

# **CAPÍTULO 4. IMPLEMENTACIÓN DEL** **ALGORITMO DE DETECCIÓN EN LA CÁMARA** **FLIR P 20**

## **4.1 INTRODUCCION**

A la hora de estudiar los posibles métodos y algoritmos de detección, hay que hacerlo teniendo presente las limitaciones tecnológicas y económicas que pueda haber, como ocurre en cualquier proyecto de ingeniería. Es decir, será necesario estudiar la viabilidad de dicho algoritmo conforme al hardware en el que se va a realizar la implementación real.

Antes de implementar nada se procedió a realizar una serie de pruebas preliminares, para lo cual se disponía de tres cámaras termográficas, dos de ellas de la compañía FLIR, y una de la compañía INDIGO. Las que se han utilizado en la práctica, para la implementación del algoritmo han sido el modelo de mano FLIR P 20 y la mini cámara Fire Wire de INDIGO OMEGA. No obstante, en los experimentos previos realizados se utilizaron en primer lugar las dos cámaras manuales de FLIR.

## Capítulo 4: Implementación del algoritmo de detección en la cámara FLIR P20

La elección de la cámara que se utilice para implementar el algoritmo será importante, pues, aunque el procedimiento es prácticamente idéntico, la calidad de las imágenes si es significativa entre el modelo FLIR P20 y el modelo Fire Wire de INDIGO. La primera proporciona imágenes de una resolución de 640x480 píxeles mientras que la segunda tiene una resolución de la cuarta parte, 160x128. En el **Anexo A** se verá con mayor detalle las características de cada una de las cámaras mencionadas, sus ventajas e inconvenientes y el manejo y calibración de las mismas. No obstante, en lo que respecta a la diferencia de resolución mencionada se trata de uno de los parámetros decisivos pues siendo la resolución de la cámara de INDIGO de la cuarta parte con respecto a la FLIR, conllevará una pérdida considerable de la calidad de las imágenes obtenidas y por tanto, será necesario afinar aun más el algoritmo para esta situación.

Ya se comentó en el capítulo introductorio que la cámara Fire Wire de INDIGO era mucho más pequeña y ligera que el modelo de FLIR de ahí que, a pesar de proporcionar imágenes de resolución inferior y no tener autoenfoco, sea la elegida para integrarla en el helicóptero.

En el capítulo precedente se ha desarrollado el algoritmo de detección de manera genérica, valido para su implementación en cualquier sistema termográfico. En el capítulo que sigue se verá el mismo pero detallando algunos puntos para la primera de las cámaras utilizadas, la cámara FLIR P20. Antes de pasar a detallar la implementación, se verán una serie de experimentos previos realizados con dicha cámara, para conocer sus características y posibilidades. En función de estas características y del formato de las imágenes habrá que desarrollar el código de una forma u otra.

### 4.2 EXPERIMENTOS PREVIOS

Después de familiarizarse con el uso y manejo de las cámaras, el cual, como ya se ha dicho, se describe en el Anexo A, se procedió a tomar una serie de imágenes previas considerando distintos parámetros y condiciones de fuga.

En el apartado que sigue se procede por tanto a describir dichos experimentos y sus preparativos asociados para analizar en un apartado posterior los resultados y conclusiones

## Capítulo 4: Implementación del algoritmo de detección en la cámara FLIR P20

que se deducen de los mismos y que simplificarán en gran medida el método de detección adoptado.

Se ha estudiado en el **Capítulo 2** los principios básicos que rigen la radiación de infrarrojos y cómo influyen las características del medio en la propagación de la misma. Los parámetros más importantes que hay que tener en cuenta son:

- Distancia de la cámara a la superficie objetivo que se observa.
- Características de la superficie.
- Características del medio.

En primer lugar, para observar como influye el parámetro de la distancia es conveniente realizar distintas tomas del objeto a distintas distancias, observando como varía la medida de temperatura de un punto fijo de la misma, visible desde las distintas tomas. Del mismo modo se procede a ver como influye las características del medio, en este caso el aire. Ya se ha visto que la manera en la que influye el medio es a través del factor de la atenuación, parámetro que depende de factores diversos: densidad del aire (depende de la altitud), humedad y agentes contaminantes (niebla, polvo,...). En este sentido, el parámetro que se tuvo en cuenta es la humedad relativa del aire que es el que más influye. El resto se ignoran por no poseer instrumentos adecuados para medirlos ni aceptar las cámaras estos parámetros de calibración.

Finalmente, en lo que respecta a la superficie en sí, el parámetro que resume mejor sus características en lo que respecta a la emisión de infrarrojos es la **emisividad**, dato que sí admite la cámara para calibración interna.

### **4.2.1 Preparativos y toma de imágenes**

Estos son los tres elementos que se tienen en cuenta principalmente a la hora de realizar estas pruebas preliminares con el modelo P20 de FLIR.

Como lo que interesa es detectar fugas, se procedió a simular dos situaciones: una en la que no había fuga térmica y otra en la que se forzaba una fuga premeditada.

## Capítulo 4: Implementación del algoritmo de detección en la cámara FLIR P20

Para que una cámara termográfica puede visualizar correctamente una fuga térmica es necesario que la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior sea de al menos unos diez grados, de modo que el flujo de calor sea importante. Por tanto, la noche previa a las tomas se procedió a calentar una estancia mediante el empleo de dos calefactores eléctricos de aire, es decir con antelación suficiente como para que el calor en la habitación se distribuyera de manera homogénea.

Una vez calentada la estancia convenientemente, se procedió a realizar una serie de tomas de imágenes desde tres puntos distintos y en dos series, la primera serie correspondiente a la situación sin fuga, en la que la habitación se encuentra perfectamente cerrada, y la segunda correspondiendo a una situación de fuga en la que se procedió a abrir una de la hojas de la ventana, dejando una abertura de unos 5 centímetros.

En primer lugar se tomaron imágenes desde una posición frontal de la ventana, a una distancia de unos 20 metros. Se estableció que la humedad relativa del aire era del 75 % y que la temperatura ambiente era de 8 ° C. Dado que el material del que esta formado el objetivo no es uniforme (hormigón de la pared, aluminio de los marcos de las ventanas, vidrio...) no era posible establecer con exactitud el valor de la emisividad, variando este entre lo 0.90 y los 0.99 para los materiales citados y consultando unas tablas, por lo que se procedió a tomar una secuencia de imágenes para distintos valores de la emisividad en dicho rango.

En concreto se tomaron para valores de 0.90, 0.95 y 0.99. En las siguientes figuras se muestran los resultados para los valores anteriores.



**Figura 4.1:** Imagen tomada a 20 metros. Posición frontal.  $\rho=0.90$



**Figura 4.2:** Imagen tomada a 20 metros. Posición frontal.  $\rho=0.95$



**Figura 4.3:** Imagen tomada a 20 metros. Posición frontal.  $\rho=0.99$

Del mismo modo se procedió a tomar otra secuencia variando el parámetro  $\rho$ , situando la cámara a la misma distancia pero formando un cierto ángulo con respecto a las tomas frontales anteriores. En la **Figura 4.4 y 4.5** se muestran dos imágenes representativas de las mismas.

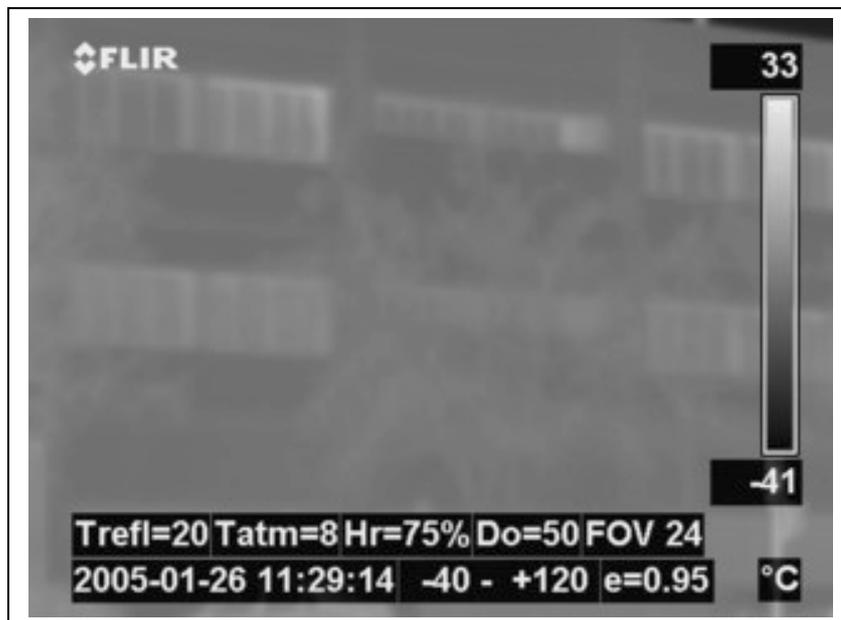


**Figura 4.4:** Imagen tomada a 20 metros. Formando ángulo  $\sim 30^\circ$ .  $\rho=0.90$



**Figura 4.5:** Imagen tomada a 20 metros. Formando ángulo  $\sim 30^\circ$ .  $\rho=0.99$

Finalmente se procedió a tomar imágenes formando un cierto ángulo pero a una distancia de unos 50 metros. En las **Figura 4.6** se muestra una de ellas con un valor de  $\rho=0.95$ .



**Figura 4.6:** Imagen tomada a 50 metros. Formando ángulo  $\sim 30^\circ$ .  $\rho=0.95$

A continuación se procedió a repetir los mismos pasos, es decir tomar imágenes fijando en la cámara distintos valores de la emisividad y para distintos ángulos y posiciones, pero

#### Capítulo 4: Implementación del algoritmo de detección en la cámara FLIR P20

forzando una fuga en la ventana en cuestión. En las siguientes figuras se presenta una muestra de las tomas realizadas.



**Figura 4.7:** Imagen tomada a 20 metros. Posición frontal.  $\rho=0.95$



**Figura 4.8:** Imagen tomada a 20 metros. Formando ángulo  $\sim 30^\circ$ .  $\rho=0.99$

## **4.2.2 Resultados y conclusiones.**

### **4.2.2.1 Calidad de las imágenes**

De un análisis preliminar de las imágenes anteriores se deduce que las mejores tomas se consiguen en una posición frontal a la superficie, por lo que siempre que sea posible estas serán la disposición preferible. Se consigue así unas imágenes mejor enfocadas y con mayor nitidez. En lo que respecta a las otras posiciones, hay que destacar que las imágenes no gozan de esa nitidez y enfoque que, como se comentó en el capítulo precedente, harán que el algoritmo no funcione adecuadamente debido a la adición de un “ruido”.

En las **Figuras 4.6 y 4.7** se puede observar una diferencia apreciable entre ambas. Se ve que la segunda posee un nivel de contraste más alto que la primera. Como ya se ha mencionado, este tipo de imágenes en las que el contraste global es mayor, da lugar a que el contraste entre las zonas con fuga y las regiones sin fuga sea menor, influyendo en la sensibilidad del algoritmo.

Además, hay que destacar que la nitidez y contraste de las imágenes influye no sólo en el procesado posterior de la misma sino también en la escala de temperaturas que genera el dispositivo. Así, se ve que la escala en la **Figura 4.7** abarca el rango  $[-1,17]$  (18 grados de diferencia) mientras que en la **Figura 4.8** dicho rango es de  $[-39,27]$  (67 grados de diferencia), es decir, más del triple. Esto implica una pérdida importante de precisión pues para el mismo número de niveles de gris el rango de temperaturas es distinto. En esta discusión estamos suponiendo escala lineal, es decir, que la relación entre temperatura y nivel de gris que la representa es un polinomio de primer orden ( $T=a*L+b$ ).

### **4.2.2.2 Influencia de los parámetros**

Se ha discutido anteriormente que las características del medio y de la superficie observada son importantes para que el dispositivo de observación efectúe los cálculos adecuadamente. Por tanto se procedió a verificar como influyen estos. Así, se midió la temperatura de varios puntos predeterminados situados en el marco de la ventana correspondiente a la habitación caliente. Como se puede observar en la **Tabla 4.1** adjunta se

observa que la modificación del parámetro de emisividad dentro del rango 0.90-0.99 influye un poco en el cálculo de la temperatura realizado por la cámara, variando la temperatura final en unas décimas de grado por lo que se adoptó un valor intermedio de 0.95.

Emisividad	Punto sin fuga	Punto con fuga
0.90	19.1 ° C	24.9 ° C
0.95	19.4 ° C	25.2 ° C
0.99	19.7 ° C	24.9 ° C

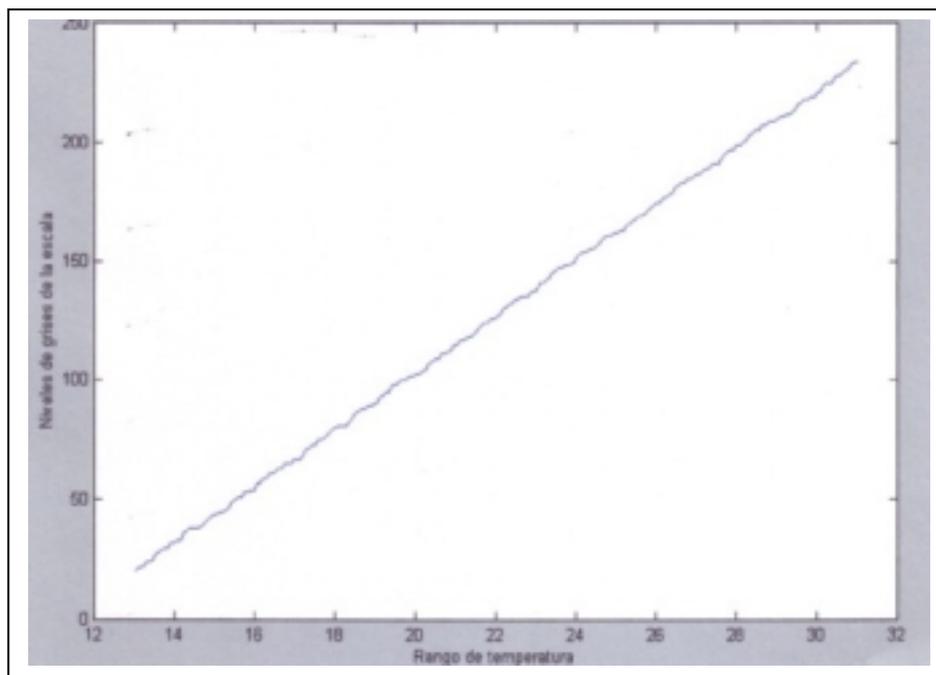
**Tabla 4.1:** Como influye la emisividad en el cálculo de la temperatura en la cámara

Por otro lado, otros de los parámetros que admitía la cámara FLIR P20 es la humedad relativa. Se tomó un valor predeterminado del 75 %. No obstante, una variación del mismo revela que su influencia sí es notable, mucho más significativa que la de la emisividad.

Finalmente la distancia también es otro parámetro que se tiene en cuenta junto con la humedad para calcular la atenuación que experimenta la radiación de infrarrojos. Para las distancias consideradas en las pruebas (20 y 50 metros) y los otros parámetros fijos, se observó que la temperatura medida apenas variaba unas décimas de grado.

#### **4.2.2.3 Correspondencia nivel de gris-temperatura.**

En líneas previas se mencionó que se había supuesto que existía una relación lineal entre el nivel de gris de un píxel de la imagen y el nivel de temperatura asociado al punto de la superficie correspondiente. Si nos fijamos en las imágenes, se observa que hay una escala gradual de niveles de grises y los valores máximos y mínimos de temperatura que corresponden a los niveles de grises extremos de dicha escala. Si se representa gráficamente la relación entre los pasos entre niveles de gris en dicha escala y el mismo número de pasos en los que se puede dividir el rango  $[T_{max}, T_{min}]$  se obtiene lo mostrado en la **Figura 4.9**.



**Figura 4.9:** Relación entre temperatura y nivel de gris en la Cámara FLIR P20

Se puede observar que la relación es muy lineal aunque se observa una cierta variación con respecto a la recta ideal. Esas pequeñas variaciones se deben, por un lado a la precisión de la máquina, que adjudica varios valores de niveles de grises a un mismo valor de temperatura, y por otro se debe al ruido añadido por el algoritmo de compresión Jpeg aplicado a la imagen.

No obstante su carácter lineal simplifica bastante el tratamiento de las imágenes. En el siguiente capítulo se verá que esta propiedad no se cumple adecuadamente en el modelo OMEGA de INDIGO, lo cual dará lugar a una serie de problemas en la implementación en la misma y habrá que hacer una modificación importante en el código con respecto al aplicado a la cámara de FLIR.

### 4.3 IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO

Una vez vistos los experimentos previos, se procede en este apartado a desarrollar el algoritmo explicado en el capítulo anterior pero centrándonos en la cámara de FLIR, en

especial en aquellos puntos particulares del mismo que le diferencian de la otra cámara. Se remite a la **Figura 3.2** para recordar la forma general del algoritmo y los diferentes pasos.

### **4.3.1 Procesamiento previo de la imagen.**

El procesamiento previo de la imagen requería preparar la imagen adecuadamente para el correcto funcionamiento del software. Ya se comentó la necesidad de unas imágenes bien enfocadas y nítidas. Evidentemente, para conseguir esto no es necesario aplicar procesamiento alguno sino que es el usuario el que debe seleccionar las imágenes adecuadas de manera manual, por simple inspección. De hecho se supone que las imágenes que recibe el programa son buenas.

La diferencia entre una imagen de buena calidad y de mala calidad se puede apreciar en las **Figuras 4.6** y **4.7**. Ya se ha comentado la diferencia existente entre las escalas de ambas figuras. Mientras que en la segunda la escala abarca un rango de 19 ° C, en la segunda es de 75 ° C, prácticamente el triple. Eso implica incluir en la imagen un rango de niveles de gris más elevado lo que implica reducir la precisión. Esa diferencia entre escalas se debe a los elementos incluidos en la imagen. Así, mientras que el a **Figura 4.7** se incluyen “sólo” elementos de la fachada del edificio, en la segunda se incluyen elementos espurios, como pueden ser el semáforo o parte del cielo. Es este último el que produce la distorsión, pues su temperatura, al ser muy baja, hace que la cámara adapte la escala para incluir estos valores. Se deduce por tanto la importancia de unas imágenes de buena calidad y que incluyan en la medida de lo posible sólo los elementos que requieren ser analizados.

Por otro lado también es importante limitar la zona de análisis. Como se puede observar en las imágenes mostradas en las figuras previas, además de los elementos de la superficie que se quiere analizar hay otros elementos informativos que añade la cámara. Lo que se hace es limitar la región útil a la región indicada en la **Figura 4.10**.



**Figura 4.10:** Limitación de la región útil de análisis.

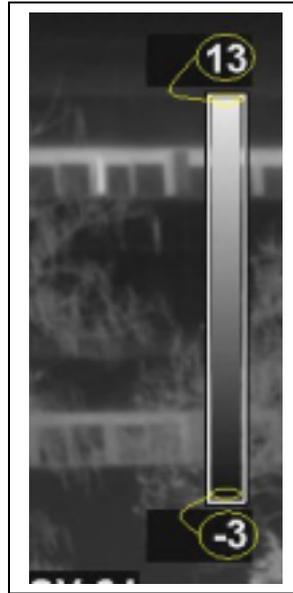
No obstante, es posible indicar a la cámara que no incluya estos elementos o que incluya sólo aquellos que nos interesan, consiguiendo de este modo ampliar el área efectiva.

#### **4.3.2 Extracción del mapa de temperatura.**

Ya se explicó en el Capítulo 3 en que consistía este proceso y la utilidad del mismo. En la **Figura 3.5** se indican los pasos que se siguen en el proceso de extracción. El proceso se reduce en definitiva a encontrar los parámetros  $a$  y  $b$  de la relación lineal entre nivel de gris y valor de temperatura mostrada en la **Eq. 3.1**. Ahora bien, el proceso cambia de una cámara a otra. En la que nos ocupa, consta de varias etapas.

##### **4.3.2.1 Hallar valores extremos de la escala mediante OCR.**

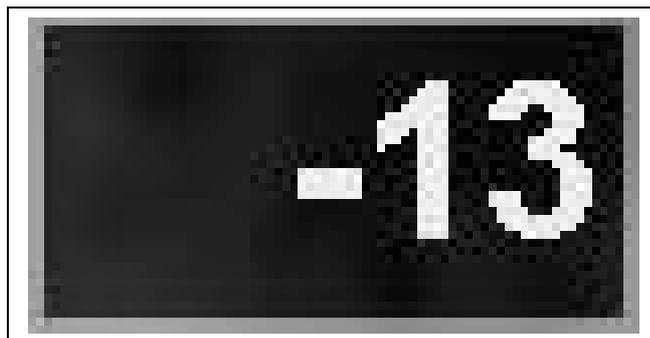
En primer lugar lo que se hace es hallar cuales son los valores extremos de la escala impresa en la imagen. Para el caso de la figura anterior serían  $13^{\circ}\text{C}$  y  $-3^{\circ}\text{C}$ . Eso no quiere decir que sean los valores máximos y mínimos que se puedan encontrar en la imagen. Son los valores que la cámara asigna a los niveles extremos de la escala de niveles de gris rectangular comprendidas entre ambos valores, como se muestra en la siguiente **Figura 4.11**.



**Figura 4.11:** Correspondencia de valores de la escala.

Para hallar dichos valores se procede a aplicar el OCR a las dos regiones en las que se encuentran las dos cifras. Por tanto, para no reconocer otros dígitos que no sean los indicados, lo que se hace es limitar la región de análisis a las dos zonas rectangulares en las que se encuentran dichos valores. El hecho de que los valores estén formados por dígitos de color blanco sobre fondo completamente negro facilita enormemente la tarea de reconocimiento.

A la hora de realizar dicho reconocimiento se plantearon varios procedimientos. El primero de ellos consistía en realizar una correlación directa entre los patrones de los dígitos y la región que correspondiera. Es decir, se cogía el primer dígito, el 1, y se hacía una correlación espacial entre dicho patrón y la zona correspondiente al primer dígito. Después se hacía lo mismo con el 2, y así sucesivamente. Después se comparaba las correlaciones de los 11 dígitos (incluido el signo menos) y se veía cual era mayor, al que correspondería ser el dígito encontrado. Después de implementar este método se comprobó que el algoritmo funcionaba, a veces. El problema que tenía era el suponer que los dígitos estaban impresos en blanco (255) sobre negro (0). En teoría es así, pero se comprobó que no era así en la práctica. El problema venía del ruido añadido por el algoritmo Jpeg, como se muestra en la **Figura 4.12**, que hace variar los valores de nivel de gris, sobre todo en la zona de los bordes.



**Figura 4.12:** Ruido añadido por la compresión JPEG.

Para resolver esto se añadió un paso previo, que es lo que se hace en los OCR: umbralizar. Se establece un nivel de gris umbral, por encima del cual se considerará como blanco (255) y por debajo del cual se considera negro (0). Con este método se consigue eliminar el ruido. No obstante, los resultados obtenidos no eran del todo bueno, por lo que se procedió a emplear otra técnica consistente en usar segmentación.

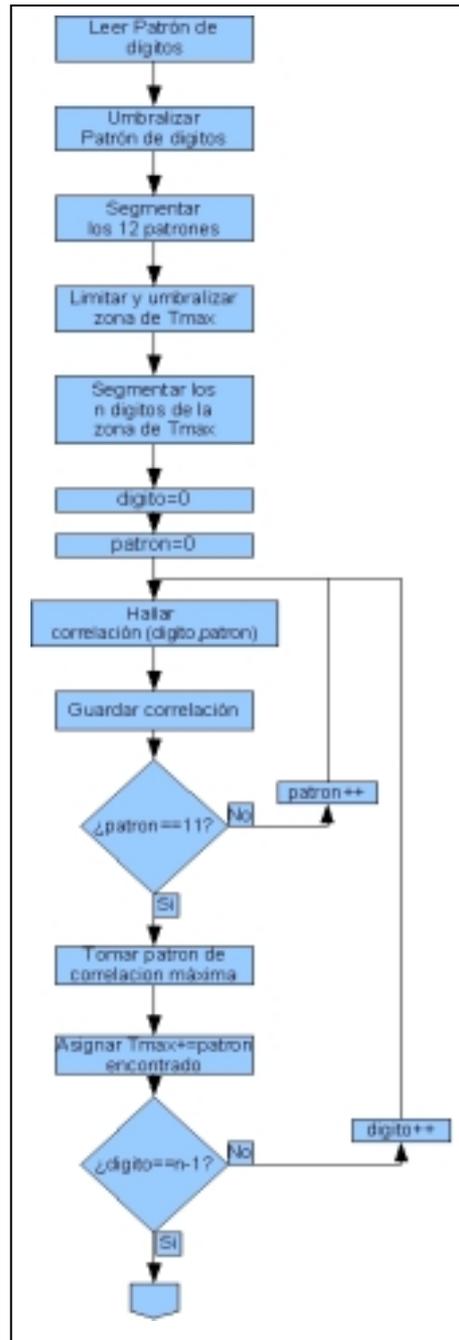
Una vez aplicada la umbralización, tanto a las dos regiones de la imagen como a los patrones de los dígitos, se procede a aplicar el algoritmo de segmentado a ambos. Los patrones de dígitos reconocibles se encuentran incluidos en una misma imagen, como se muestra en la **Figura 4.13**.



**Figura 4.13:** Patrón de dígitos reconocibles.

Se puede observar que se han introducido los distintos patrones en una misma imagen. Además de los 10 dígitos y el signo menos se ha incluido otro adicional, el -4. Se ha hecho así porque daba problemas a la hora de ser reconocido. El algoritmo los segmenta y reconoce como un único objeto.

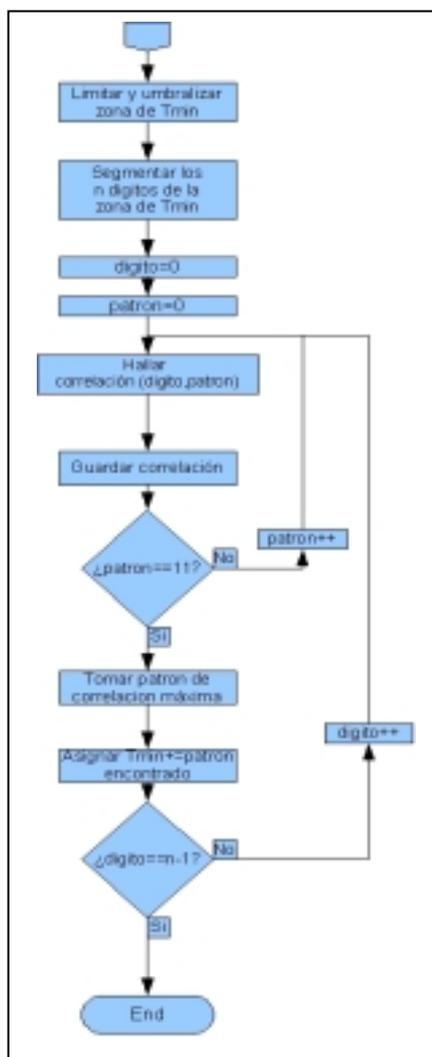
En las **Figuras 4.14(a)** y **4.14(b)** se muestra un esquema del algoritmo de reconocimiento en el que se resumen las partes que lo componen: una correspondiente a la cifra de  $T_{max}$  y otra a  $T_{min}$ .



**Figura 4.14 (a):** Algoritmo de OCR, zona Tmax.

Siguiendo con el algoritmo, se ha aplicado la segmentación tanto a la región de la imagen donde está la cifra como a los patrones. Hay que señalar que ambos, tanto los patrones como los dígitos a reconocer, son iguales, en forma y tamaño, número de píxeles. Y del resultado de la segmentación se tendrán por un lado 12 dígitos y por otro 1, 2, 3... dígitos por reconocer, dependiendo del valor de la temperatura.

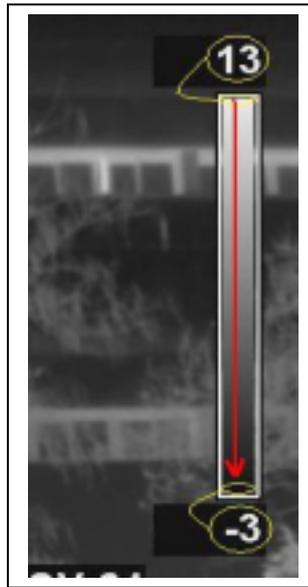
Ahora lo que se hace es hacer una comparación directa entre dígitos. Así, se toma el primer dígito a reconocer, el correspondiente a las unidades y se hace una comparación píxel a píxel entre éste y los patrones que posean el mismo número de píxeles. Y de aquellos se escoge aquel en el que la coincidencia es mayor, a se posible de todos los píxeles. Y se procede así con todos, decenas, centenas... obteniéndose de este modo la cifra completa. Hay que destacar que en una primera versión se llevaba a cabo la comparación directa entre dígito segmentado y patrón segmentado. Esto daba problemas a veces por lo que, para un dígito y un patrón se realizaba varias comparaciones, considerando para ello pequeños desplazamientos con respecto a la posición inicial hasta conseguir la correlación máxima para ese patrón. A continuación se hacía lo mismo con los siguientes. Finalmente se escoge el de correlación máxima. Se procede del mismo modo con la temperatura inferior de la escala,  $T_{min}$



**Figura 4.14 (b):** Algoritmo de OCR, zona  $T_{min}$ .

#### **4.3.2.2 Hallar recta de regresión por mínimos cuadrados.**

Una vez aplicado el algoritmo de reconocimiento a las dos temperaturas de la escala, el siguiente paso es hallar todos los niveles de gris comprendidos desde la parte superior a la parte inferior del rectángulo de la escala, mostrado en la **Figura 4.11**. Para hacer esto se podría seguir como sección de corte cualquiera de las líneas posibles incluidas en su interior, como por ejemplo la mostrada en rojo en la **Figura 4.12**, tomando los píxeles que va atravesando dicha recta.



**Figura 4.15:** Posible recta a seguir para medir los niveles de gris.

También sería posible tomar los valores de las rectas adyacentes a cada uno de sus lados o de cualquiera de las diez rectas que se pueden trazar en su interior. De hecho es lo que se hizo, obteniéndose valores prácticamente iguales salvo pequeñas variaciones en algunos píxeles. La razón: nuevamente el ruido añadido por la compresión Jpeg.

Lo que se hace es tomar los valores de cada horizontal y promediarlos para todas las rectas, reduciendo así el error. Esto se muestra en la **Figura 4.16**.



**Figura 4.16:** Promedio de los niveles de gris de la escala.

Una vez hallado el promedio de cada nivel se tendrán  $n$  niveles de gris. A continuación se procede a dividir el rango  $[T_{\min}, T_{\max}]$  en valores equiespaciados. Con todo esto se tendrá una nube de  $n$  puntos relacionados por nivel de gris-nivel temperatura. Para hallar la relación lineal que relaciona ambas variables se aplica el método de mínimos cuadrados, obteniéndose los valores de las constantes  $a$  y  $b$  de la recta de regresión.

#### **4.3.2.3 Sustitución de nivel de gris.**

Una vez encontrada la relación que se buscaba sólo hay que aplicar la ecuación anterior píxel por píxel a la región enmarcada en la **Figura 4.10**, de manera que se pasa de tener una representación en *unsigned char* de niveles de gris a una representación en *float* de niveles de temperatura.

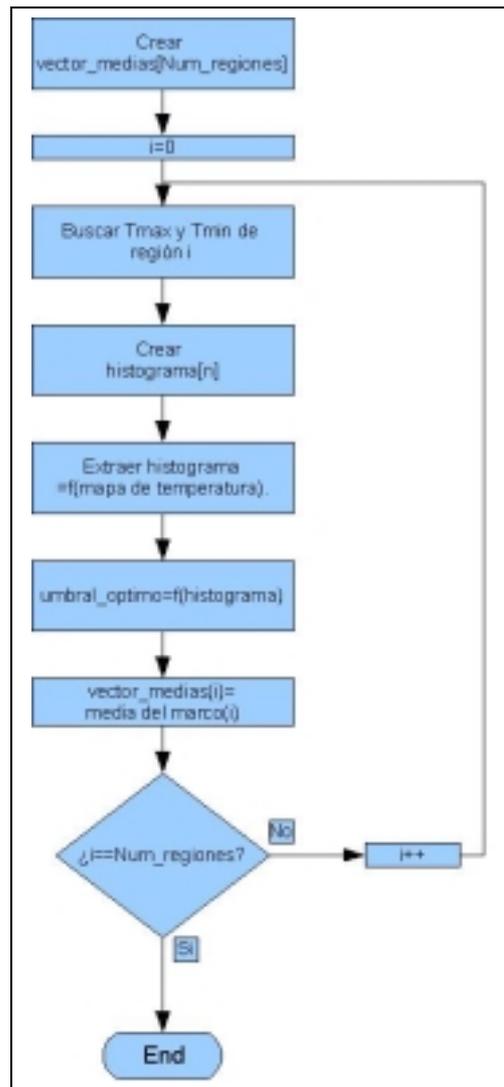
### **4.3.3 Segmentación de regiones.**

En el apartado anterior se ha descrito la parte en la que hay más diferencia entre el algoritmo de una cámara y otra, la obtención de la escala y el mapa de temperatura. En lo que resta de capítulo se explican los puntos del algoritmo de manera resumida, centrándose en comentar aquellos puntos particulares para la cámara que se estudia o en la implementación del algoritmo en sí.

Una vez extraída la escala se procede a aplicar la segmentación sobre el mapa de temperatura. En el capítulo anterior se explica el principio físico del mismo y los pasos que se siguen. En la práctica, para llevar a cabo el mismo lo que se hace es tomar una temperatura umbral y considerar aquellos puntos cuya temperatura es superior a la misma y se procede a hacer unión de regiones adyacentes según el radio de búsqueda que se le indique al algoritmo. Una vez que se tiene la región umbralizada se considera una región rectangular que la enmarque completamente. Si el umbral es correcto la región segmentada debe corresponderse con la ventana buscada. En el **Capítulo 6** se verán ejemplos y resultados de la segmentación.

### **4.3.4 Hallar distribución de temperatura y umbral óptimo.**

Ya se explicó que lo que se pretende ahora es, dentro de cada región enmarcada en el paso anterior de segmentación, ver la distribución de temperatura en la misma para distinguir en un paso posterior marco de vidrio. Para hallar la distribución de temperaturas se procede a aplicar el algoritmo detallado en la siguiente **Figura 4.17**.



**Figura 4.17:** Búsqueda de distribución de temperatura en cada región segmentada.

Aunque en el capítulo previo se han explicado en apartados diferentes, en la implementación real destacada en el diagrama anterior se han considerado juntas la búsqueda de la **distribución de temperaturas**, la búsqueda del **umbral óptimo** y los estadísticos de las regiones. De hecho, la distribución es necesaria para hallar dicho umbral óptimo.

En primer lugar se reserva un vector con un número de elementos igual al número de regiones segmentadas. Cada elemento está destinado a contener la temperatura media del marco correspondiente. Una vez reservado dicho elemento se entra en un bucle en el que se repiten los pasos que siguen para cada una de las regiones:

## Capítulo 4: Implementación del algoritmo de detección en la cámara FLIR P20

1. Se buscan las temperaturas máximas y mínimas dentro de cada región, Tmax y Tmin. Es importante no confundir estos valores extremos con los mencionados en el punto correspondiente a la búsqueda de la escala. En aquel, los valores Tmax y Tmin se referían a los niveles de temperatura correspondientes al nivel de gris más alto y más bajo ubicados en el rectángulo de la escala. Ahora si se tratan del máximo y el mínimo.
2. Crear histograma. Se inicializa un vector de tamaño n que se usará para tal fin, crear el histograma (de temperatura) de la región actual. El número de elementos de los que consta dependerá de la expresión siguiente:

$$n=(T_{max}-T_{min})/Resolucion \quad \text{Eq. 4.1}$$

donde Resolución es un parámetro que se fija manualmente y representa la separación en grados o fracciones de grados entre un elemento y otro del histograma.

A la hora de asignar los píxeles a un punto u otro del histograma se hará por proximidad. Por ejemplo, si un píxel tiene una temperatura de 15.3 ° C y los puntos a los que se puede asignar en el vector histograma son 15 y 15.5 (la resolución es de 0.5 ° C) será asignado a 15.5 ° C. Se deduce que la distribución hallada será tanto más precisa cuanto menor sea la resolución que se considere.

3. Una vez reservado el vector (en la implementación real el vector pertenece a una estructura), se procede a recorrer el mapa de temperatura para encontrar el histograma.
4. Ya se tiene la distribución de temperatura de la región actual. A continuación se halla el umbral óptimo, empleando el algoritmo detallado en el **Capítulo 3, apartado 3.4.5** y considerando las hipótesis ya explicadas anteriormente. Con esto ya se tienen separados el marco de la ventana y el vidrio.
5. Ya sólo queda hallar la temperatura media del marco encontrado en la región actual y asignarlo a vector\_medias (i).

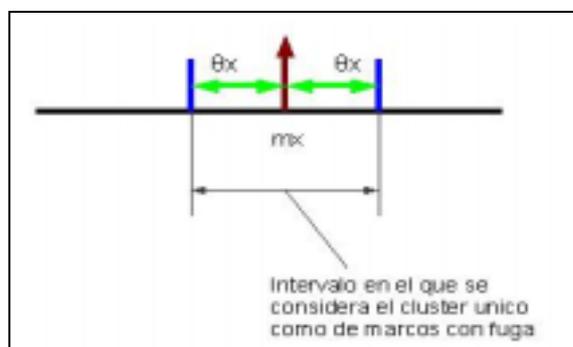
Los pasos anteriores se repiten para cada una de las regiones encontradas en la imagen actual.

### 4.3.5 Hallar estadísticos de los marcos.

En realidad parte del paso actual ha sido realizado en el punto anterior, pues al final del mismo ya se tiene un vector que contiene la temperatura media de cada uno de los marcos encontrados en la imagen. Sólo resta aplicar el algoritmo de clustering que se detalló en el capítulo anterior y que será válido también para la cámara Fire Wire de INDIGO, obteniéndose así la distinción buscada entre marcos con fugas y marcos sin fuga.

Del resultado de aplicar al algoritmo de clustering se podían obtener dos resultados distintos. Por un lado se podía obtener dos cluster bien diferenciados, uno correspondiente a los marcos con fuga y otro correspondiente a los marcos sin fuga, estableciendo la temperatura umbral en un punto intermedio. Y por otro lado, podía darse el caso de que se obtuviera un único conjunto en el que los marcos no se podrían distinguir. Estos podrían ser marcos con fugas o sin fugas.

Para resolver esta incertidumbre se procede a aplicar las estadísticas de imágenes anteriormente procesadas. Esto se hace de manera muy simple. Después de procesar una imagen correctamente, obteniéndose un umbral claramente definido, se procede a almacenar el resultado en una variable de tipo static que guardará la temperatura media de los marcos con fuga. Esta variable se actualizará para las sucesivas imágenes con dos clústeres diferenciados. Si se llega a una imagen en la que no ocurre esto, se recurre a esta variable. Se halla la temperatura media del único cluster encontrado. Si dicha media es aproximadamente igual al histórico se considera que dicho grupo pertenece a marcos con fuga. Es decir se establece un intervalo a la hora de comparar la media del cluster único encontrado con la media almacenada, como se ve en la **Figura 4.18**.



**Figura 4.18:** Intervalo establecido para considerar cluster único como clúster con o sin fugas.

## Capítulo 4: Implementación del algoritmo de detección en la cámara FLIR P20

En la figura se observa que están las dos variables mencionadas. Por un lado  $\mathbf{mx}$ , que es la media guardada de imágenes anteriores correctamente procesadas y  $\theta\mathbf{x}$ , que es el intervalo que se considera válido. Este valor se asigna mediante prueba y error. De hecho el valor asignado actualmente se obtuvo de esa manera y se verá en el capítulo de los experimentos y resultados obtenidos.

### 4.4 CONCLUSIONES

En este capítulo se ha tratado en más profundidad el método general descrito en el **Capítulo 3**, profundizando en aquellos puntos que eran particulares para el modelo de cámara que se detalla. También se han explicado puntos del algoritmo, que, si bien podrían haberse incluido en ese capítulo, se ha preferido hacerlo aquí por ser, en cierto modo dependiente de la implementación real, perdiendo así parte de su sentido físico y general. Así por ejemplo, el método para hallar el umbral óptimo es un método matemático concreto que podría sustituirse por otro igualmente válido, siempre y cuando se respete la finalidad práctica y real que es distinguir las partes de la ventana.

Es por ello por lo que se han explicado aquí.