
  - CCK 11Mbps: -85 dBm
  - 6Mbps(1/2 BPSK): -88 dBm
  - 54Mbps(3/4 64-QAM): -70 dBm
- Consumo de energía de 180 mA a 5V en uso normal
- Consumo de energía de 6 mA en modo Stand-By
- Temperatura de funcionamiento:  $-20^{\circ} \sim 85^{\circ}$

Desarrollo

- Dimensiones: 40,5mm x 27mm x 4,5mm (ESP32-CAM, 2021)

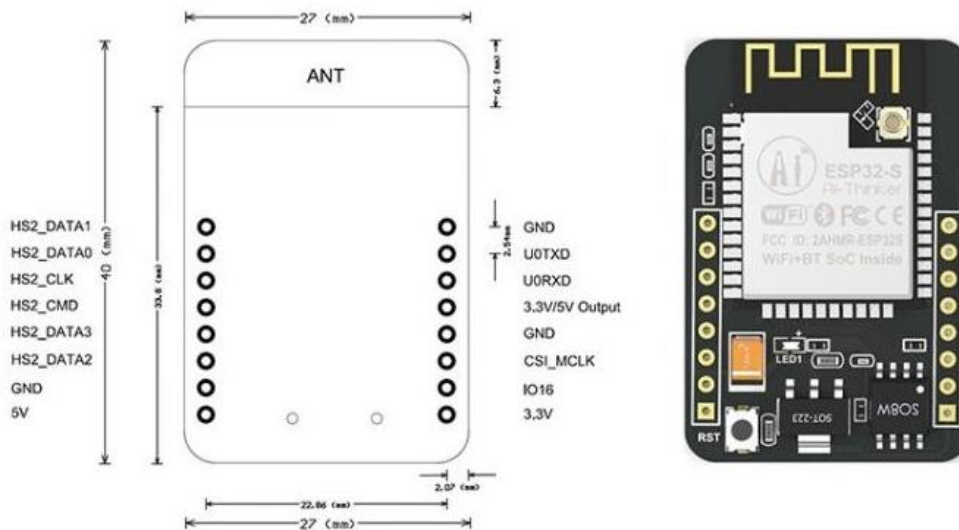


Ilustración 86. Dimensiones y pines de la placa ESP-32 Ai-Thinker (ESP32-CAM, 2021)

Para el correcto funcionamiento de esta placa, en primer lugar, ha sido necesario conectar correctamente el módulo conversor FTDI, de puerto mini USB a puerto serial TTL, con el ESP-32. (USB to Serial, 2015)

El esquema de conexión es el siguiente:

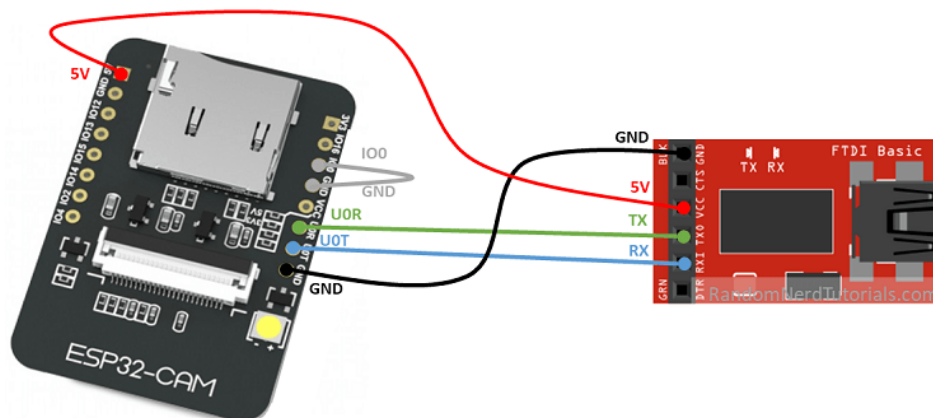
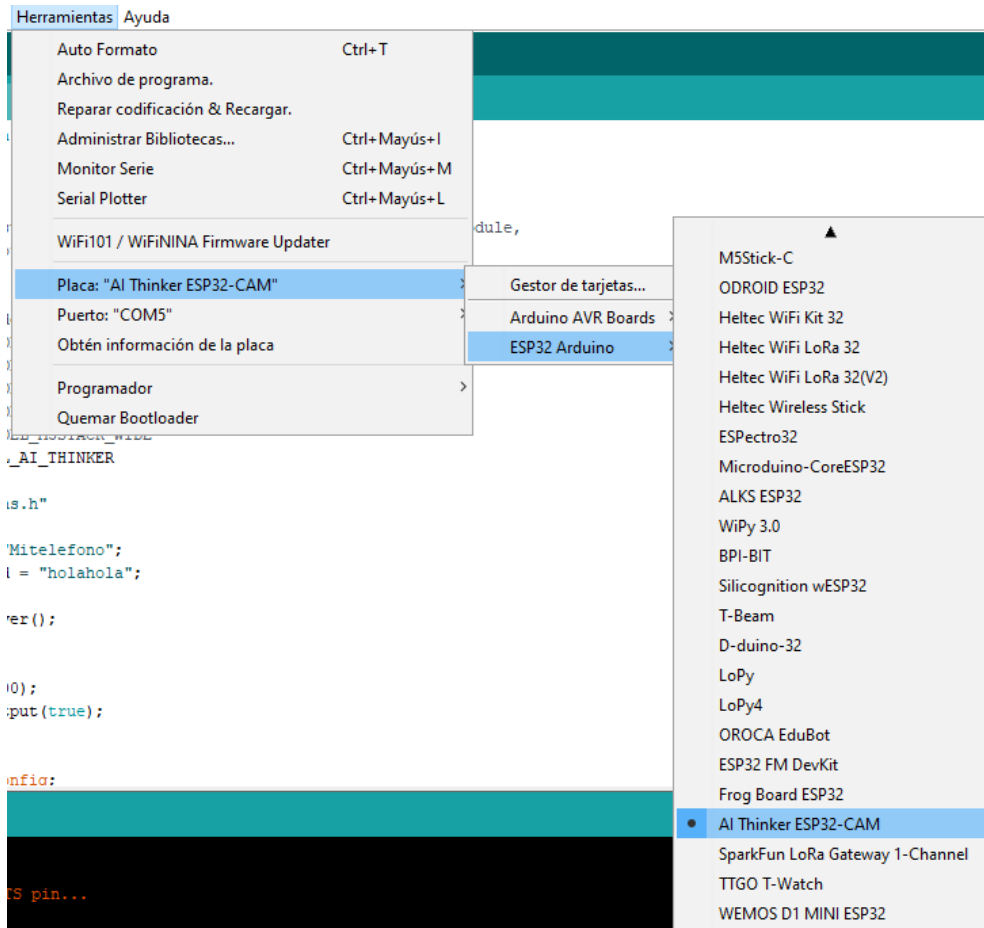


Ilustración 87. Esquema de conexión del conversor FTDI con la placa ESP-32 (ESP32-CAM, 2021)

Algunos módulos conversores FTDI tienen un selector que permite elegir entre una alimentación de 3.3V o de 5V. Esta placa ESP-32 funciona únicamente con 5V, por lo que debe comprobarse que el selector se encuentra en 5V en caso de que lo haya.



Una vez hecho esto, se debe seleccionar la placa Ai-Thinker dentro de la aplicación Arduino IDE.



*Ilustración 88. Selección de la placa AI-Thinker dentro de la App Arduino IDE (Elaboración propia a partir de Arduino IDE)*

Y dentro del código se debe seleccionar el modelo de cámara CAMERA\_MODEL\_AI-THINKER.

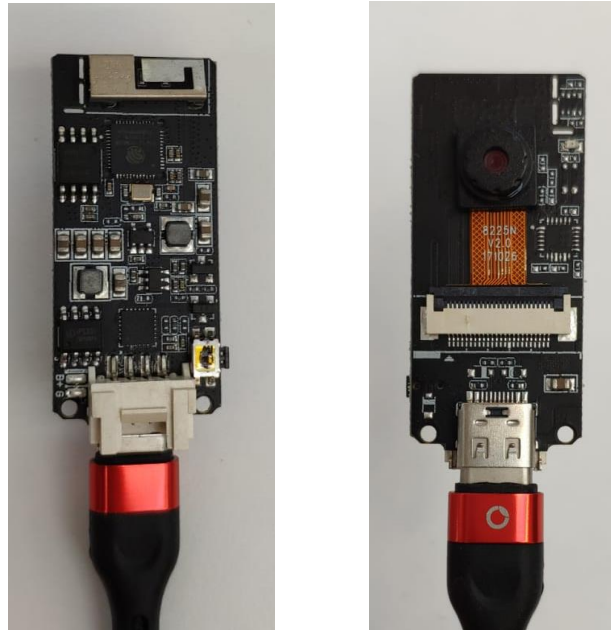
```
// Select camera model
//#define CAMERA_MODEL_T_JOURNAL
//#define CAMERA_MODEL_WROVER_KIT
//#define CAMERA_MODEL_ESP_EYE
//#define CAMERA_MODEL_M5STACK_PSRAM
//#define CAMERA_MODEL_M5STACK_WIDE
#define CAMERA_MODEL_AI_THINKER
```

*Ilustración 89. Selección de la cámara Ai-Thinker dentro del código de Arduino IDE (Elaboración propia a partir de Arduino IDE)*

Finalmente, el funcionamiento de este módulo ESP-32 resultó imposible de realizar correctamente debido a un mal funcionamiento del módulo FTDI adquirido.

### 3.1.5. Prueba de la placa ESP-32 OV2640 8225N V2.0

La tercera placa a probar, es el modelo ESP-32 OV2640 8225N V2.0.



*Ilustración 90. Módulo ESP-32 OV2640 8225N conectado mediante USB Tipo-C al puerto USB del ordenador (Elaboración propia)*

Esta placa se conecta al puerto USB del ordenador directamente mediante un cable de Tipo-C.

El modelo de placa seleccionado en la aplicación Arduino IDE es el ESP32 Dev Module.

Esta placa ESP-32 cuenta con las siguientes características:

- Microprocesador Tensilica LX6 de doble núcleo
- Frecuencia de reloj de 240MHz
- 520kB de memoria SRAM
- 4MB de memoria flash
- Receptor WiFi integrado 802.11 BGN
- Bluetooth de modo dual integrado (clásico y BLE)
- Encriptación acelerada por hardware (AES, SHA2, ECC, RSA-4096)
- Protocolo USB TTL
- Sensor cámara OV2640
- Interfaz estándar SCCB, compatible con interfaz I2C
- Datos comprimidos de 8 bits

- Velocidad máxima de transferencia de imágenes:
  - UXGA / SXGA: 15 fps
  - SVGA: 30 fps
  - CIF: 60 fps (TTGO OV2640, 2021)

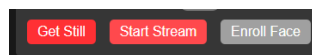
Se han seguido los procedimientos indicados anteriormente para hacer funcionar la placa correctamente, después de conectar la placa por USB Tipo-C al puerto USB del ordenador.

El modelo de cámara a seleccionar en el código, ha sido el CAMERA\_MODEL\_T\_JOURNAL.

```
// Select camera model
#define CAMERA_MODEL_T_JOURNAL
//#define CAMERA_MODEL_WROVER_KIT
//#define CAMERA_MODEL_ESP_EYE
//#define CAMERA_MODEL_M5STACK_PSRAM
//#define CAMERA_MODEL_M5STACK_WIDE
//#define CAMERA_MODEL_AI_THINKER
```

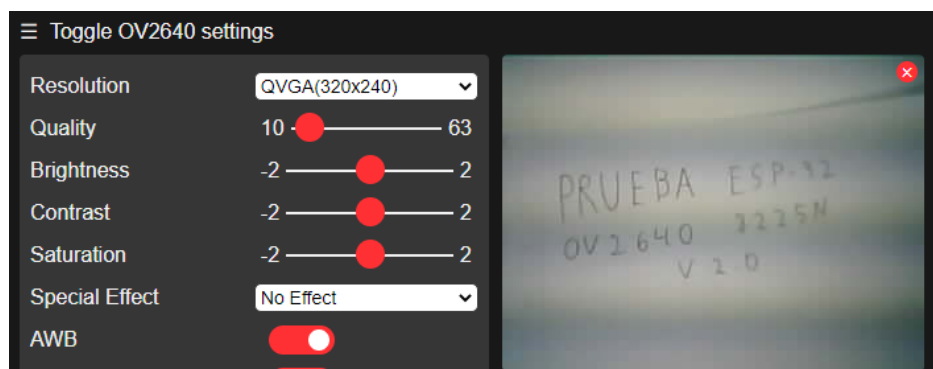
*Ilustración 91. Selección del modelo de cámara ESP-32 dentro de la App Arduino IDE (Elaboración propia a partir de Arduino IDE)*

Al comenzar el Streaming (Start Stream), se empezará a ver la imagen obtenida por la cámara.



*Ilustración 92. Botón de comienzo de Stream dentro de la plataforma de Streaming del ESP-32 (Elaboración propia a partir de Google Chrome)*

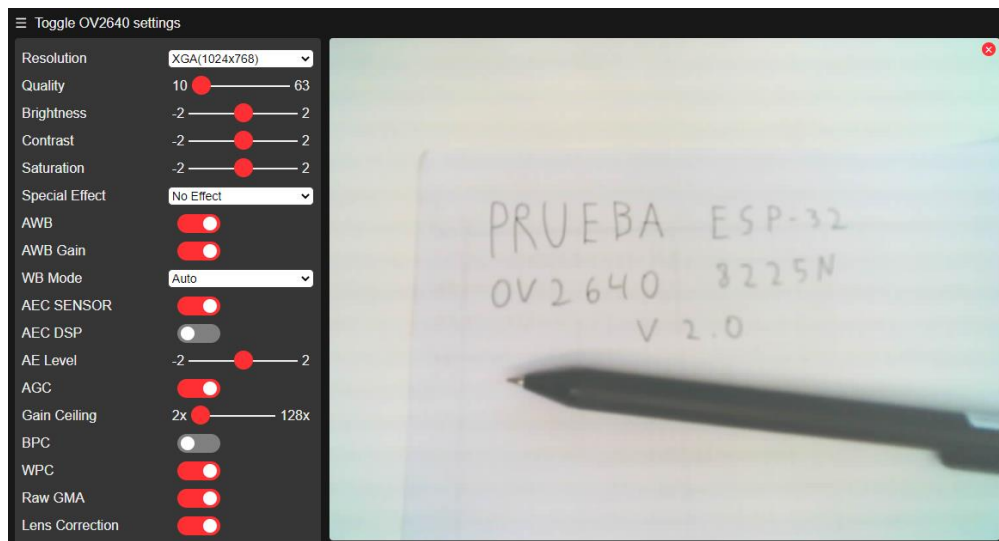
En el caso de esta placa, ha sido necesario aumentar la resolución dentro del servidor de Streaming, para conseguir obtener una imagen nítida, que, como se puede observar, la nitidez que nos proporciona esta cámara con resolución 320 x 240 es muy baja.



*Ilustración 93. Prueba del ESP-32 OV2640 8225N con resolución 320 x 240 (Elaboración propia a partir de Google Chrome)*

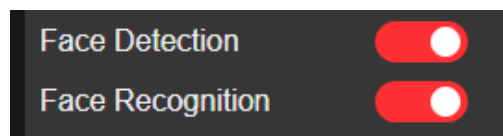
## Desarrollo

Mientras que con una resolución mayor se obtiene una imagen mucho más nítida:



*Ilustración 94. Prueba del ESP-32 OV2640 8225N con resolución 1024 x 768 (Elaboración propia a partir de Google Chrome)*

Pero al tratar de activar el reconocimiento facial mediante los botones de Face Detection y Face Recognition (Detección y reconocimiento de caras)



*Ilustración 95. Dentro de la plataforma de Streaming, botón de activación de reconocimiento facial (Elaboración propia a partir de Google Chrome)*

Se presenta el mismo error que en las placas probadas anteriormente, ya que, debido a la ausencia de PSRAM en esta placa ESP-32, no tiene suficiente capacidad como para ejecutar el reconocimiento facial, y reporta un fallo en la matriz.

```
matrix3du item alloc failed.  
dl_matrix3du_alloc failed
```

*Ilustración 96. Fallo en la matriz al tratar de activar el reconocimiento facial en la plataforma de Streaming del ESP-32 (Elaboración propia a partir de Hercules)*

## 3.2. BÚSQUEDA DE PLACAS CON PSRAM

Dado que se ha comprobado que las placas sin PSRAM no tienen capacidad de procesamiento suficiente como para conseguir ejecutar un reconocimiento facial, provocando un fallo en la matriz al intentarlo, se ha procedido a la búsqueda de modelos que llevaran integrado este tipo de memoria.

Se ha encontrado un modelo, el cual cuenta con unas buenas características de procesamiento, además de la citada memoria PSRAM.

### *3.2.1. Prueba de la placa TTGO T-Camera ESP32-WROVER-B OV2640*

Esta placa se conecta al puerto USB del ordenador mediante un cable de tipo Micro-USB.

El modelo de placa seleccionado en la aplicación Arduino IDE es el ESP32 Dev Module.

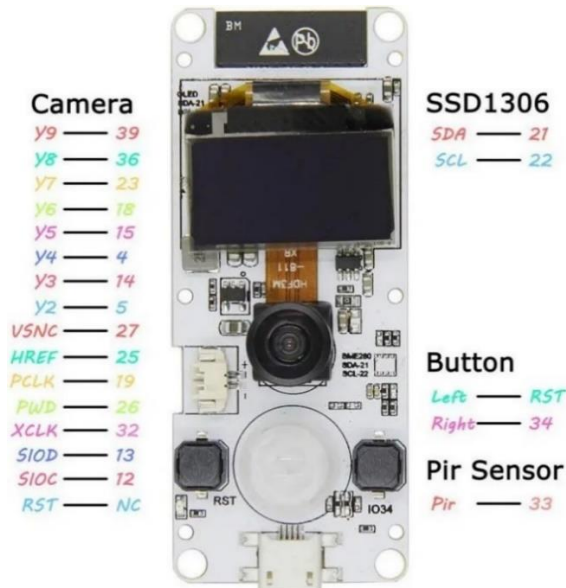
Esta placa ESP-32 cuenta con las siguientes características:

- Microprocesador ESP32-WROVER-B
- Wi-Fi 802.11 b/g/n & bluetooth 4.2 BLE & BR/EDR
- Memoria Flash de 4MB
- **Memoria PSRAM de 8MB**
- Procesador del Display modelo SSD1306 I2C
- Display de tipo OLED, con resolución 128x64
- Cámara modelo OV2640
- Resolución de la cámara de 2 Megapíxeles
- Alimentación mediante USB a 5V/1A
- Alimentación mediante batería a 3.7V

En primer lugar, para el correcto funcionamiento de la placa TTGO T-Camera ESP32-WROVER-B OV2640, ha sido necesario definir los pines de la placa dentro de la aplicación de Arduino IDE. (ESP32 TTGO T-Camera with PIR, 2021)

## Desarrollo

Para ello, se ha empleado la información proporcionada por el fabricante de la placa, en la que se indica como definir correctamente los pines de la placa.



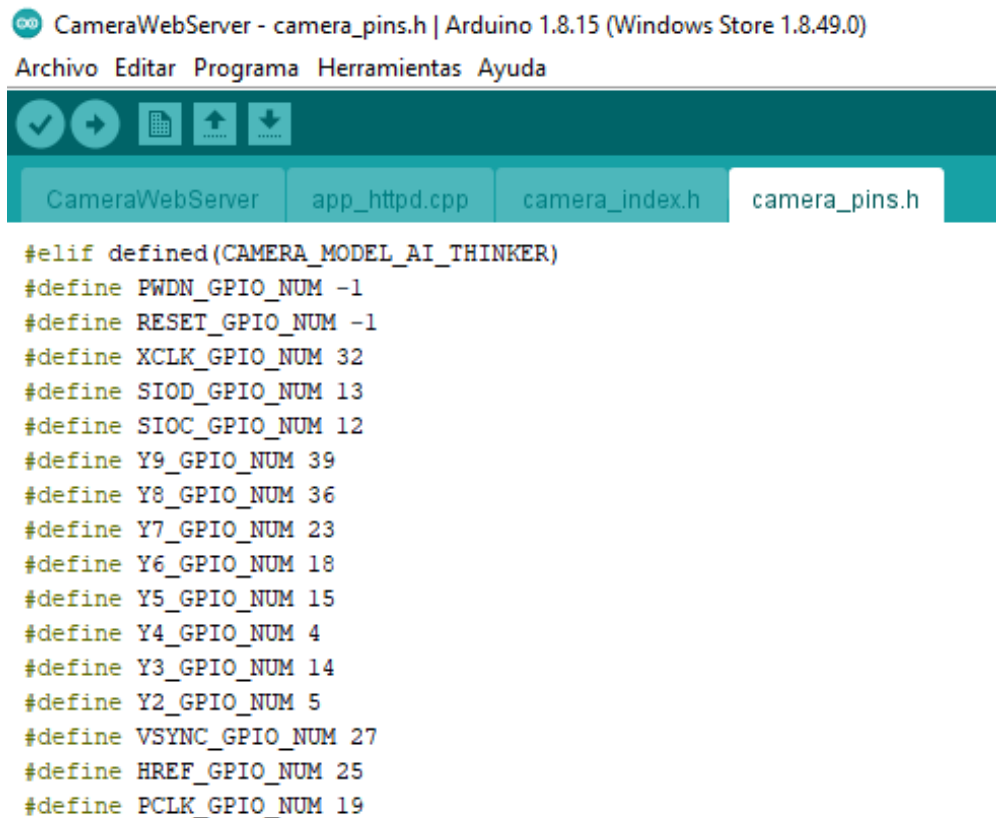
*Ilustración 97. Pines de la placa TTGO T-Camera ESP32-WROVER-B OV2640 (ESP32 TTGO T-Camera with PIR, 2021)*

Por lo tanto, dentro de la aplicación de Arduino IDE, en el código de ejemplo CameraWebServer se han redefinido los siguientes pines dentro del modelo de cámara CAMERA\_MODEL\_AI\_THINKER, ya que los que trae por defecto no son válidos para esta placa. (ESP32 TTGO T-Camera with PIR, 2021)

- `#define PWDN_GPIO_NUM -1`
- `#define RESET_GPIO_NUM -1`
- `#define XCLK_GPIO_NUM 32`
- `#define SIOD_GPIO_NUM 13`
- `#define SIOC_GPIO_NUM 12`
- `#define Y9_GPIO_NUM 39`
- `#define Y8_GPIO_NUM 36`
- `#define Y7_GPIO_NUM 23`
- `#define Y6_GPIO_NUM 18`
- `#define Y5_GPIO_NUM 15`
- `#define Y4_GPIO_NUM 4`
- `#define Y3_GPIO_NUM 14`
- `#define Y2_GPIO_NUM 5`
- `#define VSYNC_GPIO_NUM 27`
- `#define HREF_GPIO_NUM 25`
- `#define PCLK_GPIO_NUM 19`

Se han seguido los procedimientos indicados anteriormente para hacer funcionar la placa correctamente, después de conectar la placa por Micro-USB al puerto USB del ordenador.

El modelo de cámara a seleccionar en el código, ha sido el CAMERA\_MODEL\_AI\_THINKER, habiendo modificado previamente los pines dentro de la sección de código de este modelo de cámara.



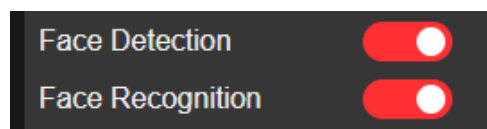
```

CameraWebServer - camera_pins.h | Arduino 1.8.15 (Windows Store 1.8.49.0)
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
CameraWebServer app_httpd.cpp camera_index.h camera_pins.h
#elif defined(CAMERA_MODEL_AI_THINKER)
#define PWDN_GPIO_NUM -1
#define RESET_GPIO_NUM -1
#define XCLK_GPIO_NUM 32
#define SIOD_GPIO_NUM 13
#define SIOC_GPIO_NUM 12
#define Y9_GPIO_NUM 39
#define Y8_GPIO_NUM 36
#define Y7_GPIO_NUM 23
#define Y6_GPIO_NUM 18
#define Y5_GPIO_NUM 15
#define Y4_GPIO_NUM 4
#define Y3_GPIO_NUM 14
#define Y2_GPIO_NUM 5
#define VSYNC_GPIO_NUM 27
#define HREF_GPIO_NUM 25
#define PCLK_GPIO_NUM 19

```

*Ilustración 98. Redefinición correcta de los pines del modelo CAMERA\_MODEL\_AI\_THINKER (Elaboración propia a partir de Arduino IDE)*

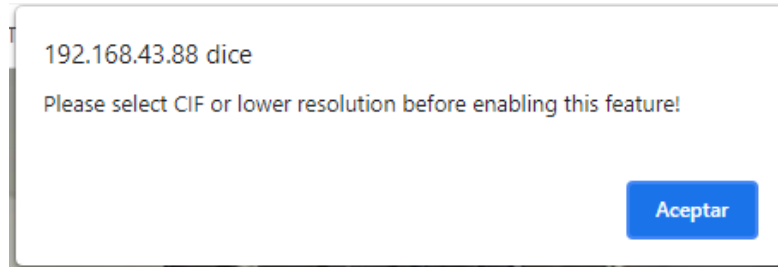
Tras comenzar el Streaming (Start Stream), se deben activar las opciones de reconocimiento facial.



*Ilustración 99. Opciones de reconocimiento facial activadas (Elaboración propia a partir de Google Chrome)*

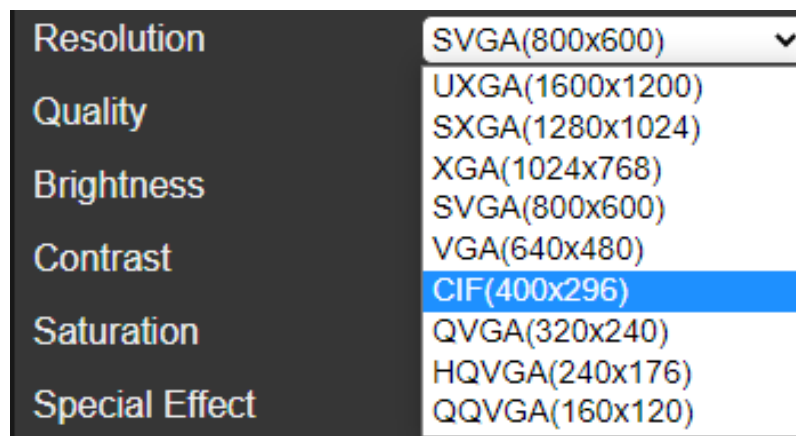
## Desarrollo

Al activarlas, el servidor indica que la máxima resolución con la que puede procesar el reconocimiento facial es CIF, es decir, una resolución de 400x296.



*Ilustración 100. Aviso de que la máxima resolución con la que se puede ejecutar el reconocimiento facial es CIF (400x296) (Elaboración propia a partir de Google Chrome)*

Por lo que se deberá seleccionar esta resolución.



*Ilustración 101. Selección de la resolución CIF (Elaboración propia a partir de Google Chrome)*

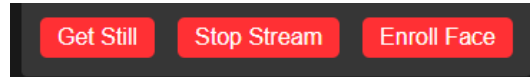
A partir de ahora, la placa comenzará a procesar el reconocimiento facial, indicando cuando detecta una cara mediante un cuadrado amarillo alrededor de ésta.



*Ilustración 102. Cuadrado amarillo indicando la detección de una cara (Elaboración propia a partir de Google Chrome)*



El servidor permite numerar las caras, mediante la pulsación del botón "Enroll Face" (Inscribir cara).



*Ilustración 103. Botón de Enroll Face para inscribir caras (Elaboración propia a partir de Google Chrome)*

Ahora, al detectar una cara, la asociará a un sujeto.



*Ilustración 104. Asociación de cara con sujeto 0 (Elaboración propia a partir de Google Chrome)*

### 3.3. GUARDADO DE CARAS EN EL SERVIDOR WEB

Cuando la cámara ESP-32 recibe una solicitud, ejecuta el siguiente código:

```
server.on("/", HTTP_GET, [](AsyncWebServerRequest * request) {  
  request->send_P(200, "text/html", index_html);  
});
```

*Ilustración 105. Código que se ejecuta cuando el ESP-32 recibe una solicitud (Elaboración propia a partir de Arduino IDE)*

Este código es el encargado de crear una página web en la que mostrar la imagen capturada por la cámara.

Cuando, dentro del servidor web, pulsamos el botón de capturar, la cara debe ser almacenada para posteriormente ser procesada mediante el algoritmo de reconocimiento facial.

Esto se realiza de la siguiente forma, convirtiendo la variable takeNewPhoto en true, es decir, haciendo que se cumpla, y tomando por lo tanto una foto.

```
server.on("/capture", HTTP_GET, [](AsyncWebServerRequest * request) {  
  takeNewPhoto = true;  
  request->send_P(200, "text/plain", "Taking Photo");  
});
```

*Ilustración 106. Código que se ejecuta cuando realizamos una captura (Elaboración propia a partir de Arduino IDE)*

Y en caso de que haya una nueva foto, se solicita su envío al servicio web.

```
server.on("/saved-photo", HTTP_GET, [](AsyncWebServerRequest * request) {  
  request->send(SPIFFS, FILE_PHOTO, "image/jpg", false);  
});
```

*Ilustración 107. Código que se ejecuta para enviar la nueva captura al servicio web (Elaboración propia a partir de Arduino IDE)*

Finalmente, inicializa el servicio web:

```
server.begin();
```

*Ilustración 108. Código que inicializa el servicio web (Elaboración propia a partir de Arduino IDE)*

```
int64_t ready_time = (fr_ready - fr_start)/1000;
int64_t face_time = (fr_face - fr_ready)/1000;
int64_t recognize_time = (fr_recognize - fr_face)/1000;
int64_t encode_time = (fr_encode - fr_recognize)/1000;
int64_t process_time = (fr_encode - fr_start)/1000;

int64_t frame_time = fr_end - last_frame;
last_frame = fr_end;
frame_time /= 1000;
uint32_t avg_frame_time = ra_filter_run(sra_filter, frame_time);
Serial.printf("MJPG: %uB %ums (%.1ffps), AVG: %ums (%.1ffps), %u+%u+%u+%u=%u %s%d\n",
  (uint32_t) (_jpg_buf_len),
  (uint32_t) frame_time, 1000.0 / (uint32_t) frame_time,
  avg_frame_time, 1000.0 / avg_frame_time,
  (uint32_t) ready_time, (uint32_t) face_time, (uint32_t) recognize_time, (uint32_t) encode_time, (uint32_t) process_time,
  (detected)? "DETECTED ": "", face_id
);
};
```

*Ilustración 109. Código en el que se indica el tiempo que dura el reconocimiento facial (Elaboración propia a partir de Arduino IDE)*

En esta parte en la que indica cual es el tiempo disponible para reconocer una cara, el tiempo disponible para procesarla, y el tiempo que aparece el marco alrededor de la cara cuando la reconoce.

```
static mtmn_config_t mtmn_config = {0};
static int8_t detection_enabled = 0;
static int8_t recognition_enabled = 0;
static int8_t is_enrolling = 0;
static face_id_list id_list = {0};
```

*Ilustración 110. Definición de parámetros al principio del código, incluyendo la creación de la lista de caras (Elaboración propia a partir de Arduino IDE)*

Al comienzo del código se definen todos los parámetros iniciales de las variables, además de la lista en la que van a ser almacenadas las caras, denominada id\_list.

```
face_id_init(id_list, FACE_ID_SAVE_NUMBER, ENROLL_CONFIRM_TIMES);

Serial.printf("Starting web server on port: '%d'\n", config.server_port);
if (httpd_start(&camera_httpd, &config) == ESP_OK) {
  httpd_register_uri_handler(camera_httpd, &index_uri);
  httpd_register_uri_handler(camera_httpd, &cmd_uri);
  httpd_register_uri_handler(camera_httpd, &status_uri);
  httpd_register_uri_handler(camera_httpd, &capture_uri);
}

config.server_port += 1;
config.ctrl_port += 1;
Serial.printf("Starting stream server on port: '%d'\n", config.server_port);
if (httpd_start(&stream_httpd, &config) == ESP_OK) {
  httpd_register_uri_handler(stream_httpd, &stream_uri);
}
}
```

*Ilustración 111. Ejemplo de uso de la lista en la que se almacenan los nombres de cada rostro reconocido (Elaboración propia a partir de Arduino IDE)*

## Desarrollo

En esta parte del código se guarda en la lista el nombre o número asociado a cada cara, junto con el número de veces que la ha reconocido anteriormente.

Dentro de esta lista se almacenarán los rostros reconocidos, y cuando se reconozca un rostro lo comparará con los de la lista para saber si es conocido.

```
    } else {  
        matched_id = recognize_face(sid_list, aligned_face);  
        if (matched_id >= 0) {  
            Serial.printf("Match Face ID: %u\n", matched_id);  
            rgb_print(image_matrix, FACE_COLOR_GREEN, "Hello Subject %u", matched_id);  
        } else {  
            Serial.println("No Match Found");  
            rgb_print(image_matrix, FACE_COLOR_RED, "Intruder Alert!");  
            matched_id = -1;  
        }  
    }  
} else {  
    Serial.println("Face Not Aligned");  
    //rgb_print(image_matrix, FACE_COLOR_YELLOW, "Human Detected");  
}  
  
dl_matrix3du_free(aligned_face);  
return matched_id;
```

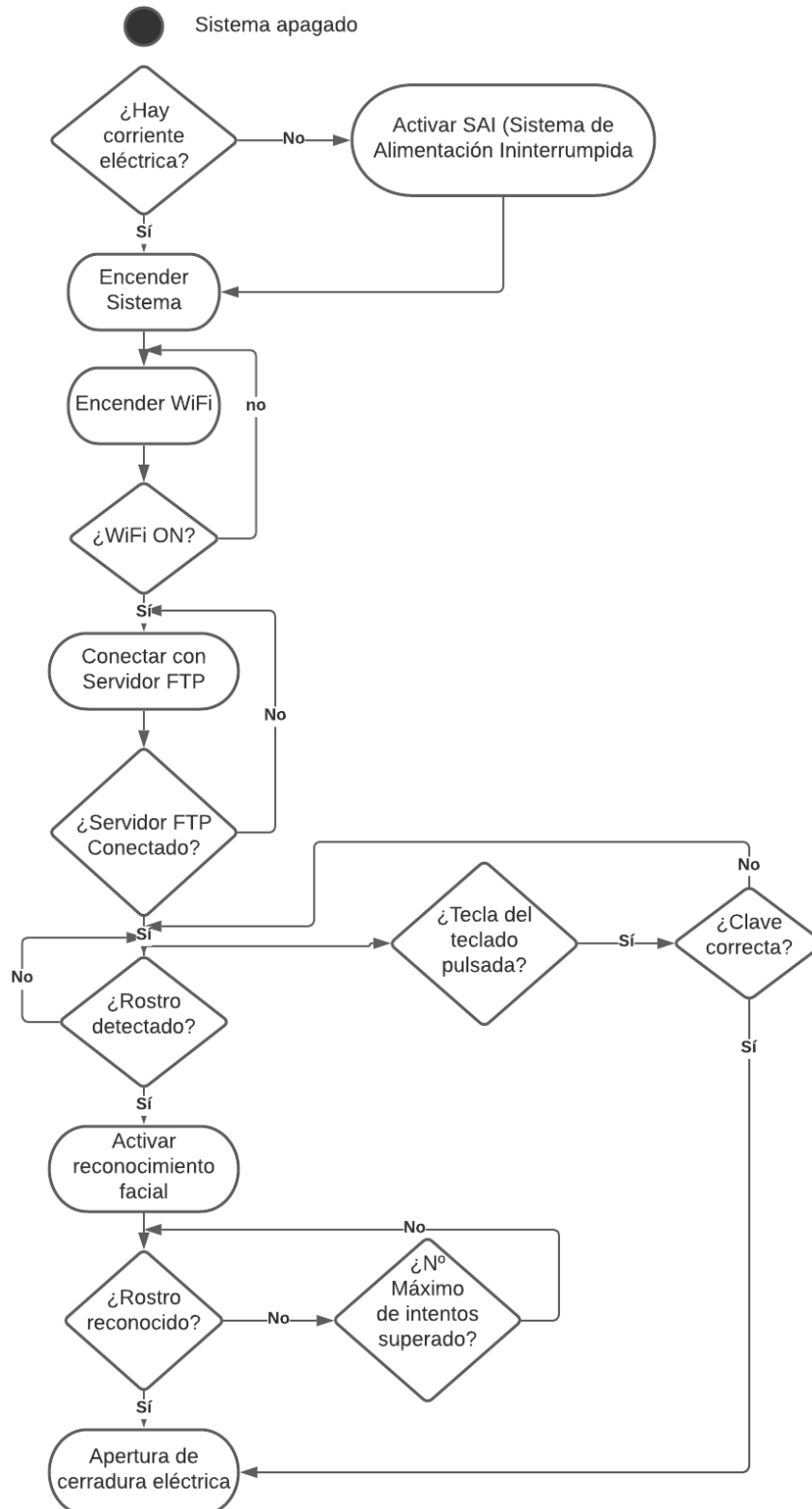
*Ilustración 112. Parte del código que indica si la cara se encuentra en la lista de rostros reconocidos o no (Elaboración propia a partir de Arduino IDE)*

En esta parte del código es donde indica que, si la cara no está dentro de la lista de caras reconocidas, la indique como cara no reconocida, y si lo está, lo salude indicándole su nombre de identificación.

Aquí es donde debería ir el código que gestiona el teclado, pero dado que se ha empleado un transistor en el esquema electrónico, no será necesario, ya que tanto el ESP-32 que controla el reconocimiento facial, como el ESP-32 que controla el teclado, pueden desbloquear la cerradura de forma independiente, ambos ESP-32 podrán abrir la cerradura eléctrica sin depender el uno del otro.

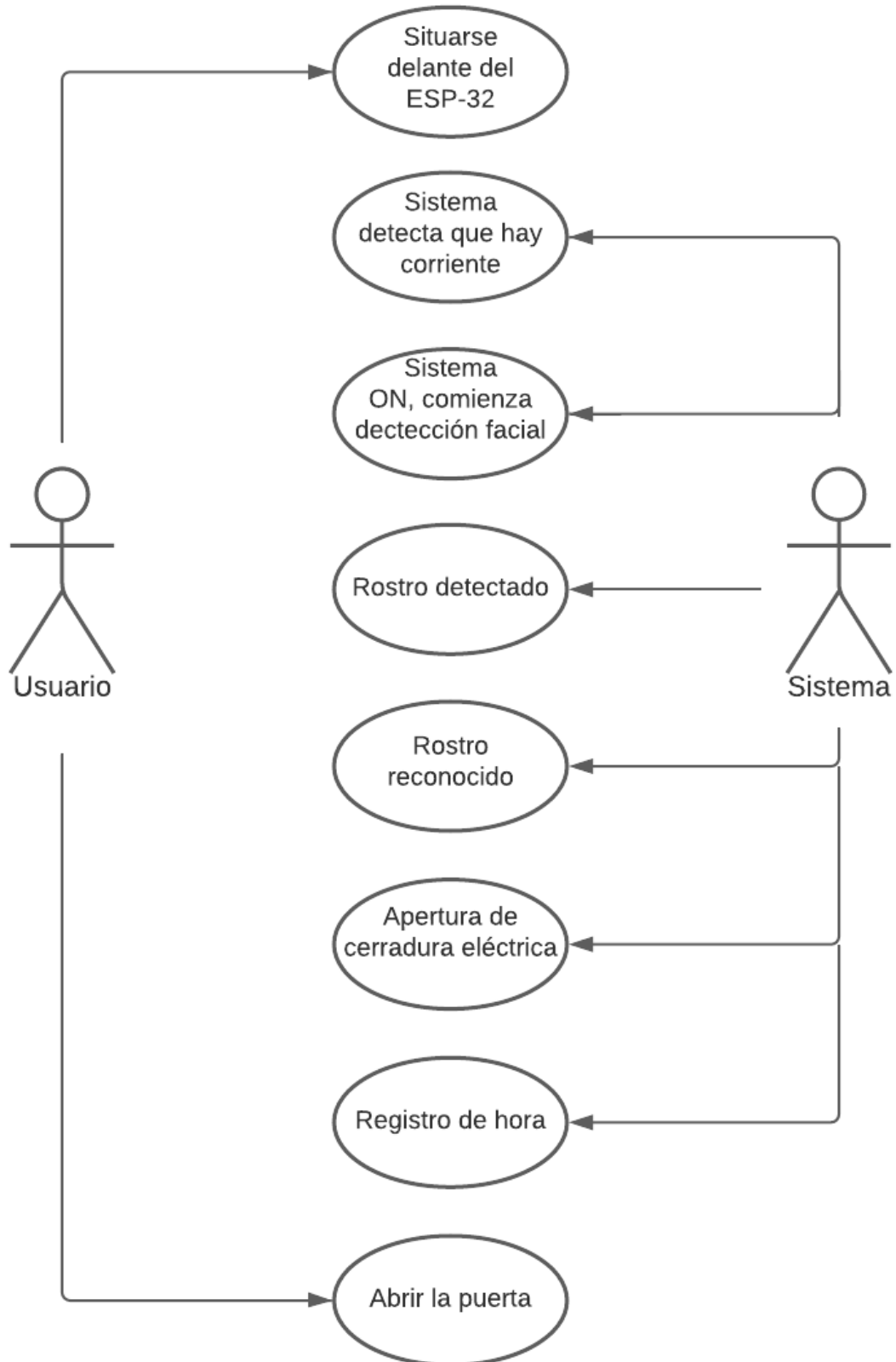
### 3.4. ORGANIGRAMA Y CASOS DE USO

#### 3.4.1. Organigrama

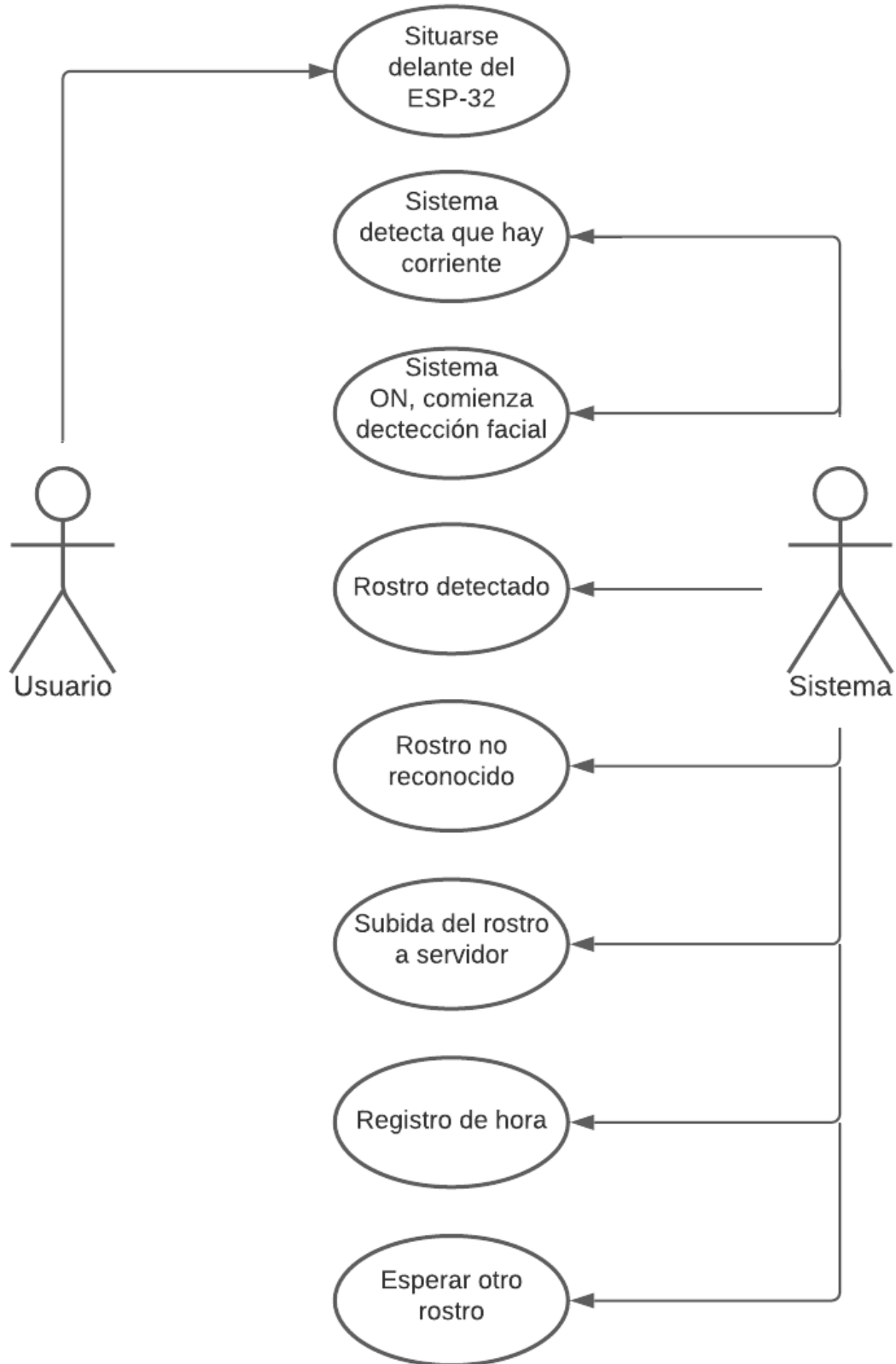


### 3.4.2. Casos de uso

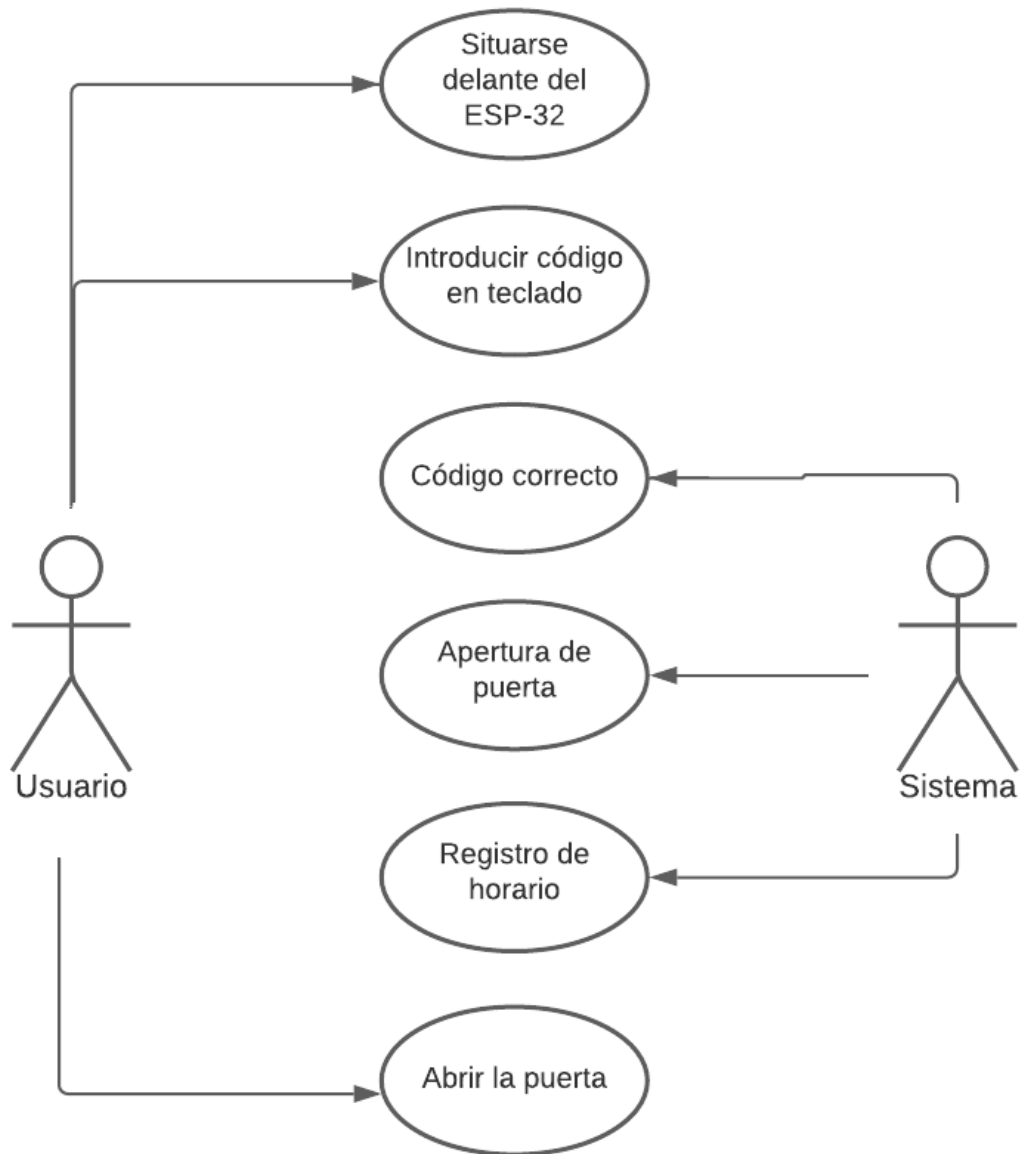
#### USO NORMAL DEL SISTEMA



### ROSTRO NO RECONOCIDO



### APERTURA CON TECLADO





## 3.5. DISEÑO DEL SISTEMA DE APERTURA DE LA PUERTA

Para el sistema de apertura de la puerta, se va a diseñar un sistema en el cual un transistor estará conectado a la placa, y en caso de que el reconocimiento sea correcto, se active permitiendo la apertura de la puerta.

Un transistor amplificador es un semiconductor que permite amplificar la salida del ESP-32 tanto en tensión como en corriente, así convierte los 3.3V en los 12V necesarios para activar el relé de la cerradura, es decir, cuando la salida digital del ESP-32 se activa enviando 3.3V, el relé de la cerradura se activa ya que recibe 12V.

Es decir, por medio del transistor, podemos controlar la cerradura que necesita un mayor voltaje para funcionar, con las salidas digitales del ESP-32, que mandan una señal de 3.3 Voltios.

El sistema completo estará conectado a un SAI, es decir, un sistema de alimentación ininterrumpida, que nos permitirá mantener el sistema de apertura activo pese a que se produzca un corte en el suministro de energía eléctrica.

### *3.5.1. Dimensionamiento del sistema de control de la cerradura*

El relé de la cerradura consume 180 mA. El expansor de entradas MCP23017 puede suministrar 20mA por lo que es necesario activar el electroimán de la cerradura con un transistor. Como hay dos líneas de activación, usaremos dos transistores Darlington NPN tipo TIP122 que soportan una corriente de colector de 8A. Tiene una ganancia de corriente  $\beta > 1000$ .

Calculo la  $I_b$ :

$$I_b = \frac{I_c}{\beta} = \frac{0.18 A}{1000} = 180 \mu A$$

Esa es la corriente de base de los transistores, es decir la corriente por cada resistencia de base.

La tensión de salida del expansor MCP23017 es la misma que la de alimentación, y su alimentación puede ser entre 1.8 y 5.5V. Lo alimentaré a 3.3V.

## Desarrollo

Así la resistencia de base del transistor deberá ser de:

$$R1 = R2 = \frac{V_s - V_{be}}{I_b} = \frac{3.3V - 1.4V}{0,00018A} \leq 10556 \Omega$$

por lo que colocaré resistencias comerciales de 8200 ohmios y tolerancia  $\pm 5\%$ .

En paralelo con el relé coloco un diodo 1N4001 polarizado inversamente para que absorba la descarga de corriente de la bobina del electroimán, con lo que se evita dañar el transistor. El diodo 1N4001 soporta una tensión inversa de 50V y una corriente directa de 1A, lo cual es suficiente para esta aplicación.

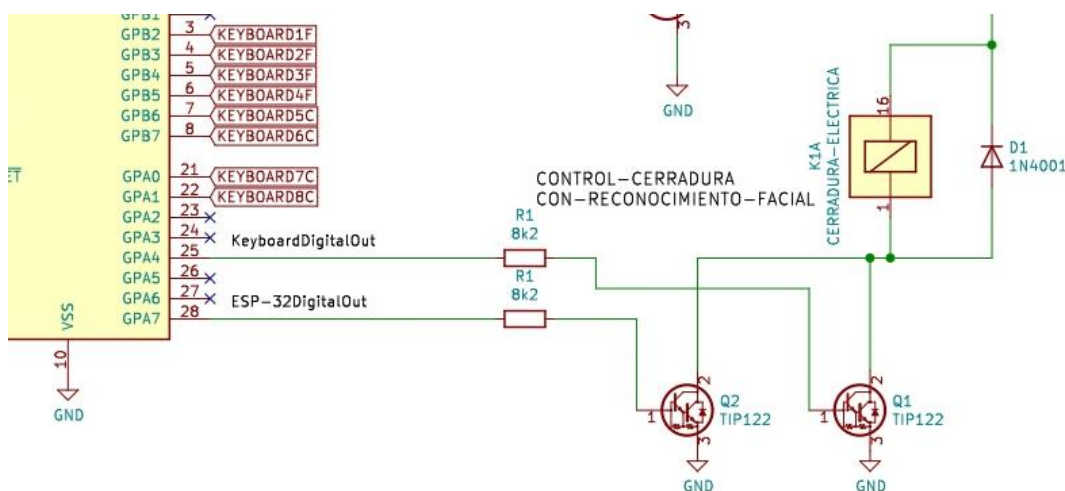


Ilustración 113. Sistema de control de la cerradura eléctrica mediante reconocimiento facial, y mediante teclado

### 3.5.2. Diseño del esquema electrónico

Se ha diseñado un esquema del conexionado de los dos ESP-32 junto con el transistor, la cerradura y la batería. Ha sido necesaria la implementación de un segundo microprocesador, en este caso un Arduino UNO, para poder añadir el teclado de acceso, junto con un transistor que permita amplificar la salida de los microprocesadores, la cual es de 3.3V, a los 12V necesarios para activar el abrepuertas eléctrico.

También ha sido necesaria la implementación de un expansor de puertos I2C conectado al ESP-32 que realiza el reconocimiento facial, con el fin de poder obtener una salida digital cuando reconozca una cara y deba desbloquear la cerradura eléctrica.

El modelo de expansor I2C seleccionado ha sido el MCP23017, que cuenta con un tamaño reducido además de un bajo coste, y proporciona un número de puertos más que suficiente para la aplicación deseada, con 16 bits.

Se emplearán los puertos SDA y SCK del ESP-32 para conectarlos al expansor MCP23017, además de conectar A0, A1 y A2 a un 0 digital (Tierra).

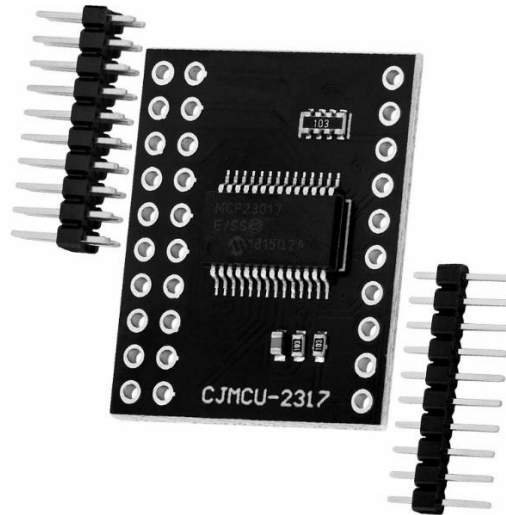


Ilustración 114. Expansor de puertos I2C modelo MCP23017 (MCP23017 Expansor de Puertos Bidireccional de 16-Bit-E/S, 2021)

El esquema del conexionado, realizado mediante el software de diseño de esquemas electrónicos KiCad, es el siguiente.

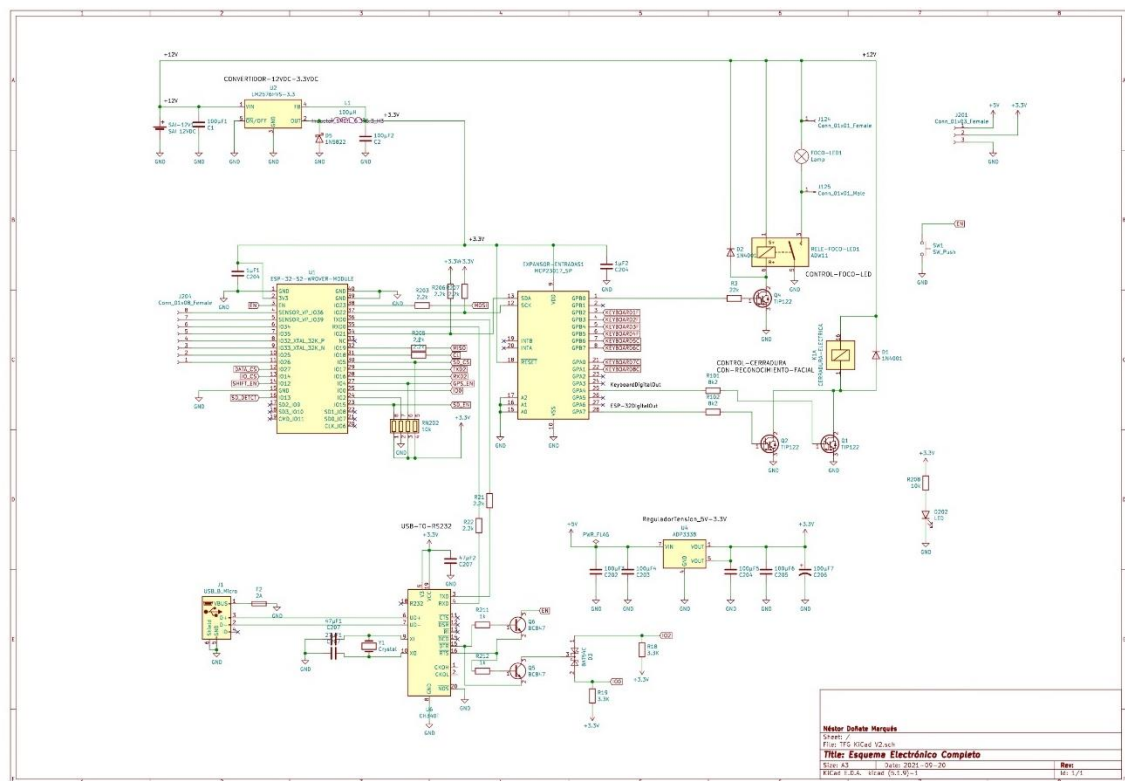
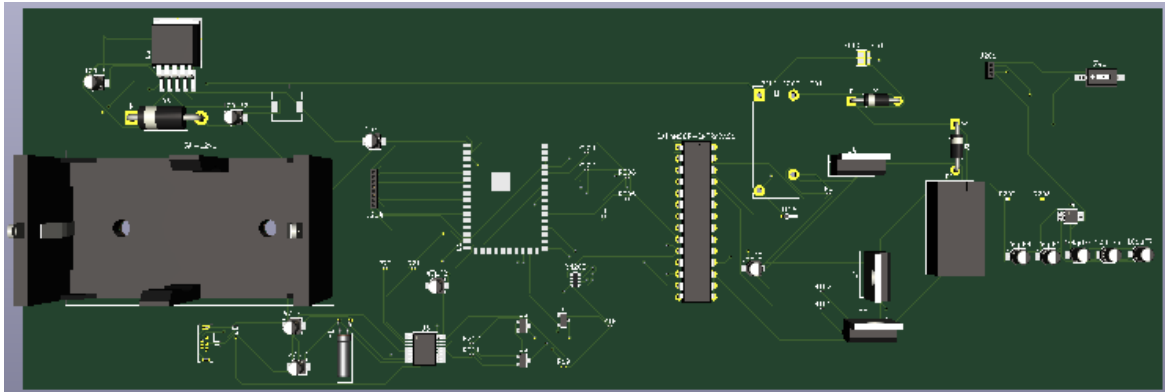


Ilustración 115. Esquema electrónico realizado mediante el software KiCad (Elaboración propia a partir de KiCad)

## Desarrollo

Una vez realizado el esquema, se ha procedido a la realización de una placa PCB, con todos los componentes existentes, simulando mediante la herramienta de creación de PCB's que incluye la aplicación de diseño de esquemas electrónicos KiCad.

La PCB obtenida es la siguiente:



*Ilustración 116. PCB creada mediante la aplicación KiCad (Elaboración propia a partir de KiCad)*

Se ha seleccionado un transistor TIP122, el cual es un transistor bipolar que permite obtener la ganancia necesaria para obtener los 12V anteriormente mencionados.

El tipo de cerradura eléctrica que se empleará es de tipo normalmente cerrado, con funcionamiento automático (A), es decir, que la cerradura permanecerá bloqueada por defecto, y cuando el Arduino mande una señal alta por el pin digital, desbloqueará la cerradura, que permanecerá desbloqueada hasta que se produzca una apertura de la puerta y luego se cierre.

El que la cerradura permanezca desbloqueada hasta que se produzca una apertura de la puerta es debido al funcionamiento automático (A) de la cerradura eléctrica funciona de esta forma, y se vuelve a bloquear cuando la puerta se cierra de nuevo.

Se deberá contar con conexión eléctrica cerca, ya que al ser un proyecto completamente electrónico se precisa de una conexión constante a la red eléctrica, además de una conexión WiFi fiable y con una velocidad de transmisión buena, para no encontrar problemas en la transmisión de las imágenes al servidor web.

Habrá que contar con la posibilidad de que se produzca un corte en el suministro de la energía eléctrica, y la gente debe poder seguir entrando, por lo que el sistema de alimentación no irá conectado directamente al sistema electrónico, sino que, por medio de un SAI (Sistema de Alimentación Ininterrumpida), en caso de fallo de la red eléctrica, el sistema seguirá funcionando.

El ESP-32 está alimentado a 3.3V DC, mientras que el abrepuestas eléctrico puede ser de 12V DC o de 24V DC, seleccionando de entre estas dos opciones el de 12V DC.

Esto quiere decir que el SAI deberá ser de 12V DC, que serán usados por el abrepuestas.

### 3.5.1. Dimensionamiento del SAI

Será necesario saber cuánto tiempo debe poder mantener la batería el sistema en funcionamiento, en este caso, se han valorado entre 4 y 5 horas el tiempo máximo que ha durado un apagón históricamente, por lo que un tiempo de 5 horas será más que suficiente para poder suplir de energía el sistema en un posible apagón.

Los consumos a tener en cuenta son:

El módulo de Arduino que se va a emplear, un ESP32, en el que no se va a usar el modo Deep Sleep, por lo que su consumo continuo será de 250 mA. El no usar la posibilidad del Deep Sleep agilizará el reconocimiento facial no teniendo que "encender" el ESP-32 en cada reconocimiento.

El total del consumo del ESP-32 será de 5 horas por los 250 mA anteriormente mencionados. Este consumo debe ser multiplicado por dos, debido a que el diseño de este sistema cuenta con dos microprocesadores, el ESP-32 que realizará el reconocimiento facial, y un Arduino UNO que tendrá conectado un teclado matricial 4x4 como alternativa de entrada.

También se ha de tener en cuenta el sensor PIR, que detecta cuando se acerca una persona al ESP-32, y tiene un consumo de 1 mA. Este sensor estará encendido durante las 5 horas.

Por último, se debe tener en cuenta el abrepuestas eléctrico, que consume 140 mA durante 5 segundos en cada apertura, y se estimará una persona cada 5 minutos, es decir 12 personas a la hora, durante 5 horas.

Esto nos da un total de:

$$125 * 5 + 250 * 5 + 1 * 5 + \frac{5}{60} * 140 * 12 * 5 = 2580 \text{ mA} = 2.580 \text{ A}$$

Y esto me permite emplear un SAI como el modelo Mini Sai DC 12V 25W Lapara, que está conectado directamente a los 230V AC de la red eléctrica mediante un conector Schuko, y que proporciona 12V DC de forma continua.

## Desarrollo

Cuenta con una capacidad de 2600 mA, lo cual proporcionará energía más que suficiente para un posible apagón de hasta 5 horas tal y como se ha estudiado en los cálculos anteriormente realizados, que nos indican que el consumo en 5 horas sería de 2580 mA.



Ilustración 117. SAI 12V DC 2600 mA con conector Schuko a 230V AC (Mini SAI DC 12V, 2021)

### 3.5.1.1. Obtención de 3.3V DC a partir de los 12V DC del SAI

Se necesitará un convertidor DC/DC que transforme los 12V de salida del SAI, en los 3.3 V necesarios por el ESP-32 y el sensor PIR, y el consumo a 3.3V va a ser el siguiente:

$$IT = 250mA + 1mA = 251 mA$$

Diseño un convertidor de 12V a 3.3V con una fuente conmutada de tipo Buck LM2576HVS-3.3.

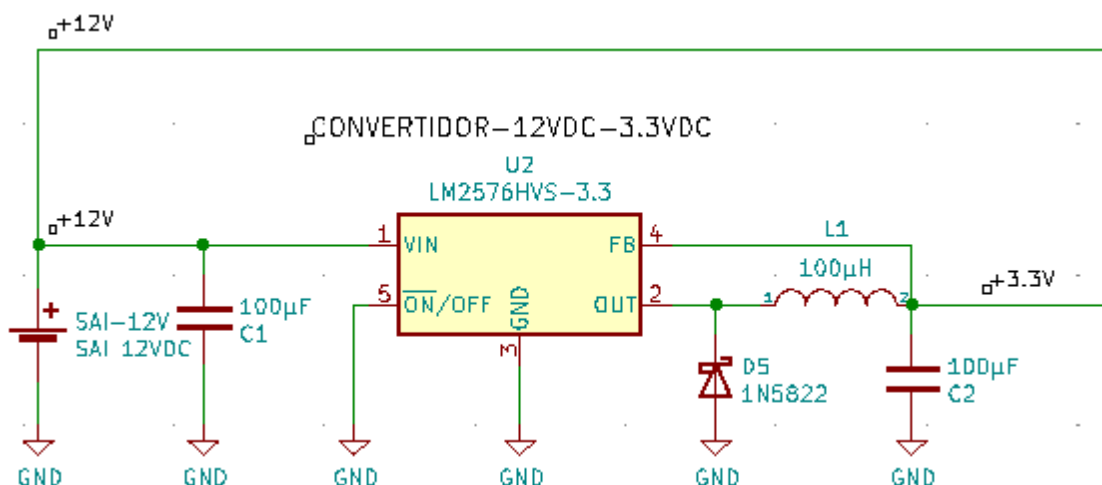


Ilustración 118. Convertidor 12VDC a 3.3VDC (Elaboración propia a partir de KiCad)

### 3.5.2. Diseño del sistema de iluminación

Como ya se ha mencionado en la parte teórica, la iluminación es una de las partes más importantes del reconocimiento facial, ya que de ella depende que se puedan apreciar en la imagen determinados rasgos que sin una correcta iluminación no sería posible.

Por este motivo, se va a diseñar un sistema de iluminación que permita un reconocimiento facial rápido y efectivo, pero que a la vez tenga un consumo reducido ya que va a pasar mucho tiempo encendido.

Por este motivo se ha optado por un foco LED, que tiene un bajo consumo a la vez que una muy larga vida útil, y proporciona una muy buena iluminación.

Concretamente, se va a optar por un foco LED especialmente diseñado para iluminación en vídeos, es decir, diseñado para iluminar escenas en las que aparecen rostros.

El modelo comercial que se empleará es el Aputure AL-F7, que cuenta con las siguientes características:

- Ángulo del foco regulable 45 grados
- Temperatura de color ajustable de 3200 K a 9500 K
- 256 LEDS, para una mejor iluminación
- 14000 lux a 0.3 metros, proporcionando una iluminación muy elevada
- Consumo muy reducido, de 125mA a 12V DC



*Ilustración 119. Foco modelo Aputure AL-F7 diseñado para iluminación de escenas con rostros (Aputure AL-F7 – Thomann España, 2019)*

## Desarrollo

Gracias a estas características, podemos orientar el foco hacia una altura que ilumine correctamente a personas de una estatura media, como puede ser 1.7 metros, además de seleccionar una temperatura de color que nos permita apreciar correctamente los rasgos de la cara. Los 14000 lux iluminarán la cara perfectamente además de que, aunque haya luz natural, tendrá potencia suficiente como para añadir esta iluminación artificial.

La iluminación podría ser activada automáticamente cuando el sensor PIR detecte la presencia de una persona, durante el tiempo necesario para que se realice el reconocimiento facial, y el esquema electrónico está preparado para tal uso.



*Ilustración 120. Rodeado en rojo, el sensor PIR incorporado en la placa ESP-32 (ESP32 TTGO T-Camera with PIR, 2021)*

Pero se ha optado por dejar el foco LED siempre encendido, al igual que el ESP-32 que reconoce las caras, para una mayor velocidad en el reconocimiento facial, siendo que el consumo del foco LED es mínimo, y además sirve de esta forma como iluminación de la puerta de entrada.

### ***3.5.2.1. Dimensionamiento del sistema de activación del foco***

Para activar el foco usaré un relé de 12V y que puede conmutar 8A, cuya corriente de control son 67mA, por lo que no puede ser activado por el expansor MCP23017 que solo puede suministrar 20mA. Utilizaré un darlington NPN tipo TIP122. Este transistor permitiría activar el foco sin necesidad de relé, pero he preferido esta opción porque permite cambiar la potencia del foco sin modificar el circuito.



La ganancia mínima de corriente del TIP122 es 1000. Calculo la corriente de base de cada transistor:

$$I_b = \frac{I_c}{\beta} = \frac{0,067 A}{1000} = 67 \mu A$$

La tensión en cada resistencia son 3.3V que saca el ESP32 a los que hay que restar 1,4V de tensión Base-Emisor del darlington, o sea  $3.3 - 1.4 = 1.9V$ .

El valor mínimo de la Resistencia de base R3 es:

$$R_3 = \frac{V_s - V_{be}}{I_b} = \frac{3,3 - 1,4}{0.000067} \leq 28358 \Omega$$

Para garantizar la saturación del transistor, selecciono una resistencia de base comercial de 22 k $\Omega$  y tolerancia  $\pm 5\%$ .

En paralelo con el relé coloco un diodo 1N4001 polarizado inversamente para que absorba la descarga de corriente de la bobina del relé, con lo que se evita dañar el transistor.

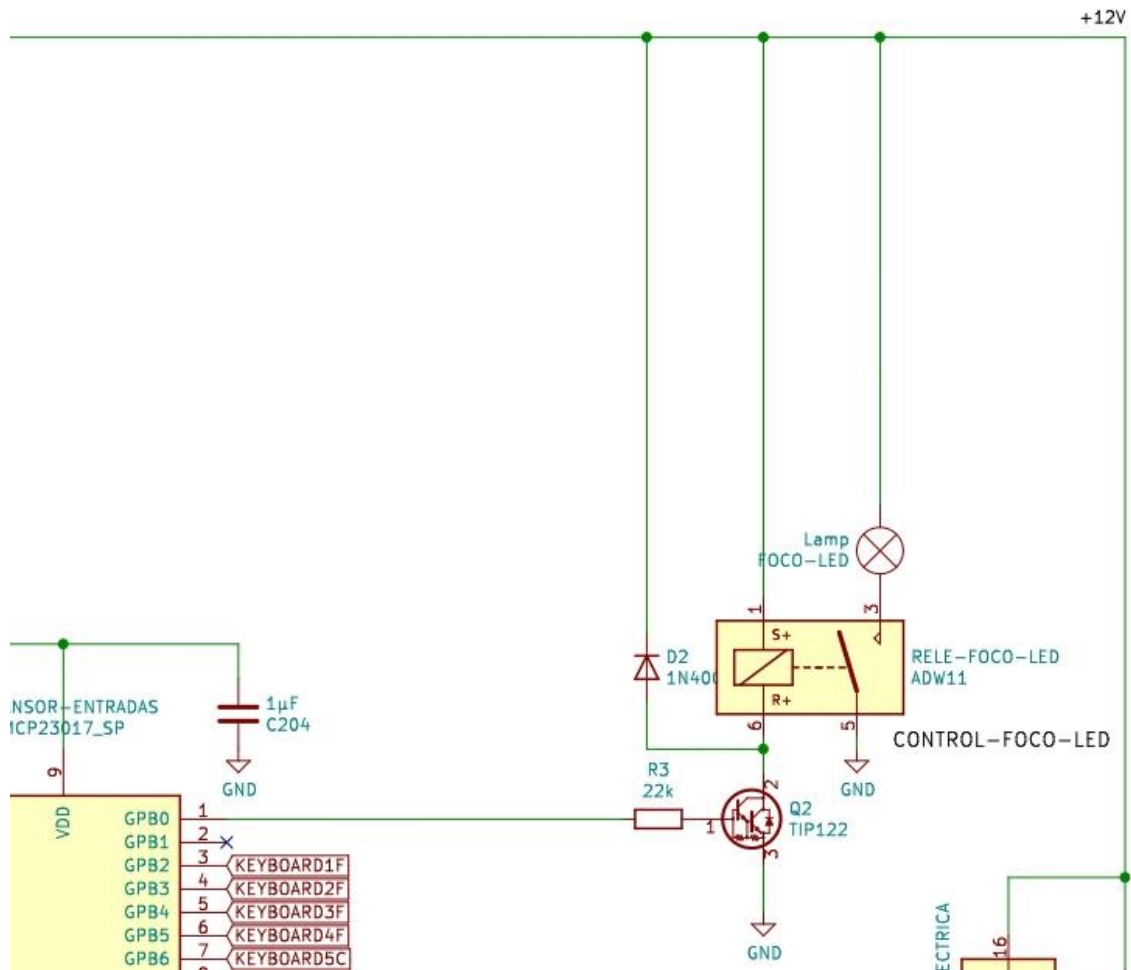


Ilustración 121. Sistema de control del foco LED (Elaboración propia a partir de KiCad)

Desarrollo

### 3.5.2.2. Diseño 3D del sistema completo

Se ha realizado una aproximación del montaje, en tres dimensiones, de cómo se vería una vez implementado en una empresa, con imágenes de los componentes originales que se usarían. Se ha tratado de respetar los tamaños originales de los componentes, así como se ha indicado en la leyenda el voltaje que transporta cada cable, según su color.



Ilustración 122. Diseño en 3D aproximado del montaje del sistema (Elaboración propia a partir de Paint)

## 4. CONCLUSIONES

Con la realización de este Trabajo de Fin de Grado, se ha pretendido implementar un sistema de entrada al trabajo mediante el reconocimiento facial de forma económica y efectiva. Se han valorado las diferentes opciones existentes para tratar de llevar a cabo este fin, y analizado y probado cada una de ellas, paso por paso y tratando de llevarlas a cabo de la mejor forma posible.

Se ha realizado en primer lugar un estudio de los diferentes tipos de cerraduras existentes, desde las más clásicas y ya prácticamente en desuso, hasta las más modernas y de última generación, resultando la cerradura eléctrica la opción más apropiada, y por tanto seleccionada, para la realización de este proyecto.

Después, se han analizado los distintos tipos de webservices y su funcionamiento, para poder entender como el ESP-32 se comunica con el servicio web y envía y recoge la información.

Por último, se han analizado los distintos tipos de reconocimiento facial y cómo tratan la información obtenida de los rostros una vez capturados, desde la comparación de imágenes a procesamiento con complejos algoritmos.

Una vez analizados todos los factores anteriormente nombrados, y ya entendiendo completamente todo lo relacionado con este proyecto, se han analizado y probado diferentes ESP-32 que no contaban con memoria PSRAM incorporada, por lo cual ya se suponía que no tendrían capacidad de procesamiento suficiente como para realizar un reconocimiento facial.

Las pruebas han confirmado las suposiciones anteriores, ya que ninguno de los ESP-32 sin PSRAM ha sido capaz de procesar un reconocimiento facial.

Al tratar de realizar el reconocimiento facial con un ESP-32 que dispone de memoria PSRAM, ha sido perfectamente capaz de procesar las caras, así como de reconocerlas y poder asociarles un nombre.

Se ha dimensionado un SAI, es decir, un Sistema de Alimentación Ininterrumpida, que además incorpora un transformador a 12 Voltios de corriente continua a partir de los 230 Voltios de corriente alterna de la red, y permite que ante un posible corte en el suministro de la red eléctrica tener la seguridad de que el sistema de acceso seguirá funcionando hasta que se reestablezca el suministro.

Considero que, de cara al futuro, este tipo de sistema de acceso será ampliamente extendido y usado, debido a la agilidad con la que permite la entrada al trabajo, junto



### Conclusiones

con su bajo coste de implementación, además de la ausencia de contacto para éste, algo que se ha valorado muy positivamente en las empresas a raíz de la pandemia de COVID-19 aparecida en el año 2020.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- «Aputure AL-F7 – Thomann España». 2019. [https://www.thomann.de/es/aputure\\_amaran\\_al\\_f7.htm?gclid=Cj0KCCQjwsZKJBhC0ARIsAJ96n3WYy6tLh\\_D8ImS\\_vkZk4\\_IKtEk7xPLYD2IKu84Qc0sbQHT E7eWkD6saAsG9EALw\\_wcB](https://www.thomann.de/es/aputure_amaran_al_f7.htm?gclid=Cj0KCCQjwsZKJBhC0ARIsAJ96n3WYy6tLh_D8ImS_vkZk4_IKtEk7xPLYD2IKu84Qc0sbQHT E7eWkD6saAsG9EALw_wcB) (8 de septiembre de 2021).
- «Base de datos de gráficos». 2021. *Amazon Web Services, Inc.* <https://aws.amazon.com/es/nosql/graph/> (6 de septiembre de 2021).
- «Base de datos distribuida». 2021. *Ayuda Ley Protección Datos.* <https://ayudaleyprotecciondatos.es/bases-de-datos/distribuida/> (6 de septiembre de 2021).
- «Bases de datos NoSQL». 2019. *GraphEverywhere.* <https://www.grapheverywhere.com/bases-de-datos-orientadas-objetos/> (6 de septiembre de 2021).
- «Bases de datos : ¿qué tipos hay?» 2019. *TIC Portal.* <https://www.ticportal.es/glosario-tic/base-datos-database> (6 de septiembre de 2021).
- «BD139». 2015. <https://www.mouser.es/ProductDetail/STMicroelectronics/BD139?qs=ljbEvF4DwOPW%2FLxHSWYMMMA==> (6 de septiembre de 2021).
- «Cámara de infrarrojos». 2018. <https://www.seguridadprofesionalhoy.com/camara-de-infrarrojos-para-vision-nocturna/> (6 de septiembre de 2021).
- «Cámaras de visión industrial». 2018. *Guías de compra DirectIndustry.* <https://guide.directindustry.com/es/que-camara-de-vision-industrial-elegir/> (6 de septiembre de 2021).
- «Cerradero recto». 2018. *URQUIZA.* <https://www.suministrosurquiza.com/cerradero-recto> (6 de septiembre de 2021).
- «Cerradura de 3 puntos multipunto». 2020. *Alis | Herrajes y cerraduras.* <https://alis.com.mx/producto/cerradura-de-3-puntos-de-alta-seguridad-tover-cilindro-2f8/> (6 de septiembre de 2021).
- «Cerradura de pomos». 2020. <https://www.parro.com.ar/definicion-de-cerradura+de+pomos> (6 de septiembre de 2021).
- «Cerradura Digital Hyundai». 2021. *Nissei.* <https://www.casanissei.com/py/cerradura-digital-hyundai-hyu-6450-negro-gris> (6 de septiembre de 2021).
- «Cerradura Electrónica». 2017. <https://urgil24.es/cerradura-electronica/> (6 de septiembre de 2021).
- «Cerraduras de gorjas». 2017. *Cerrajeros Alicante Juanjo.* <https://juanjocerrajeros.es/dierre-acorazol-cerraduras-de-gorjas/> (6 de septiembre de 2021).

---

## Bibliografía

- «Cerraduras de sobreponer multipunto». 2020. *tesa.es*.  
<https://www.tesa.es/es/site/tesa/producto/cerraduras-de-seguridad/cerraduras-de-sobreponer-multipunto/> (6 de septiembre de 2021).
- «Cómo elegir una cerradura». 2017. <https://consejos.manomano.es/como-elegir-una-cerradura-n5704> (6 de septiembre de 2021).
- «ESP32 TTGO T-Camera with PIR». 2021. *Maker Advisor*.  
<https://makeradvisor.com/esp32-ttgo-t-camera-pir-sensor-oled/> (6 de septiembre de 2021).
- «ESP32-CAM». 2021. [http://www.ai-thinker.com/pro\\_view-24.html](http://www.ai-thinker.com/pro_view-24.html) (6 de septiembre de 2021).
- «Frontal para cerradura». 2021. <https://www.tecno-key.com>. <https://www.tecno-key.com/frontal-para-cerradura-1002-tagAgrupORENGO-FRON1002> (6 de septiembre de 2021).
- «Introducción a la visión artificial». 2021.  
[https://bcnvision.es/uploads/videotutoriales/uploads/guias%20por%20sectores/introduccion%20a%20la%20vision%20artificial\\_compressed.pdf](https://bcnvision.es/uploads/videotutoriales/uploads/guias%20por%20sectores/introduccion%20a%20la%20vision%20artificial_compressed.pdf) (6 de septiembre de 2021).
- jecrespom. 2015. «USB to Serial». *Aprendiendo Arduino*.  
<https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2015/03/29/usb-to-serial/> (6 de septiembre de 2021).
- «MCP23017 Expansor de Puertos Bidireccional de 16-Bit-E/S». 2021.  
[https://www.amazon.es/AZDelivery-MCP23017-Expansor-bidireccional-interfaz/dp/B086W7T5XC/ref=mp\\_s\\_a\\_1\\_5?dchild=1&keywords=expansor+i2c+arduino&qid=1631267071&sr=8-5](https://www.amazon.es/AZDelivery-MCP23017-Expansor-bidireccional-interfaz/dp/B086W7T5XC/ref=mp_s_a_1_5?dchild=1&keywords=expansor+i2c+arduino&qid=1631267071&sr=8-5) (13 de septiembre de 2021).
- «Mini SAI DC 12V». 2021. *Sai Online*. [https://www.sai-online.es/index.php?controller=product?product\\_rewrite=](https://www.sai-online.es/index.php?controller=product?product_rewrite=) (13 de septiembre de 2021).
- «Panasonic». 2021. *Panasonic Newsroom Global*.  
<http://news.panasonic.com/global/press/data/2017/12/en171215-2/en171215-2.html> (6 de septiembre de 2021).
- «Partes de las diferentes cerraduras». 2020. [https://www.cerrajeriaplacer.com/partes-de-una-cerradura\\_fb21101.html](https://www.cerrajeriaplacer.com/partes-de-una-cerradura_fb21101.html) (6 de septiembre de 2021).
- «Pomos puerta». 2016. *Bañón y Sánchez S.L.* <https://xn--baonysanchez-bhb.com/puertas/pomos-puerta-entrada/pomo-entrada-eq1085-detalle> (6 de septiembre de 2021).
- «¿Qué es XML?» 2019. *Rock Content - ES*. <https://rockcontent.com/es/blog/que-es-xml/> (6 de septiembre de 2021).
- «¿Qué son los web services?» 2015. *Blog de arsys.es*.  
<https://www.arsys.es/blog/programacion/web-services-desarrollo/> (6 de septiembre de 2021).

- «Reconocimiento facial». 2021a. <https://www.interpol.int/es/Como-trabajamos/Policia-cientifica/Reconocimiento-facial> (6 de septiembre de 2021).
- «Reconocimiento facial: definición y explicación». 2021b. *latam.kaspersky.com*. <https://latam.kaspersky.com/resource-center/definitions/what-is-facial-recognition> (6 de septiembre de 2021).
- «Reconocimiento Facial y Su Seguridad». 2021. *Cómo funciona el reconocimiento facial y su seguridad*. <https://www.electronicid.eu/es/blog/post/como-funciona-reconocimiento-facial/es> (6 de septiembre de 2021).
- «RS-232 vs TTL». 2020. <https://www.sparkfun.com/tutorials/215>.
- SEO-asturias. 2018. «Cerraduras de seguridad». *I-cerrajeros Madrid siempre cerca de ti*. <https://icerrajerosmadrid.com/cerraduras-de-seguridad/> (6 de septiembre de 2021).
- «Sistema de reconocimiento facial». 2021. *Wikipedia, la enciclopedia libre*. [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Sistema\\_de\\_reconocimiento\\_facial&oldid=137746817](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Sistema_de_reconocimiento_facial&oldid=137746817) (6 de septiembre de 2021).
- «Sistemas de Visión Artificial Industrial». 2020. *EDS Robotics*. <https://www.edsrobotics.com/blog/sistemas-de-vision-artificial-tipos-aplicaciones/> (6 de septiembre de 2021).
- «Tarjetas RFID». 2018. *ARATECNIA SISTEMAS Y SERVICIOS*. <https://aratecna.es/como-funcionan-las-tarjetas-rfid/> (6 de septiembre de 2021).
- «TTGO OV2640». 2021. *eBay*. <https://www.ebay.es/itm/153275289432> (6 de septiembre de 2021).
- «Web service con JSON». 2015. <https://highscalability.wordpress.com/2009/09/30/exponiendo-web-service-con-json/> (6 de septiembre de 2021).
- «Web services: servicios de máquina a máquina». 2017. *IONOS Digitalguide*. <https://www.ionos.es/digitalguide/paginas-web/desarrollo-web/web-services/> (6 de septiembre de 2021).






## Relación de documentos

<input checked="" type="checkbox"/> Memoria	114	páginas
<input type="checkbox"/> Anexos	243	páginas

La Almunia, a 22 de Septiembre de 2021



Firmado: Néstor Doñate Marqués

