



5.1 Introducción

En este capítulo se va a tratar la fase de experimentación de este proyecto.

En primer lugar se afronta la configuración de los distintos parámetros de la aplicación para obtener unos resultados óptimos, pasando en segundo lugar a exponer los resultados obtenidos con las imágenes analizadas.

También se realiza un estudio de la aplicación comentando los requisitos para que la aplicación tenga éxito en la detección de ojos, así como el rendimiento de la misma en la máquina donde se realizaron las pruebas.

Para llevar a cabo las pruebas se han analizado 7 Gb de imágenes estéreo tomadas en distintas piscifactorías, generándose más de 50.000 imágenes que han ocupado en disco más de 60 Gb.

5.2 Tipos de imágenes

La configuración de la aplicación depende del tipo de imágenes que se vaya a analizar, por lo tanto resulta interesante definir los distintos tipos de imágenes que se han facilitado al autor para la realización de este proyecto. Se considera que todas las imágenes de una misma secuencia son del mismo tipo.

Los factores a tener en cuenta a la hora de clasificar las imágenes son:

- La iluminación de la imagen
- Contraste de la imagen
- La concentración de peces
- Distancia de los peces a las cámaras
- Movimiento cámaras

Atendiendo a la iluminación de la imagen debido a la luz del sol se han encontrado distintos tipo de imágenes:

- Imágenes quemadas
- Imágenes oscuras
- Imágenes con iluminación aceptable

Las imágenes quemadas son fácilmente identificables porque solo se distingue parte de la imagen, y en ocasiones nada. El que una imagen esté quemada se debe a que la cámara se ha situado con un ángulo inferior a 90 grados respecto a la superficie del agua. Las imágenes quemadas no van a dar buenos resultados, y por lo tanto se desecharán.

Las imágenes oscuras son las óptimas para la aplicación. Lo ideal sería conseguir imágenes originales con una media de 80. También resulta problemático para la aplicación que las imágenes sean demasiado oscuras.

Las imágenes con una iluminación aceptable constituyen el grupo más amplio de imágenes que se han analizado en este proyecto, y son para las que se ha diseñado los distintos algoritmos.



Fig. 5.1 Ejemplo de imagen quemada



Fig. 5.2 Ejemplo de imagen muy oscura (media 40) tomada en CULMAREX a 6m

En función de la profundidad a la que se realice la captura de imágenes se va a obtener imágenes más o menos iluminadas. A mayor profundidad de captura se va a obtener imágenes más oscuras. Por ejemplo la Figura 5.2 corresponde a una secuencia tomada a 6m de profundidad en la piscifactoría CULMAREX de Murcia, mientras que la Figura 5.4 corresponde a una

secuencia en la misma piscifactoría tomada a 4m. Se observa la diferencia de iluminación debido a que la penetración de los rayos del sol en el agua disminuye con la profundidad.



Fig. 5.3 Ejemplo de imagen con iluminación aceptable



Fig. 5.4 Imagen tomada en CULMAREX a 4m de profundidad

Otro aspecto muy a tener en cuenta es el contraste de la imagen. Las condiciones ideales de contraste son imágenes con un alto contraste, ya que el objetivo de la aplicación es la detección de un objeto fuertemente contrastado. Las imágenes con bajo contraste como la de la Figura 5.5 no son aceptables, ya que al ecualizarlas se pixelan en exceso.



Fig. 5.5 Ejemplo de imagen con poco contraste y clara

Dejándose de lado los factores que influyen sobre la iluminación de la imagen se procede a analizar otros factores que son determinantes a la hora de clasificar imágenes. El primero de ellos es la concentración de peces en la imagen. En imágenes con elevada concentración de peces, se produce numerosos reflejos en la parte superior, lo que influye directamente en el modelo de iluminación de la jaula de forma negativa.

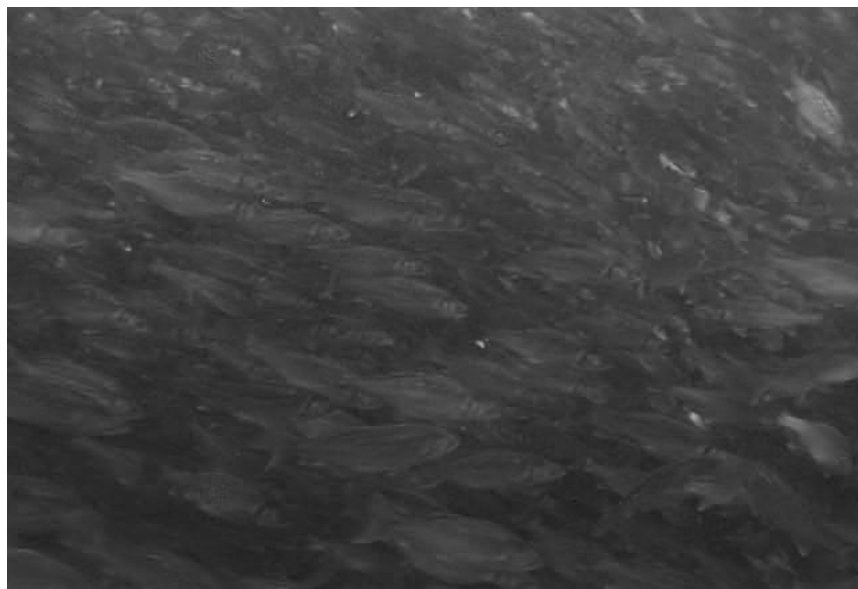


Fig. 5.6 Ejemplo de imagen con elevada concentración de peces

También se distinguen distintos tipos de imágenes en función de la distancia de los peces al objetivo de la cámara. Se distingue entre imágenes con los peces a escasos centímetros de la cámara, como la Figura 5.3, e imágenes con los peces alejados de la cámara, como la Figura 5.7.



Fig. 5.7 Ejemplo de imagen con los peces alejados del objetivo

Como último factor a tener en cuenta se tiene el movimiento de las cámaras a la hora de realizar la captura. En función de éste se obtiene imágenes de calidad si permanecen estáticas o movidas en caso contrario.



Fig. 5.8 Ejemplo de imagen movida

5.3 Configuración

En este apartado se afronta el problema de configurar los distintos parámetros de la aplicación para los distintos tipos de imágenes que se han analizado, así como para nuevos tipos que se analicen en un futuro.

5.3.1 Descripción del problema

En función del tipo de imagen que se vaya a analizar se tendrá que configurar los distintos parámetros en consecuencia. El problema es determinar el valor de los parámetros para cada tipo de imagen.

Si se analiza una imagen sin la configuración adecuada no se obtiene buenos resultados. Se busca la configuración para cada tipo de imagen que maximice la detección y minimice las falsas alarmas, ya que ese es el objetivo de la aplicación.

Surgen situaciones en las que las condiciones superan las limitaciones de la aplicación, por lo tanto será conveniente definir el rango de buen funcionamiento de la aplicación.

Puesto que pueden presentarse nuevos tipos de imágenes en el futuro, se expone el método a seguir de forma general para configurar cada uno de los parámetros.

5.3.2 Parámetros a configurar

Los distintos parámetros configurables de la aplicación se encuentran en el archivo *constantes.h*. El código fuente de este archivo se puede ver en el Apéndice I.

En el Capítulo 4, se clasificaron los parámetros y se definieron cada uno de ellos. En este apartado se trata más a fondo los parámetros que se configuran en función del tipo de imagen para maximizar la detección.

En primer lugar es de máxima importancia recordar que el número de imágenes de la secuencia a analizar sea de al menos 100 imágenes, para obtener un buen modelo de iluminación.

5.3.2.1 Configuración parámetros de preprocesado

- **Ecualización**

Tras ver el tipo de imagen que se va a analizar, lo primero es decidir que tipo de ecualizado se va a realizar.

Si la imagen tiene poco contraste se realiza un ecualizado optimizado para intentar aumentarlo un poco antes de la transformación de niveles de gris. Se tendría en el archivo de configuración:

```
ECUALIZADO OPTIMIZADO    true
ECUALIZADO                false
```

Si la imagen tiene un contraste aceptable, es decir, si se distingue a simple vista la pupila del círculo blanco que le rodea, y este del resto del pez, se podrá utilizar un ecualizado normal que reduce la carga computacional y el número de objetos de la imagen.

```
ECUALIZADO OPTIMIZADO    false
ECUALIZADO                true
```

Si existe alguna duda tras estudiar la imagen sobre qué ecualizado realizar, se propone utilizar el ecualizado optimizado, ya que suele dar mejores resultados.

- **Transformación de niveles de gris**

Antes de afrontar la configuración de los parámetros de transformación de niveles de gris, conviene echar un vistazo a la Figura 3.15. En esa figura se representa cada uno de los parámetros que a continuación se van a configurar.

Estos parámetros son los más complicados de configurar de la aplicación.

En primer lugar hay que elegir el rango $[c,d]$ donde se va a aumentar el contraste. Para elegirlos se ha utilizado una demo gratuita del programa Adobe Photoshop para estudiar los niveles de grises de los distintos objetos de las imágenes.

El valor c es el valor más alto de nivel de gris (en el rango $[0,1]$) de los píxeles que forman parte de la pupila, es decir, el valor del píxel más claro de la pupila.

El valor d es el valor más bajo de nivel de gris (en el rango $[0,1]$) de los píxeles que forman parte del círculo blanco que rodea a la pupila. Siempre tiene que ser superior a c .

Los parámetros a y b indican cuanto se quiere aumentar el contraste en la zona de interés.

El producto $a \cdot c$ tiene que ser menor que c . Cuanto menor sea, más contraste en la zona de interés y menos fuera de ella.

El parámetro b tiene que ser mayor que d . Cuanto mayor sea, más contraste en la zona de interés y menos fuera de ella.

- Umbralización

Puesto que la umbralización se realiza en función del modelo de iluminación, sólo se tiene un parámetro configurable que es el porcentaje respecto al modelo de iluminación para calcular el umbral.

La experiencia dice que el valor estándar para este parámetro es 80%, pero en función del tipo de imagen que se tenga sufrirá ciertas oscilaciones.

Para imágenes claras habrá que aumentar su valor, del 1% al 10% más. Se consideran imágenes claras aquellas cuya media esté por encima de 90.

Para imágenes oscuras hay que disminuir su valor. Se consideran imágenes oscuras aquellas cuya media esté por debajo de 70.

5.3.2.2 Configuración parámetros de detección de ojos

Como se explicó en el Apartado 3.4, la detección de ojos es un proceso que consta de tres filtrados:

- objetos por tamaño
- objetos por forma
- objetos por radios

Para cada uno de los filtrados se tiene distintos parámetros que se configuran en función del tipo de imagen.

La configuración de estos parámetros determina el porcentaje de éxitos en la detección y de falsas alarmas, por lo tanto hay que ajustar cuidadosamente los distintos parámetros en función del tipo de imagen que se tenga.

- Filtrado por tamaño

Para este filtrado se tiene dos parámetros configurables, el área máxima y mínima, que determinan el rango de tamaño del objeto que se desea detectar.

Estos parámetros vienen determinados por la distancia de los peces a la cámara en las imágenes que se desea procesar.

El procedimiento a seguir para configurar este parámetro es medir de alguna forma el número de píxeles que tiene aproximadamente la pupila de un ojo de una lubina que se encuentre en la zona deseada para la detección. El autor de este proyecto ha empleado Adobe Photoshop para contar el número de píxeles de forma aproximada.

Una vez se tiene este valor, se configura el área máxima y mínima como una variación en torno al 50%. Cuanto más restrictiva sea la

variación se tiene menos falsas alarmas, pero también se pasan por alto más candidatos.

- Filtrado por forma

En este filtrado se tiene de nuevo dos parámetros configurables, elongación máxima y mínima, que determinan la forma aproximada del objeto que se desea detectar.

En el caso de las lubinas, el objeto a detectar tiene forma redondeada, por lo tanto la elongación permitida está en torno a uno. La variación permitida es aproximadamente del 50%.

Al igual que en el filtrado por tamaño, para reducir las falsas alarmas se ha de tener un intervalo permitido pequeño, aumentando así la probabilidad de desestimar un candidato correcto.

Este parámetro no depende del tipo de imagen, ya que siempre se cumple la redondez de las pupilas de las lubinas.

- Filtrado por radios

Este filtrado depende de dos parámetros independientes, la separación entre los radios que se trazan y el porcentaje de estos que son correctos.

En función del porcentaje de radios correctos se toma la decisión final. En condiciones ideales el 100% de los radios son correctos, pero por reflejos, fallos en la umbralización y otros factores es complicado que se dé tal porcentaje.

Cuanto mayor sea el porcentaje, menor es el número de falsas alarmas. Con un porcentaje del 100%, no se dan falsas alarmas, pero se detecta muy pocos ojos.

Cuanto menor sea la separación entre radios, más verídico es el porcentaje obtenido, pero por el contrario la aplicación es más lenta, al aumentar mucho la carga computacional.

5.3.3 Configuraciones propuestas

Tras analizar los distintos tipos de imágenes se han conseguido resultados aceptables con algunas de ellas, y otras se han desechado.

Los tipos de imágenes con los que da buenos resultados los algoritmos desarrollados son con las que tienen iluminación aceptable y concentración baja o media de peces. Con las imágenes oscuras se han obtenido algunos resultados buenos, pero no se dispone de ninguna secuencia lo suficientemente grande para realizar pruebas y sacar conclusiones.

Con las imágenes quemadas, muy oscuras, con contraste demasiado bajo y con aglomeración de peces no funcionan los algoritmos desarrollados, y por lo tanto no se consideran válidas.

A continuación se propone una configuración de la aplicación para obtener resultados sin necesidad de un ajuste fino de los parámetros, es decir, una configuración estándar:

Ecualización:	optimizada	
Trans. niv. gris :	pocos peces	muchos peces
	a = 0.5	a = 0.5
	b = 0.8	b = 0.8
	c = 0.4	c = 0.2
	d = 0.6	d = 0.7
Umbralización:	pocos peces	muchos peces
	porcentaje = 0.8	porcentaje = 0.9
Filtrado tamaño:	peces cercanos	peces lejanos
	área máxima = 80	área máxima = 60
	área mínima = 15	área mínima = 10

Filtrado forma:	elongación máxima = 1.45 elongación mínima = 0.7
Filtrado radios:	separación radios = 10 porcentaje radios correctos = 0.75

Si se quiere ajustar más los parámetros para obtener mejores resultados, hay que utilizar las reglas vistas en líneas anteriores.

5.4 Experimentos

En este punto se afronta la fase de experimentación de este proyecto. Se describe las distintas pruebas llevadas a cabo con los algoritmos, así como los resultados obtenidos y dificultades encontradas.

Al final se presenta un estudio estadístico del funcionamiento de los algoritmos durante esta experimentación.

5.4.1 Descripción de experimentos

Durante la fase de desarrollo se ha probado el correcto funcionamiento de los algoritmos que se han implementado. Tras finalizar esta fase, se abordó una nueva de experimentación, donde se ha probado la aplicación con distintos tipos de imágenes y con distintas configuraciones.

Los mencionados experimentos se han llevado a cabo en un PC portátil con procesador Pentium IV 2.66 GHz y 512 Mb de RAM.

Las secuencias de imágenes consideradas no válidas por ser muy oscuras, estar quemadas,... no se han tenido en cuenta durante la experimentación, simplemente se han considerado no válidas tras realizar distintas pruebas y no obtener resultados aceptables. No se describirá estos experimentos por carecer de importancia las imágenes desestimadas.

Los experimentos han consistido en tomar las distintas secuencias de imágenes y procesarlas con configuraciones distintas. Por la longitud de las secuencias de imágenes (500 imágenes por secuencia como máximo y 100

como mínimo), las pruebas se han realizado en horario nocturno y se han analizado a posteriori.

Los experimentos se han dividido en dos fases, la primera de ajuste de los parámetros de preprocesado, para obtener imágenes binarias de calidad, y la segunda de ajuste de los parámetros de detección de ojos para maximizar la detección y reducir las falsas alarmas.

- Ajuste parámetros de preprocesado

Después de cada paso del preprocesado se ha generado una imagen intermedia donde observar el efecto del paso en función del valor de los parámetros asociados. Se ha generado imágenes tras el ecualizado, tras la transformación de niveles de grises y tras la umbralización.

Con estas imágenes se ha conseguido el ajuste óptimo para obtener una imagen binaria de calidad, que facilite el trabajo a los algoritmos de detección de ojos.

Para utilizar los algoritmos de preprocesado con una secuencia nueva de un tipo soportado por la aplicación, bastaría con utilizar la configuración propuesta para obtener resultados aceptables. Si se quiere mejorar los resultados, sería necesario un ajuste fino mediante una pequeña fase de experimentación siguiendo las pautas descritas en el Apartado 5.3.2.1.

- Ajuste parámetros de detección de ojos

Para la detección de ojos, como se ha visto, se realizan distintos filtrados en cascada, para considerarse ojos los candidatos que queden tras el último filtrado. En esta fase de la experimentación se parte de imágenes binarias, por lo tanto los parámetros van a depender menos del tipo de imagen que se procese, salvo en el filtrado por tamaño.

El último de los filtrados debe ser el más selectivo de todos, permitiéndose en los filtrados anteriores ciertos fallos.

Para ajustar los parámetros que caracterizan cada filtrado se generan imágenes binarias donde se marcan los blobs que pasan cada filtrado.

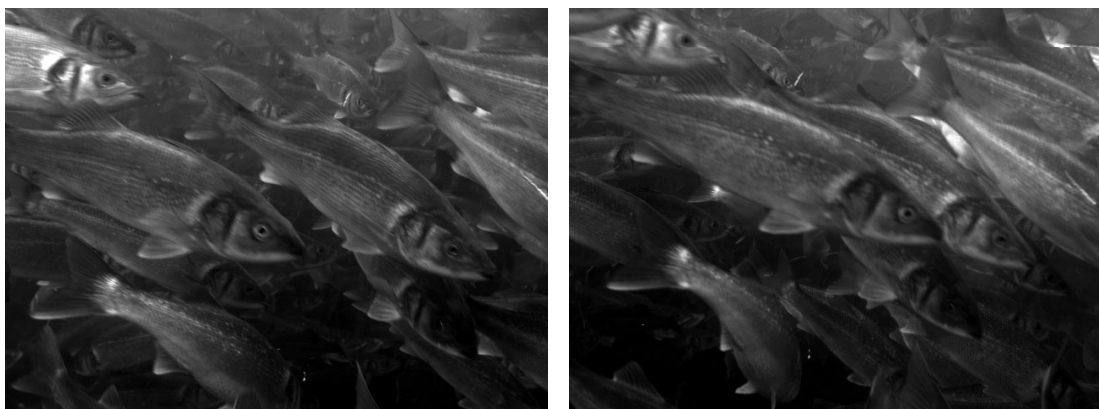
Observando las tres imágenes obtenidas tras los respectivos filtrados, se ajustan los parámetros para maximizar la detección, minimizar las falsas alarmas o para una solución de compromiso.

5.4.2 Resultados obtenidos

Por cada imagen procesada durante la fase de experimentación se ha generado 8 imágenes intermedias. La mayoría de las secuencias son de 500 imágenes, por lo que se han generado 4000 imágenes intermedias por cada prueba en cada secuencia. Al autor se le han facilitado unas 10 secuencias, realizándose varias pruebas por secuencia. Con todo esto se quiere llegar a la conclusión de que la experimentación ha sido una fase de larga duración y muy laboriosa.

A continuación se muestra ejemplos de imágenes intermedias obtenidas con la configuración estándar tras analizar una secuencia de imágenes. Se mostrará dos imágenes consecutivas de la secuencia por cada paso.

En primer lugar se muestra las imágenes originales de la secuencia que se han tomado como ejemplo. Cada fila corresponde a una imagen, y cada columna a los distintos canales estéreo de una misma imagen.



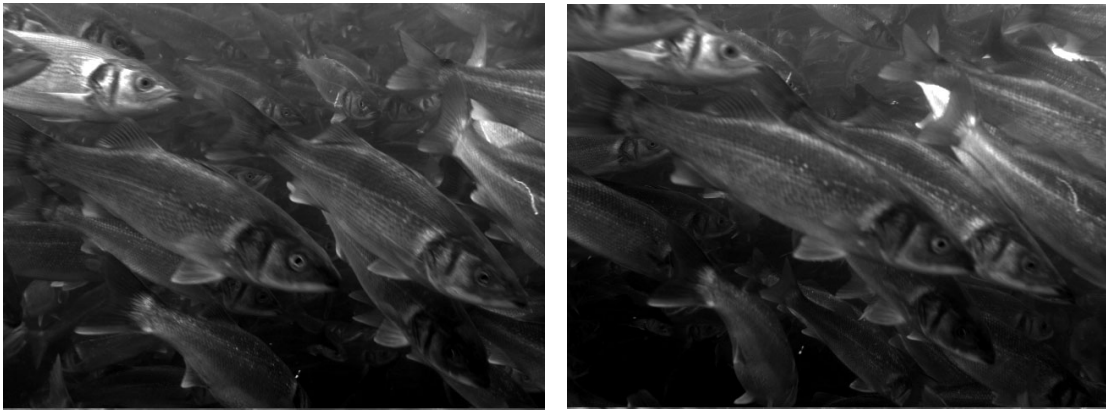


Fig. 5.9 Imágenes originales consecutivas con canales separados

A continuación se muestra el resultado de realizar el preprocesado, justo antes de la umbralización. No se muestra la imagen intermedia tras la ecualización pues ya se vio a fondo en el Capítulo 3.



Fig. 5.10 Imágenes intermedias tras el preprocesado

Tras realizar la umbralización por el método visto en el Capítulo 3 se obtiene:

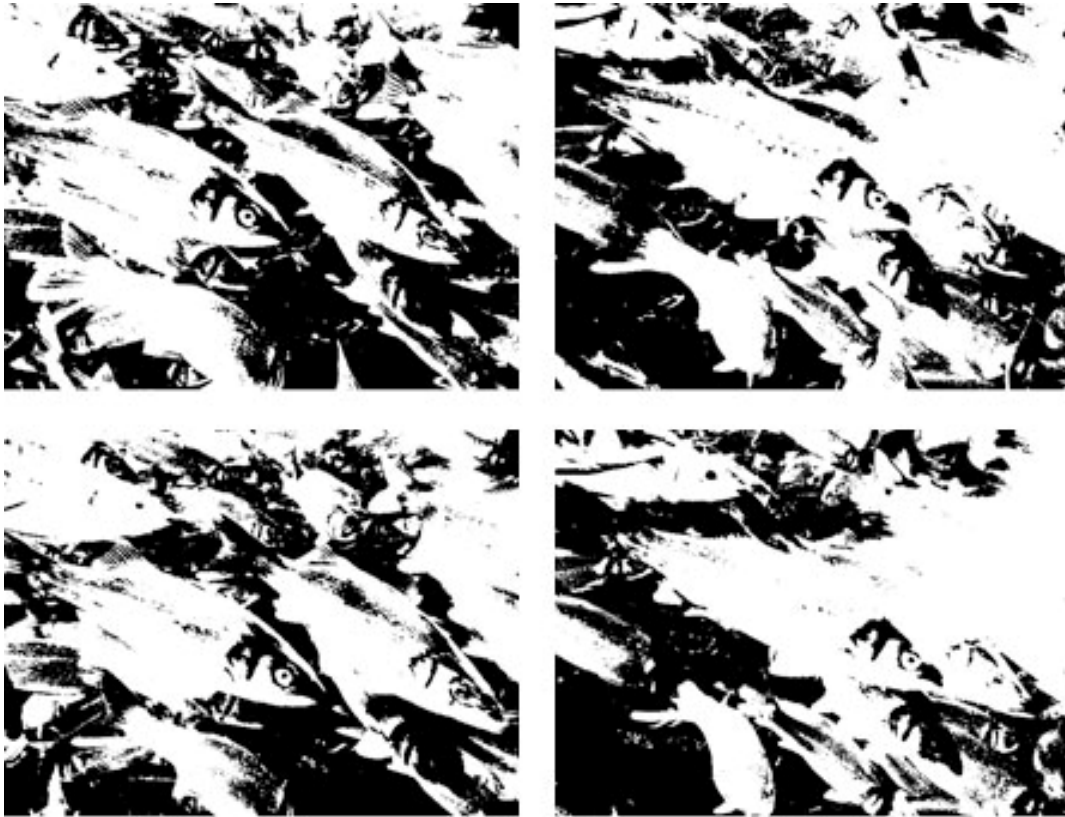


Fig. 5.11 Imágenes intermedias tras la umbralización

Hasta aquí llega la primera fase de los experimentos. El fin de esta primera fase es obtener una imagen binaria de calidad, cosa que ocurre en este caso. A continuación se muestra el resultado que se obtiene tras los distintos filtrados de la detección de ojos. Se va a mostrar las zonas de interés ampliadas para poder apreciar la salida de los distintos filtrados.

Tras el filtrado de blobs por tamaño, se consideran candidatos los marcados en la siguiente imagen:

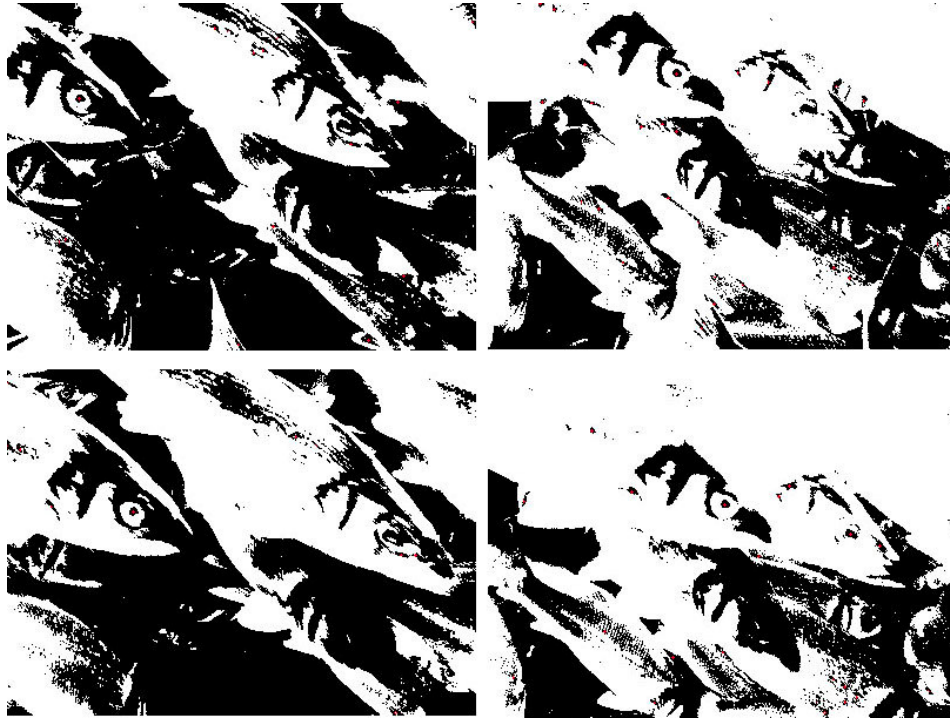


Fig. 5.12 Imágenes intermedias tras filtrado por tamaño

A los blobs que han sido marcados se le aplica el filtrado de blobs por forma, quedando los siguientes candidatos:

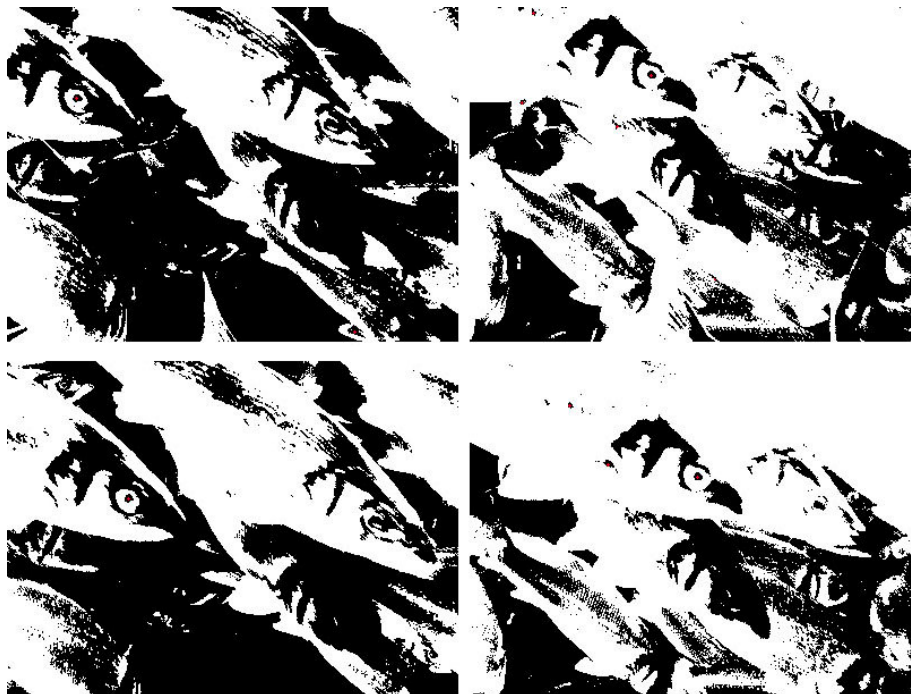


Fig. 5.13 Imágenes intermedias tras filtrado por forma

Entre los blobs que han pasado los filtros anteriores se decide si algunos de ellos son ojos o por el contrario no, aplicando el tercer y último filtrado. En este caso se ha detectado el ojo una lubina en ambos canales y no se tiene ninguna falsa alarma.



Fig. 5.14 Imágenes intermedias tras filtrado por radios

El proceso aquí expuesto es el seguido durante la fase de experimentación. Como se ha podido apreciar son muchas las imágenes que se generan y muchos los parámetros a tener en cuenta. Por ello se ha dividido la experimentación en dos fases, y dentro de cada fase se ha llevado a cabo paso a paso ajustando los parámetros de uno antes de pasar al siguiente. Resulta imposible ajustar los parámetros de forma global sin recurrir a las imágenes intermedias.

5.4.3 Problemas encontrados

Han sido muchos los problemas encontrados durante la fase de experimentación.

El primer problema encontrado ha sido el volumen de imágenes que se genera, ya que cada prueba genera 3.5 Gb de imágenes. Para solucionar este problema se ha recurrido al uso de un disco duro externo, pues el disco del PC no tiene suficiente capacidad para realizar varias pruebas.

Otro problema encontrado relacionado de forma directa con el volumen de imágenes es el tiempo empleado en comprobar imagen a imagen los éxitos y falsas alarmas para realizar una estadística de funcionamiento. Realizar tal comprobación en varias secuencias completas se ha considerado inviable, y se ha recurrido a reducir el número de imágenes a tener en cuenta para realizar la estadística de funcionamiento.

Tampoco se ha podido comprobar a fondo el funcionamiento de los algoritmos con imágenes que tengan pocos peces, ya que las secuencias de estas características que se tiene no son de calidad o tienen pocas imágenes. Se ha obtenido resultados con secuencias cortas que prevén un buen funcionamiento con secuencias largas que permitan generar un buen modelo de iluminación.

Para terminar, también ha sido un problema de solución no trivial el buscar una configuración estándar que permita obtener resultados sin tener que recurrir a la experimentación.

5.4.3 Estudio estadístico de la aplicación

En este punto se expone un estudio estadístico del funcionamiento de los algoritmos en imágenes similares a la Figura 5.3, con distintos parámetros de detección de ojos. Se ha utilizado los mismos parámetros de preprocesado.

En primer lugar se estudia la velocidad de procesado de la aplicación por imagen. El PC que se ha utilizado para las pruebas emplea una media de 20

minutos para procesar una secuencia de 500 imágenes, por lo que se obtiene una velocidad de procesamiento de:

2.5 seg / imagen

A continuación se expone el resultado obtenido con distintas configuraciones. Los parámetros del filtrado por tamaño van a permanecer constantes, ya que los peces de interés van a estar en la misma distancia.

Los resultados se presentan en gráficas de detecciones por número de imágenes procesadas y falsas alarmas por detecciones. Para no manejar cifras reales se va a trabajar con porcentajes que son más representativos.

En primer lugar se expone el resultado de una configuración cuyo fin es lograr una alta detección, permitiendo falsas alarmas. Para ello se hace más restrictivo el filtrado por forma y más permisivo el filtrado por radios

Parámetro	Valor
Tamaño máximo	80
Tamaño mínimo	15
Elongación máxima	1.3
Elongación mínima	0.8
Separación radios	10°
Porcentaje radios	60%

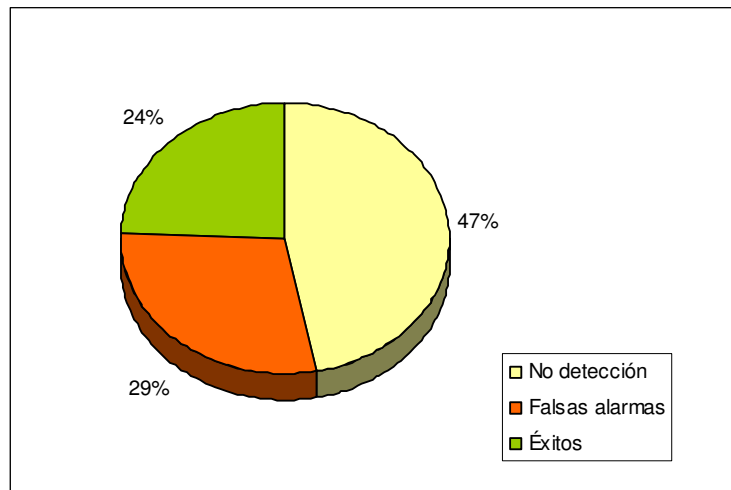


Fig. 5.15 Estadística configuración 1

En la configuración 2 se hace un poco más permisivo el filtrado por forma, pero se reducen las falsas alarmas con el filtrado por radios.

Parámetro	Valor
Tamaño máximo	80
Tamaño mínimo	15
Elongación máxima	1.45
Elongación mínima	0.7
Separación radios	10°
Porcentaje radios	75%

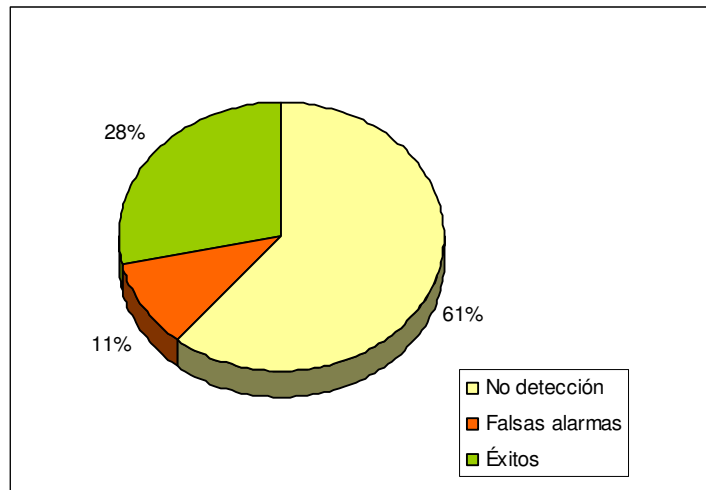


Fig. 5.16 Estadística configuración 2

Parámetro	Valor
Tamaño máximo	80
Tamaño mínimo	15
Elongación máxima	1.45
Elongación mínima	0.7
Separación radios	2°
Porcentaje radios	90%

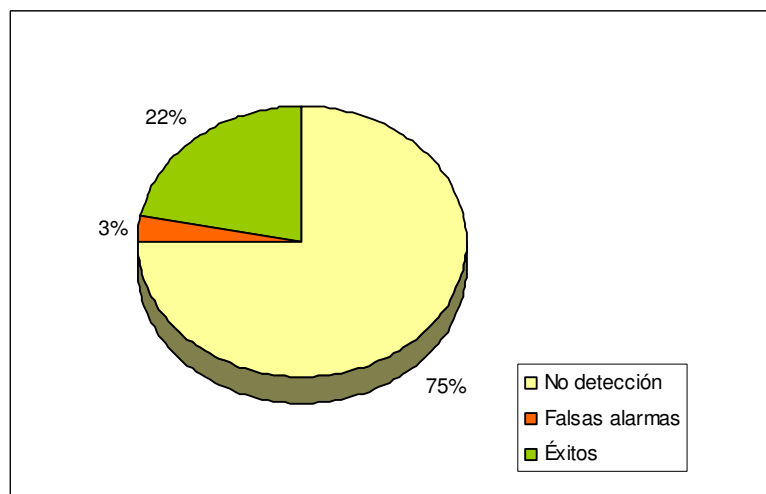


Fig. 5.17 Estadística configuración 3

En la configuración 3 se han reducido más las falsas alarmas con la selectividad del último filtrado, llegando a eliminarlas por completo en la configuración 4.

Parámetro	Valor
Tamaño máximo	80
Tamaño mínimo	15
Elongación máxima	1.3
Elongación mínima	0.8
Separación radios	2º
Porcentaje radios	95%

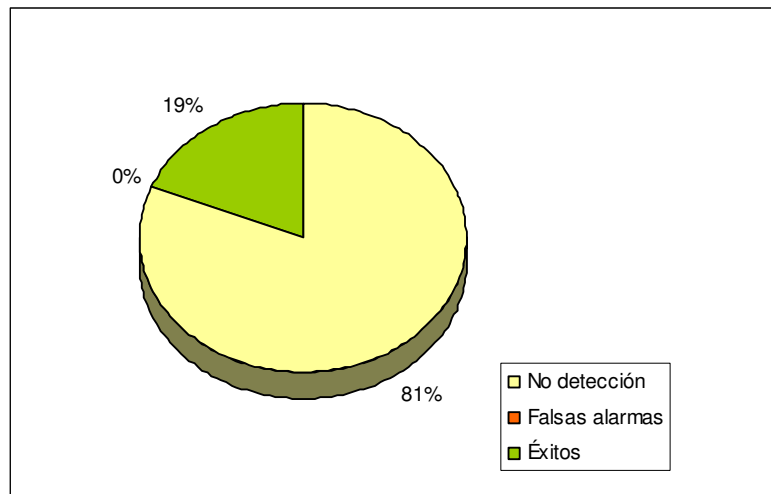


Fig. 5.18 Estadística configuración 4

A continuación se ve una comparativa de las distintas configuraciones:

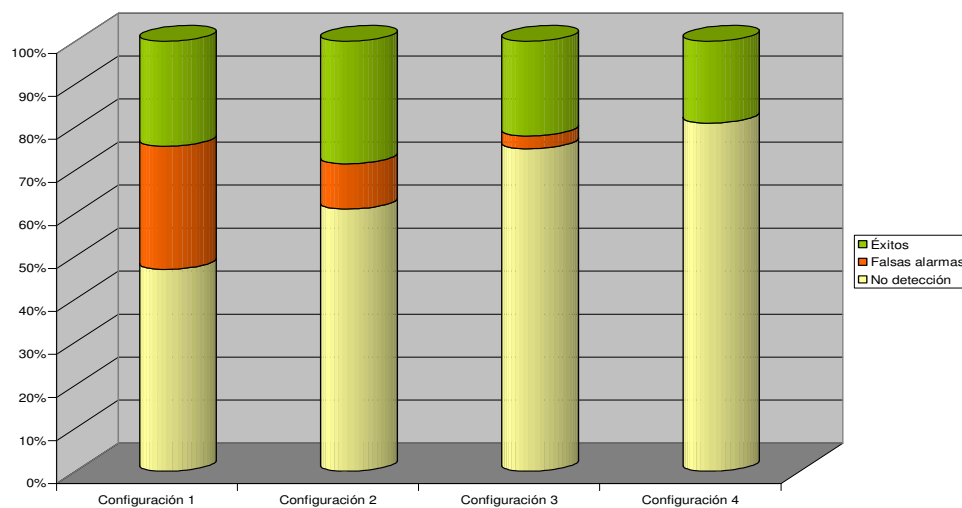


Fig. 5.19 Comparativa configuraciones

5.5 Resumen

En este capítulo se ha expuesto el procedimiento a seguir para configurar los distintos parámetros en función del tipo de imagen que se vaya a procesar.

Tras la fase de experimentación se ha conseguido una configuración estándar que permite obtener resultados aceptables sin necesidad de conocer el proceso de ajuste de los distintos parámetros.

Siempre se ha de utilizar una configuración de los parámetros de preprocesado que obtenga una imagen binaria de calidad para la detección de ojos, pero se puede emplear distintos parámetros de detección en función del fin que se busque.

Se puede configurar para maximizar la detección a costa de aumentar las falsas alarmas de forma controlada si en un futuro se realiza alguna comprobación más tras el último filtrado.

También existe configuraciones que reducen las falsas alarmas a costa de disminuir también la detección.

La configuración estándar adopta una solución de compromiso entre los dos extremos.