



industriales  
etsii

Escuela Técnica  
Superior  
de Ingeniería  
Industrial

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Industrial

## “Sistema de Visión para la detección de roturas en cristales AR en una planta termosolar”

**TRABAJO FIN DE GRADO**

GRADO EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

**Autor:** Varinia Leyla Polar Zevallos  
**Director:** Jorge Juan Feliu Batlle  
**Codirector:** Pablo Alejandro Martínez Ruiz



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena

Cartagena, diciembre 2017



**Agradecimientos:**

Después de un intenso periodo de trabajo, escribo este apartado de agradecimientos para finalizar mi trabajo de fin de grado. Ha sido un período de aprendizaje intenso, no solo en el campo científico sino también a nivel personal. Escribir este trabajo ha causado un gran impacto en mí y por ello me gustaría mucho agradecer a todas aquellas personas que me han ayudado y apoyado durante este proceso.

Antes que nada, me gustaría agradecer a mis padres por su comprensión y sus sabios consejos, siempre han estado ahí para mí. A mi hermano por su cariño y su apoyo. A mi familia en Arequipa, ha sido duro estar sin ellos todo este tiempo, pero desde ahí me han brindado mucha energía para poder realizar este trabajo.

También me gustaría agradecer a mis tutores, Jorge Feliu y Pablo Martínez, por la oportunidad brindada y su valiosa ayuda. Además, quiero agradecer a la empresa donde realice el proyecto por darme las herramientas necesarias para realizar el trabajo satisfactoriamente.

Finalmente, me gustaría mencionar a mi círculo más cercano de amigos, los cuales han estado siempre ahí para apoyarnos en los momentos difíciles y que me han brindado la energía necesaria para sobrellevar estos duros años de universidad, no solo compartiendo los relacionados con la universidad, sino con los que he vivido grandes experiencias.

¡Muchas gracias a todos!



**ÍNDICE:**

CAPÍTULO 1 .....	11
Introducción y objetivos.....	11
1. INTRODUCCIÓN .....	13
1.1. MOTIVACION .....	13
1.2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA .....	15
1.3. PLANIFICACIÓN.....	17
1.4. ORGANIZACIÓN DEL TFG .....	18
CAPITULO 2 .....	19
Conceptos generales de Visión por ordenador .....	19
2. INTRODUCCION .....	21
2.1. VISION ARTIFICIAL .....	21
2.2. INSTRUMENTACIÓN ARTIFICIAL .....	22
2.3. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE VISIÓN .....	23
2.4. CAMARAS .....	24
CAPITULO 3 .....	27
Selección de hardware y software .....	27
3. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA .....	29
3.1. HARDWARE.....	29
3.1.1. Selección de la cámara .....	29
3.1.2. Selección de lente.....	32
3.1.3. Selección de filtro.....	35
3.2. SOFTWARE .....	37
3.2.1. Programación en Matlab .....	37
3.2.2. Operadores de Matlab .....	38
3.2.3. Control de la cámara desde Matlab .....	38
3.2.4. Programación en Matlab .....	39
3.2.4.1. Función Imadjust.....	39
3.2.4.2. Función Sobel.....	40
3.2.4.3. Método Canny .....	42
3.2.4.4. Función RegionProps .....	43
3.2.4.5. Función Imdilate .....	43
3.2.4.6. Función Imerode .....	44
CAPÍTULO 4 .....	47
Análisis del proceso .....	47
4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO .....	49
4.1. ELEMENTOS A EXAMINAR.....	50

4.2.	DESARROLLO DEL ALGORITMO.....	51
4.2.1.	Pre-procesamiento de la imagen.....	51
4.2.1.1.	Recorte de estructura.....	51
4.2.2.	Orientación.....	56
4.2.3.	Recorte de superficie del cristal.....	58
4.2.4.	Reconocimiento de cristales de junta.....	59
4.2.5.	Análisis de la región de interés.....	62
CAPÍTULO 5.....		71
5.	RESULTADOS.....	73
CAPÍTULO 6.....		87
6.	CONCLUSIONES Y FUTURAS LINEAS DE DESARROLLO.....	89
6.1.	Conclusiones.....	89
6.2.	Futuras líneas de desarrollo.....	91
7.	BIBLIGRAFÍA.....	93
8.	ANEXOS.....	94
8.1.	MATLAB.....	94
8.1.1.	Detectores de bordes.....	94
8.1.2.	Métodos de detección de bordes en la función edge.....	96
8.2.	RADIACIÓN.....	97
8.2.1.	Efecto del ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la irradiancia.....	97

## INDICE DE FIGURAS:

Figura 1.-Planta de energía termosolar con tecnología Fresnel .....	13
Figura 2.- Esquema de captación solar por sistema Fresnel .....	14
Figura 3.- Prototipo de plataforma externa para la obtención de imágenes .....	15
Figura 4.- Etapas del procesado digital de imágenes .....	16
Figura 5.-Gantt.....	17
Figura 6.- Curva de solución de visión .....	22
Figura 7.- Elementos de un sistema de visión artificial .....	23
Figura 8.- Ejemplo de tarjeta de adquisición .....	24
Figura 9.- Cámara Matricial .....	25
Figura 10.- Cámara Reflex.....	30
Figura 11.- Captura realizada con cámara Reflex.....	31
Figura 12.- Cámara GO-5000-PGE .....	32
Figura 13.- Parámetros de un sistema de adquisición de imagen .....	32
Figura 14.- Distancia de la cámara al objetivo .....	33
Figura 15.- Captura con error en el radio focal.....	34
Figura 16.- Imagen con el radio de apertura correcto .....	34
Figura 17.- Lente seleccionado .....	35
Figura 19.- Imagen con filtro azul .....	36
Figura 19.- Imagen sin filtro azul.....	36
Figura 20.- Filtro azul .....	37
Figura 21.- Paquete de adquisición de imágenes Matlab .....	38
Figura 22.- Influencia del parámetro gamma en la función lmadjust .....	39
Figura 23.-Máscaras de convolución del método Sobel y sección de la imagen de entrada .....	41
Figura 24.- Ejemplo de bordes con Canny .....	43
Figura 25.- Dilatación.....	44
Figura 26.- Estructura de función lmdilate .....	44
Figura 27.- Erosión.....	45
Figura 28.- Rotura de Figura AR .....	49
Figura 29.- AR y Cristales de junta óptimos .....	49
Figura 30.- Reconociendo de cristales de junta .....	50
Figura 31.- Reconocimiento de AR .....	51
Figura 32.- Cristal AR. Reconocimiento de la estructura. Mala Posición .....	52
Figura 33.-Cristal AR. Reconocimiento de la estructura. Posición usual .....	52
Figura 34.- Captura de imagen inicial .....	53
Figura 35.- Imagen binarizada .....	54
Figura 36.- Detección de bordes.....	54
Figura 37.- Dilatación de bordes.....	55
Figura 38.- Detección del área mayor y el centroide .....	55
Figura 39.-Recorte de estructura.....	56
Figura 40.- Cristal AR. Corrección del ángulo.....	56
Figura 41.- Imagen con ángulo corregido .....	57
Figura 42.- Imagen con ángulo incorrecto .....	57
Figura 43.- Reconocimiento de las soldaduras .....	58
Figura 44.- Imagen binarizada después de rellenar zonas conectadas con lmfilt .....	59
Figura 45.- Imagen binarizada antes de aplicar lmfilt .....	59
Figura 46.- Soldaduras detectadas.....	59
Figura 47.- Reconocimiento de la estructura AR2 o AR3 .....	60
Figura 48.- Recorte de la estructura AR4.....	60
Figura 49.- Recorte de la estructura. AR1.....	60

Figura 50.- Cristal AR recortado.....	61
Figura 51.- Formato para almacenar las imágenes.....	61
Figura 52.- Cristales de Junta. AR 2 o 3.....	62
Figura 53.- Cristales de junta. AR 1 .....	62
Figura 54.- Sobel y eliminación de áreas pequeñas.....	63
Figura 55.- Utilización de la función Canny con 0.37 como umbral.....	63
Figura 56.- Función Imdilate para marcar líneas verticales .....	64
Figura 57.- Cristal de junta movido.....	65
Figura 58.- Separación de AR y Cristales de junta.....	66
Figura 59.- Separación de AR.....	66
Figura 60.- Cristal de Junta y AR .....	67
Figura 61.- Cristal de junta.....	67
Figura 62.- Cristal de junta movido.....	68
Figura 63.- Sin Cristales de junta, Sin AR.....	68
Figura 64.- Cristal AR .....	75
Figura 65.- Cristal AR .....	76
Figura 66.- Indicador de "Junta Movida" .....	76
Figura 67.- Captura con imagen termográfica.....	92
Figura 68.- Captura con imagen termográfica .....	92

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Áreas encontradas cristales 1 o 4 .....	69
Tabla 2.- Areas encontradas, cristales 2 o 3 .....	69
Tabla 3.- Valores asignados a los resultados.....	73
Tabla 4.- invierno. Tiempo exp 830 .....	74
Tabla 5.- Tiempo de exposición 1000 .....	77
Tabla 6.-Tiempo de exposición 1500 .....	78
Tabla 7.-Tiempo de exposición: 1000, 2000, 2500 .....	79
Tabla 8.- Resultados: 16 enero 2017 .....	80
Tabla 9.- Resultados: 27 enero 2017 .....	81
Tabla 10.- Resultados: 14 de febrero 2017.....	81
Tabla 11.- Piezas de Junta.....	82
Tabla 12.- Resultados: 12 de abril 2017.....	83
Tabla 13.- Resultados: 9 de mayo 2017 .....	84
Tabla 14.- Resultados: 16 mayo 2017.....	85



## **CAPÍTULO 1**

# **Introducción y objetivos**



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. MOTIVACION

La visión artificial ha despertado gran interés en los campos de investigación en las últimas décadas. Pero no ha sido hasta hace unos pocos años cuando se ha empezado a conseguir los resultados esperados. El desarrollo de cámaras ha permitido obtener mucha y variada información, incluso se puede obtener muchos datos que aportan información directa de la situación que se visualiza.

El presente trabajo de fin de grado tiene como finalidad, utilizando los conocimientos obtenidos de visión artificial con Matlab, realizar el estudio y procesamiento de imágenes de cristales antirreflectantes (AR) obtenidas de una planta termosolar tipo Fresnel.



*Figura 1.-Planta de energía termosolar con tecnología Fresnel*

Una planta termosolar Fresnel cuenta con una distribución de este tipo: consta de espejos planos que se alinean en filas, los cuales concentran los rayos solares en tubos receptores con agua que, al calentarse, genera vapor saturado de hasta 270 grados centígrados a 55 bares de presión. El vapor se hace circular por dos turbinas; cada una de ellas mueve un generador que transforma en energía eléctrica la térmica generada por el campo solar. La planta produce grandes cantidades de energía capaz desde reducir la emisión a la atmósfera de un porcentaje elevado de dióxido de carbono al año. El sistema permite además

ahorrar agua, ya que salvando la de los tubos, los distintos procesos de producción de energía no requieren agua, lo que permite ahorrar cerca de un hectómetro cúbico al año.

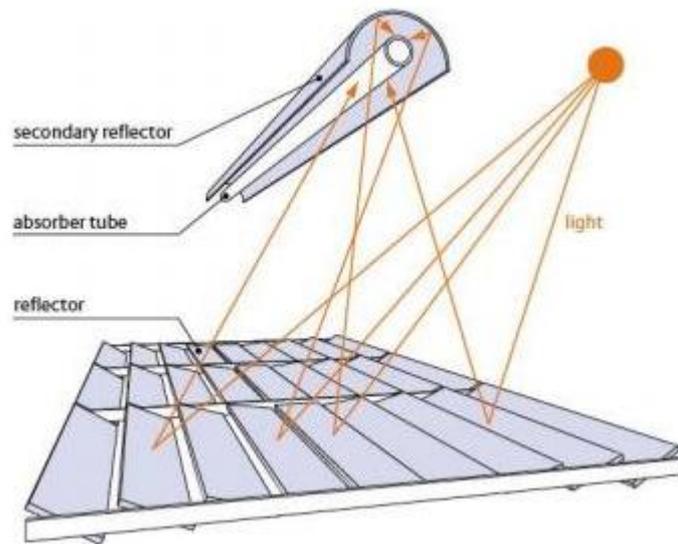


Figura 2.- Esquema de captación solar por sistema Fresnel

El estudio de estas imágenes servirá para obtener el porcentaje de suciedad de los cristales, así como la rotura de los mismos y la detección de desplazamiento de cristales de junta. Con esto se conseguirá establecer un análisis estadístico que permita realizar la limpieza, el cambio o reposición de los cristales de la planta, aumentando la productividad.

En esta descripción del proyecto se hará hincapié en la detección de rotura y desplazamiento de cristales. El estudio y procesamiento de las imágenes para la detección del porcentaje de suciedad podrá encontrarse en el trabajo de fin de grado con título “Sistema de visión para la detección de suciedad en cristales AR en una planta termosolar”.

Este proyecto es posible gracias a la visión por computador y los avances que en este campo se han realizado ya que disponemos de métodos y algoritmos que nos permiten analizar las imágenes captadas por una cámara para procesar y extraer la información que nos interesa. Para que el proyecto sea posible se realizó la

captura de imágenes con una cámara industrial, la cual será implementada en una plataforma externa para su desplazamiento por la planta, situándose esta sobre el sistema primario.



*Figura 3.- Prototipo de plataforma externa para la obtención de imágenes*

La parte central de este proyecto es la metodología empleada y los resultados obtenidos, para aumentar la eficiencia energética de la planta termosolar. Se finaliza delimitando una línea a seguir para el desarrollo de futuros proyectos y las conclusiones obtenidas.

## **1.2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA**

El objetivo principal es la detección de la posición de cristales de junta y el estado de los cristales AR que encontramos en la planta.

Para esto en líneas generales, el procesado digital consta normalmente de cuatro fases:

- **Adquisición o captura de imágenes:** se realiza la digitalización de una imagen con un dispositivo adecuado para tal fin. Es decir, se transforma una imagen del mundo real a un formato que entienda el ordenador

utilizando un conversor analógico-digital. Por ejemplo: el escáner, la cámara fotográfica, el sonar de barrido lateral, etc.

- Pre-procesado o procesado previo: consiste en el tratamiento digital de las imágenes. Eliminando el ruido producido y recortando la imagen quedándonos solo con la región de interés (ROI)
- Procesado: se extrae la información que contiene la imagen. Utilizando los distintos procesos de Matlab, se puede separar la imagen en las partes necesarias para su estudio. En este caso se recortará el AR y cristales de junta de toda la estructura.
- Reconocimiento o clasificación: se intenta llegar a conocer el estado del AR, obteniendo información de si se encuentra en perfecto estado o roto y de la posición de los cristales de junta.

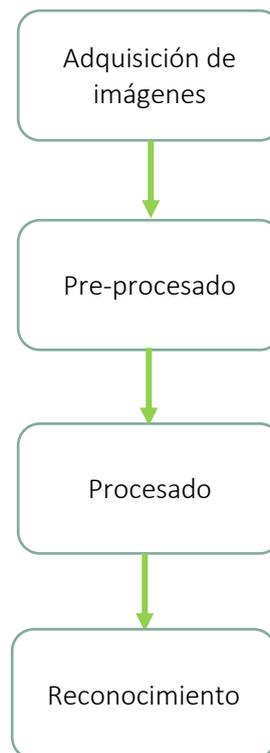


Figura 4.- Etapas del procesamiento digital de imágenes

Las técnicas de procesamiento utilizan algoritmos que provienen de un filtro concreto o de la aplicación de varios de ellos. Con los filtros de realce se puede obtener

una imagen con mejor definición y contraste de los bordes y ciertos detalles de interés.

Como objetivos más específicos del trabajo de fin de grado se pueden indicar los siguientes:

- Encontrar y ajustar los parámetros de la cámara para una óptima captura de imágenes.
- Desarrollar una aplicación con Matlab en un entorno sencillo y amigable, para reconocer el estado del AR y posición del Cristal de Junta.

### 1.3. PLANIFICACIÓN.

Se detallará en un diagrama Gantt la planificación esperada de las tareas que se llevaran a cabo para lograr el objetivo. La planificación estará centrada en el tema principal que es la detección de rotura de cristales AR en una planta termosolar. Debido a las condiciones climatológicas y ya que este es un punto fundamental en la resolución de proyecto, la planificación puede sufrir cambios.



Figura 5.-Gantt

#### **1.4. ORGANIZACIÓN DEL TFG**

Se explicará, para empezar, qué es la visión artificial y los parámetros que se deben tener en cuenta para poder trabajar con esta técnica. Se explicará cómo se realizó la selección de la cámara y los parámetros que se tuvieron en cuenta para la selección de la misma.

En la siguiente sección se hablará de Matlab, y porqué fue elegido como software para desarrollar el trabajo de fin de grado. Se explicará algunos de las funciones utilizadas para el análisis de imágenes.

A continuación, se desarrollará la explicación del algoritmo realizado en Matlab, tanto los filtros utilizados, como las operaciones que se utilizaron para el recorte de la ROI. El análisis de las diferentes imágenes, cómo se detectaron las líneas verticales de los cristales de junta y los cristales AR.

Finalmente, se presenta una tabla con los resultados obtenidos con el algoritmo y las conclusiones sobre el desarrollo del trabajo de fin de grado y se comentan las líneas futuras que se pueden llevar a cabo.

## **CAPITULO 2**

# **Conceptos generales de Visión por ordenador**



## 2. INTRODUCCION

### 2.1. VISION ARTIFICIAL

La visión artificial es una técnica basada en la adquisición de imágenes que incluye métodos para adquirir, procesar y analizar imágenes del mundo real con el fin de producir información que pueda ser tratada por una máquina. Se pueden realizar operaciones como la detección de objetos, seguimiento del movimiento, reconocimiento de eventos, etc. La detección de caras en una escena capturada por un Smartphone, mediante el uso de técnicas de reconocimiento, es algo que podemos ver en nuestro día a día.

Una manera simple de comprender este sistema se basa en los propios sentidos, como los ojos que se usan para comprender el mundo que los rodea y donde la visión artificial trata de producir ese mismo efecto en máquinas.

Aunque la capacidad visual es uno pilares de la inteligencia humana. Su uso en la robótica supone también un importante avance en la inteligencia artificial. Para nosotros, la percepción visual es algo innato y cotidiano, pero, la visión artificial es muy compleja y conlleva muchas dificultades. Entre las principales dificultades, destacan:

- Mundo tridimensional: mientras que las imágenes que se obtienen con una cámara son bidimensionales, el mundo que nos rodea no. Es necesario realizar las transformaciones correspondientes para obtener valores correctos.
- Zonas de interés: se necesita extraer elementos de información sutiles en imágenes complejas, por lo que entre tanta información es necesario reconocer formas, colores, etc.
- Carácter dinámico de las escenas: el mundo está vivo, por lo que en las imágenes que se toman muchos elementos están en movimiento. Por otro lado, otros factores como luminosidad, contraste, foco, etc. pueden marcar una importante diferencia, y por desgracia, estos factores son variables, no se pueden controlar.

La visión artificial resulta de gran utilidad en diferentes áreas de aplicación, tanto en acciones repetitivas como peligrosas:

- Inspección y ensamblaje industria
- Apoyo en el diagnóstico médico
- Exploración espacial

Hoy en día, los sistemas de visión basado en el PC ofrecen un aumento de productividad, robustez y fiabilidad. Además de una alta eficiencia y la capacidad de realizar tareas de inspección más sofisticadas.

A continuación, se puede ver la relación flexibilidad – coste que se presenta en los sistemas de visión artificial:

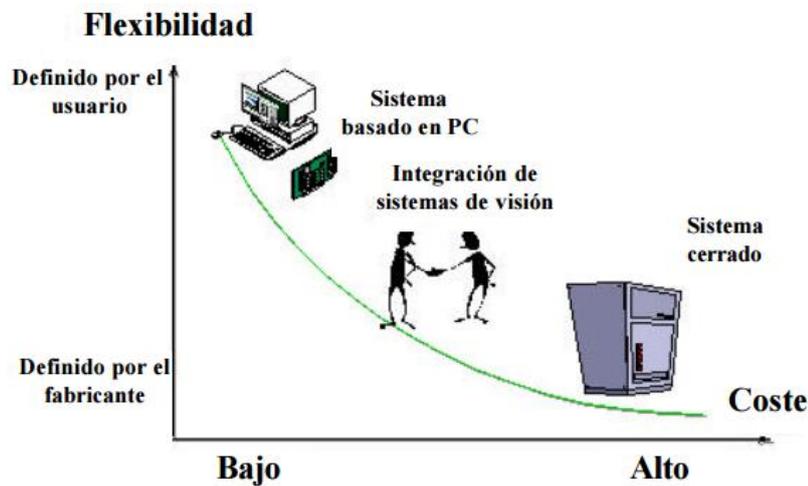


Figura 6.- Curva de solución de visión

## 2.2. INSTRUMENTACIÓN ARTIFICIAL

Los sistemas convencionales para el procesamiento de imágenes son representados por los sistemas de visión. Utilizando una cámara, un lente y un PC con el software y el hardware apropiados, se pueden desarrollar un sistema automático de inspección y análisis.

En la actualidad, los avances tecnológicos conseguidos, juntamente con la evolución del PC han hecho posible desarrollar aplicaciones de procesamiento de imágenes que antes estaban reservadas a especialistas o a empresas con gran poder adquisitivo.

Las aplicaciones que tiene la visión artificial y los sistemas de procesamiento de imágenes son muchas. Se pueden nombrar algunos campos como I+D, pruebas y medidas automatizadas, control de calidad, control de procesos, ingeniería de mantenimiento, etc.

### 2.3. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE VISIÓN

Los elementos claves que componen un sistema de visión son los siguientes:

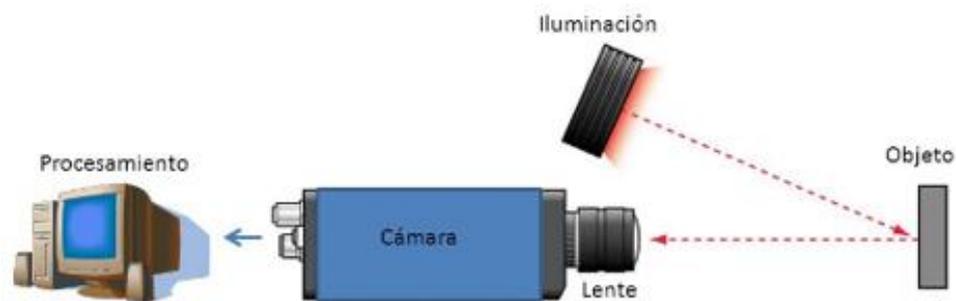


Figura 7.- Elementos de un sistema de visión artificial

- Fuente de luz: es un aspecto de vital importancia ya que debe proporcionar unas condiciones de iluminación uniformes e independientes del entorno, facilitando, además, si es posible, la extracción de los rasgos de interés para una determinada aplicación.
- Sensor de imagen: es el encargado de recoger las características del objeto bajo estudio.
- Tarjeta de captura o adquisición de imágenes: es la interfaz entre el sensor y la computadora o módulo de proceso que permite al mismo disponer de la información capturada por el sensor de imagen.
- Algoritmos de análisis de imagen: es la parte inteligente del sistema. Su misión consiste en aplicar las transformaciones necesarias y extracciones de información de las imágenes capturadas, con el fin de obtener los resultados para los que haya sido diseñado.
- Computadora o módulo de proceso: es el sistema que analiza las imágenes recibidas por el sensor para extraer la información de interés en cada uno de los casos implementando y ejecutando los algoritmos diseñados para la obtención de los objetivos.



Figura 8.- Ejemplo de tarjeta de adquisición

- Sistema de respuesta en tiempo real: con la información extraída, los sistemas de visión artificial pueden tomar decisiones que afecten al sistema productivo con el fin de mejorar la calidad global de producción.

## 2.4. CAMARAS

La función de una cámara es capturar la imagen proyectada en el sensor, para poder transferirla a un sistema electrónico. Las cámaras utilizadas en visión artificial requieren de una serie de características que permitan el control del disparo de la cámara para capturar objetos que pasen por delante de ella en la posición requerida. Son más sofisticadas que las cámaras convencionales, ya que tienen que poder realizar un control completo de: tiempos, señales, velocidad de obturación, sensibilidad, etc.

Para el proyecto se utilizará una cámara industrial. Considerando esto se puede encontrar múltiples tipos de cámaras de carácter industrial, como:

- Cámaras Matriciales: son aquellas en que el sensor de la cámara cubre un área o que está formado por una matriz de píxeles.
- Cámaras Lineales: son desarrollada para aplicaciones de inspección de materiales fabricados en continuo, como papel, tela, planchas metálicas, etc



*Figura 9.- Cámara Matricial*

- **Cámaras Alta Velocidad:** Se utilizan cuando los procesos son muy rápidos. Este tipo de cámaras de alta velocidad se utilizan en pruebas de “crash” de automoción, estudio de proyectiles, balística, control de fabricación, estudios en fluídica, control de turbulencia, visualización de explosión y biomecánica, entre otras.
- **Cámaras 3D:** Permiten hacer medidas de formas en 3D a diferentes velocidades algunas superiores a los 30.000 perfiles por segundo.
- **Cámaras Inteligentes:** Estas cámaras incorporan un procesador, una memoria y sistema de comunicaciones con el exterior.
- **Cámaras Infrarrojas / Cámaras Térmicas:** capturan radiación infrarroja sobre los 1000nm. Además, las cámaras térmicas son capaces de determinar la temperatura de los cuerpos a partir de su radiación infrarroja.



## **CAPITULO 3**

# **Selección de hardware y software**



### **3. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA**

Este apartado tiene como finalidad detallar en qué consiste el sistema de visión artificial que se ha implementado.

Se explicará el hardware y software utilizado por separado. Para la parte de hardware se describirá el proceso de selección de la cámara de video y el sistema de iluminación utilizado. Para el software, se explicará los diferentes procesos utilizados y la implementación de la cámara en planta.

Además, se hará una descripción del proceso en el cual se evaluarán la rotura de los cristales AR y los deslizamientos de los cristales de junta.

#### **3.1. HARDWARE**

El conjunto de cámara, lente y el software utilizado forman el sistema de adquisición de una aplicación de visión artificial.

En este apartado, se explicará qué tipo de cámara se ha escogido para el desarrollo del proceso de imágenes. Esta decisión es trascendental a la hora de obtener una imagen clara, por lo cual el éxito del proyecto depende en gran parte de esta elección.

Como soporte de la cámara se barajaron dos posibilidades para la captura de imágenes:

- Una cámara acoplada a un dron. En un sistema de visión la nitidez de la imagen es fundamental, por esta razón esta propuesta se descartó ya que podrían presentar inestabilidad en la captura de las imágenes.
- Una cámara acoplada a un iRobot. La estabilidad para la captura de imágenes era mucho mejor. Se optó por esta opción.

##### **3.1.1. Selección de la cámara**

Una cámara, es un aparato o dispositivo que permite captar, registrar y reproducir imágenes. Se pueden encontrar una gran variedad como: cámaras matriciales, cámaras lineales, cámaras alta velocidad, cámaras 3D, cámaras inteligentes y cámaras infrarrojas o cámaras térmicas.

Las primeras pruebas se realizaron con una cámara Reflex modelo Canon EOS 7D.



Figura 10.- Cámara Reflex

Las características de este tipo de cámaras son:

- **Visor Réflex:** Lo cual significa, que cuando miramos a través del visor, se ve, sin ningún tipo de retardo, la escena. Esto se produce por un espejo colocado a 45° y un pentaprisma que conducen e invierten la imagen para que la veamos correctamente a través del visor.
- **Sensor:** El material fotosensible, que en las cámaras analógicas era el negativo, en las cámaras digitales se transforma en un sensor digital compuesto por píxeles. Normalmente estos sensores son del tipo CCD (Charged-Coupled Device) o CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) y son los que se encargarán de retener la imagen.

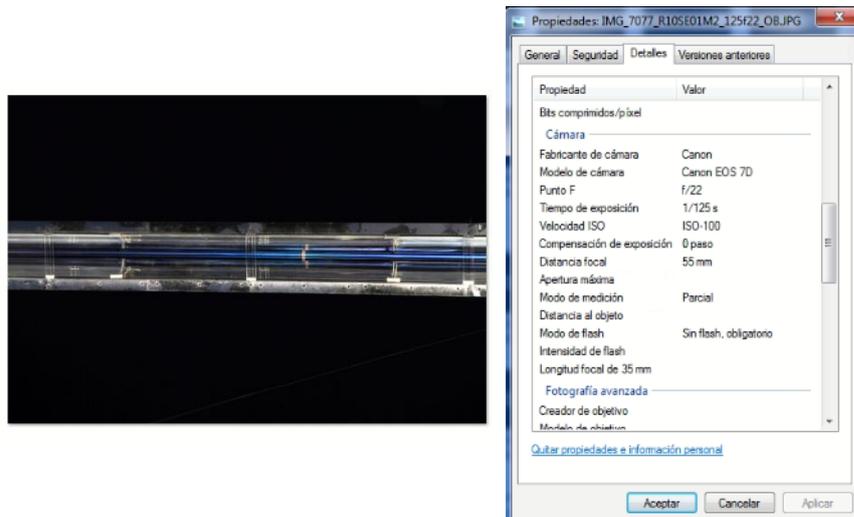


Figura 11.- Captura realizada con cámara Reflex

Se buscaba una cámara industrial que permita el control del disparo, captura de la posición requerida, velocidad de obturación, sensibilidad, etc. Estas características son básicas para su utilización en un sistema de visión artificial. Por lo tanto, la cámara Reflex fue descartada al no poder definir los parámetros y no contar con un disparo automatizado.

Según las condiciones que se presentan se consideró utilizar una cámara tipo matricial. La cámara seleccionada es la GO-5000M-PGE Mono. Esta cámara cuenta con un sistema de control, JAI Control Tool, con el que se puede cambiar los parámetros de la cámara, como el tiempo que exposición.



Figura 12.- Cámara GO-5000-PGE

### 3.1.2. Selección de lente

Una vez se tiene la cámara, se debe establecer la óptica más adecuada para la aplicación que se tiene. La lente se utiliza para transmitir la luz al sensor de la cámara de una forma controlada, su objetivo es obtener una imagen bien enfocada. Para saber exactamente qué lente se debe utilizar hay que tener en cuenta una serie de parámetros. Tales como el tamaño del sensor (*sensor size*), distancia focal (*working distance*) y el campo de visión (*field of view*) que deseamos abarcar.

En la siguiente figura se muestran los parámetros que se deben tener en cuenta a la hora de diseñar un sistema de imágenes:

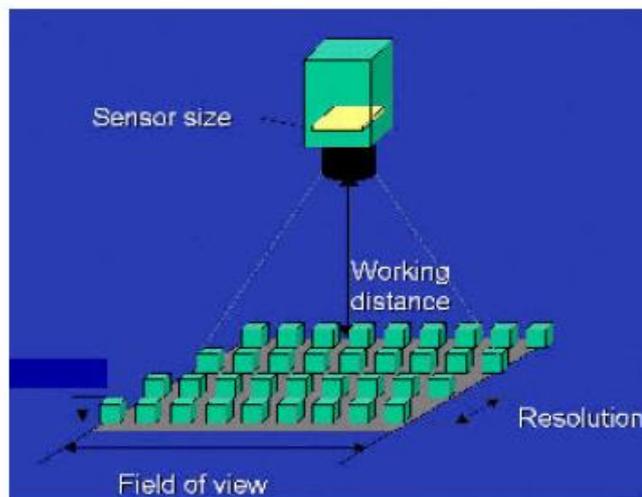


Figura 13.- Parámetros de un sistema de adquisición de imagen

El sistema de adquisición debe ser diseñado con el objetivo de captar imágenes de suficiente calidad como para obtener la información necesaria para extraer conclusiones.

En la planta solar, los cristales a los cuales se les realizará el análisis, se encuentran a 8 metros de altura con respecto a la superficie donde se colocará la plataforma móvil, esta se encuentra en los espejos primarios.

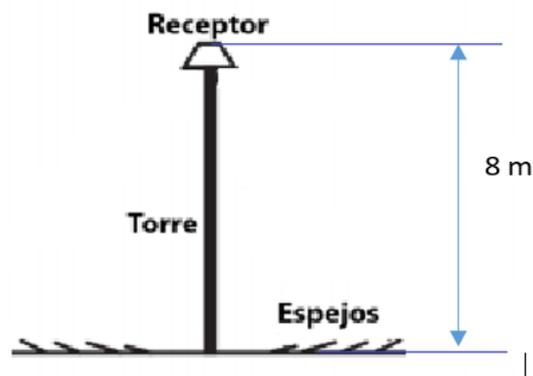


Figura 14.- Distancia de la cámara al objetivo

Teniendo en cuenta la distancia focal requerida, se tendrá en cuenta el ángulo de visión.

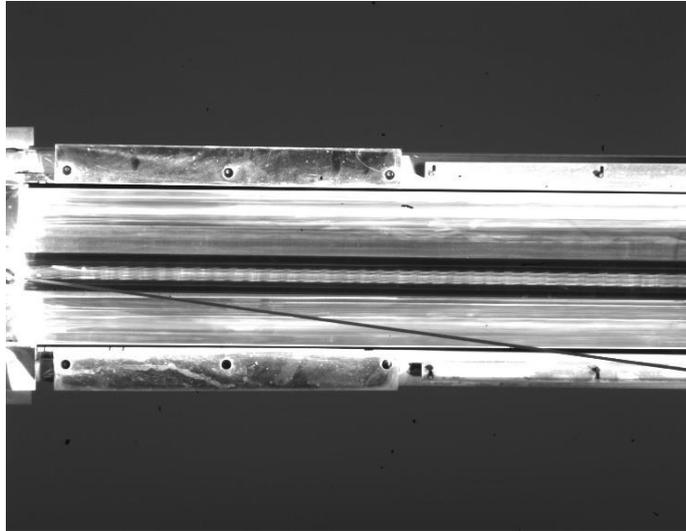
El ángulo de visión es función de la distancia focal y el tamaño del sensor, viene dado por la ecuación:

$$\alpha = 2 * \arctan\left(\frac{S}{2f(m + 1)}\right)$$

Donde  $\alpha$  es el ángulo de visión, S el tamaño del sensor, f la distancia focal y m el factor de magnificación. Para distancias de enfoque grandes ( $m \approx 0$ ), queda:

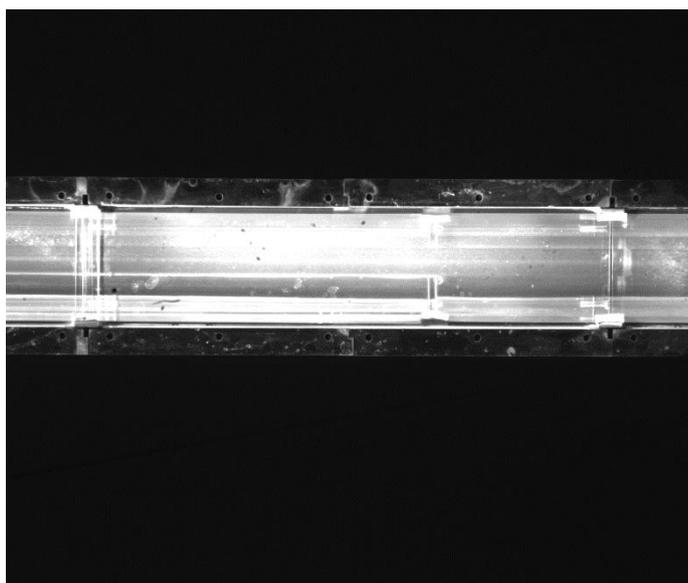
$$\alpha = 2 * \arctan\left(\frac{S}{2f}\right)$$

Se eligió un lente que no recortaba la zona de interés correctamente, como se puede ver en la Figura 14.



*Figura 15.- Captura con error en el radio focal*

Se calculó nuevamente el campo de visión que se quería obtener y se cambió la lente. Se optó por seleccionar el Vs-5018H1, con el cual se corrigió el area de interés de captura. En la siguiente figura se aprecia de forma completa la zona que se quiere analizar.



*Figura 16.- Imagen con el radio de apertura correcto*

Las características del lente utilizado son las siguientes:

13-May-13  
SPSV0132A1

***Mega Pixel CCTV Lens***

Model	VS-5018H1	
Focal Length (f)	50 mm	(49.93)
Maximum Aperture Ratio	1:1.8	(1.84)
F/#	1.8 ~ 16	
Angle of view (1")	11.0° X 14.6°	(Diagonal: 18.1°)
M.O.D	500 mm	
Flange back	17.526 mm	
Operation of Iris & Focus	manual	
Mount	C-mount	
Filter Thread	M 40.5	P= 0.5
Wavelength	Visible (400nm - 700nm)	
TV distortion (1")	-0.01 %	
Sensor size (max.)	1"	
Weight (approx.)	135 g	
Dimension	Φ 44 (MAX)	x L= 44.5 mm



*Figura 17.- Lente seleccionado*

Debido a las condiciones de trabajo, se presentaron diferentes variables que hay que resolver antes de continuar con el desarrollo del algoritmo en Matlab. Algunas de estas variables son:

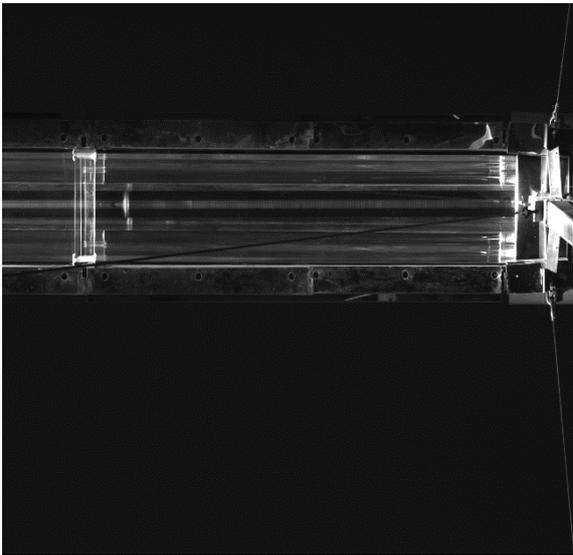
- Las condiciones medioambientales: cuando se presenta un día con nubes, la iluminación cambia y ésta ocupa una parte crítica en un sistema de visión. Como solución, se propuso realizar la captura de imágenes teniendo en cuenta el pronóstico del tiempo.
- Nivel de radiación del día: Al aumentar la radiación, el brillo en las imágenes aumenta, dando falsos resultados. Como solución, se propuso realizar las capturas considerando siempre 950 KWh/m<sup>2</sup> y se utilizó un filtro.

### 3.1.3. Selección de filtro

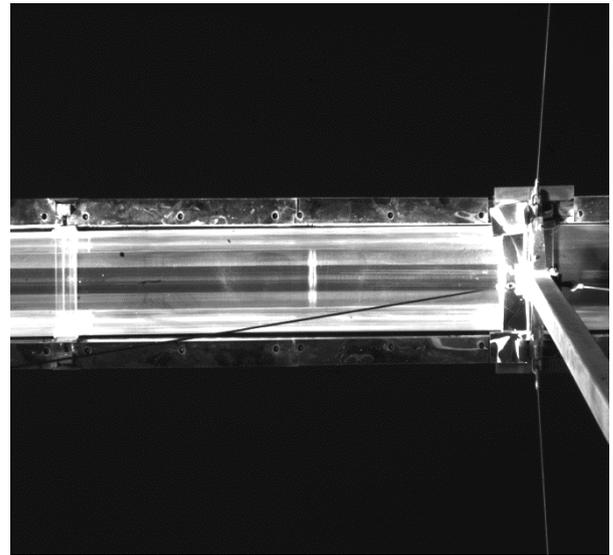
Un filtro es un cristal que se coloca por delante del lente de la cámara con el objetivo de modificar la luz que entra por la lente y es captada por el sensor. Se ha utilizado un filtro de color azul, modelo Midopt BP470, con

este filtro lo que se consiguió fue eliminar el azul del cielo para centrarnos en el cristal, enmarcando la estructura.

El uso del filtro ayudó también a quitar el brillo en los cristales y a que las líneas verticales se vieran con mayor precisión, como se puede apreciar a continuación.



*Figura 19.- Imagen con filtro azul*



*Figura 19.- Imagen sin filtro azul*



Figura 20.- Filtro azul

## 3.2. SOFTWARE

### 3.2.1. Programación en Matlab

Normalmente el procesado de imágenes requiere de un gran trabajo experimental con el software de programación, y multitud de pruebas con conjuntos de imágenes de muestra. Por esta razón, elegir un software flexible, completo y bien documentado es fundamental ya que va a repercutir en el tiempo de desarrollo. En este trabajo de fin de grado se ha empleado MATLAB (MATrix LABoratory), un software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE: Integrated Development Environment) con un lenguaje de programación propio. Se escogió este entorno como herramienta de programación debido a las ventajas que ofrece frente a otras soluciones.

Matlab cuenta con funciones conocidas para trabajar con imágenes binarias, transformaciones geométricas, morfología y manipulación de color, etc.

La interfaz gráfica de usuario (GUI) tiene como finalidad proporcionar un entorno visual sencillo a la hora de utilizar el programa desarrollado, sin tener unos conocimientos previos de MATLAB ni de su lenguaje. De esta forma, no es necesario poseer conocimientos de programación demasiado avanzados para utilizar las herramientas desarrolladas.

Se puede encontrar documentación sobre Matlab, al tratarse de una herramienta empleada principalmente en universidades y centros de investigación y desarrollo, como gran cantidad de manuales y referencias que facilitan su uso de un modo significativo.

En resumen, se ha elegido Matlab por su gran versatilidad, potencia y su fácil uso a la hora de realizar un programa.

Para utilizar la cámara con conexión de Ethernet, se tuvo que descargar un paquete de adquisición de imágenes.

	Hardware	Third party files – QImaging QCam
DALSA Sopera (dalsasopera)	Image Acquisition Toolbox Support Package for DALSA® Sopera Hardware	MATLAB files to use DALSA Sopera cameras with the toolbox
GigE Vision (gige)	Image Acquisition Toolbox Support Package for GigE Vision Hardware	MATLAB files to use GigE Vision cameras with the toolbox
Matrox (matrox)	Image Acquisition Toolbox Support Package for Matrox Hardware	MATLAB files to use Matrox cameras with the toolbox

Figura 21.- Paquete de adquisición de imágenes Matlab

### 3.2.3. Control de la cámara desde Matlab

En este apartado se explicará cómo se conectó la cámara a Matlab para poder realizar la captura de imágenes para realizar el análisis.

1. Se puede conocer qué adaptadores están conectados actualmente a Matlab

```
>> info = imaqhwinfo  
  
info =  
  
    InstalledAdaptors: {'dcam' 'winvideo'}  
    MATLABVersion: '8.5 (R2015a)'  
    ToolboxName: 'Image Acquisition Toolbox'  
    ToolboxVersion: '4.9 (R2015a)'
```

2. Se realizó la instalación del paquete de datos.

```
>> info = imaqhwinfo  
  
info =  
  
    InstalledAdaptors: {'dcam' 'gige' 'winvideo'}  
    MATLABVersion: '8.5 (R2015a)'  
    ToolboxName: 'Image Acquisition Toolbox'  
    ToolboxVersion: '4.9 (R2015a)'
```

3. Se obtiene información dispositiva instalado.

```
>> info = imaqhwinfo('gige')  
  
info =  
  
    AdaptorDllName: 'C:\MATLAB\SupportPackages\R2015a\gigevisionhardware'  
    AdaptorDllVersion: '4.9 (R2015a)'  
    AdaptorName: 'gige'  
    DeviceIDs: {[1]}  
    DeviceInfo: [1x1 struct]
```

4. Se puede obtener Información del dispositivo, como el formato por defecto, el identificador, el nombre del dispositivo y el código para la adquisición de video, así como los formatos que soporta el dispositivo.

```
>> info.DeviceInfo  
  
ans =  
  
    DefaultFormat: >> vid = videoinput('gige');  
    DeviceFileSupported: 0 >> preview(vid)  
    DeviceName: 'GO-5000M-PGE'  
    DeviceID: 1  
    VideoInputConstructor: 'videoinput('gige', 1)'  
    VideoDeviceConstructor: 'imaq.VideoDevice('gige', 1)'  
    SupportedFormats: {'Mono10' 'Mono10Packed' 'Mono12' 'Mono12Packed' 'Mono8'}
```

### 3.2.4. Programación en Matlab

A continuación, se explicará algunas de las funciones que se utilizará en Matlab.

#### 3.2.4.1. Función Imadjust

La función `Imadjust` aumenta el contraste de la imagen transformando los valores de intensidad de la imagen de entrada en nuevos valores de tal manera que el 1% de los datos se satura a bajas y altas intensidades de la imagen de entrada.

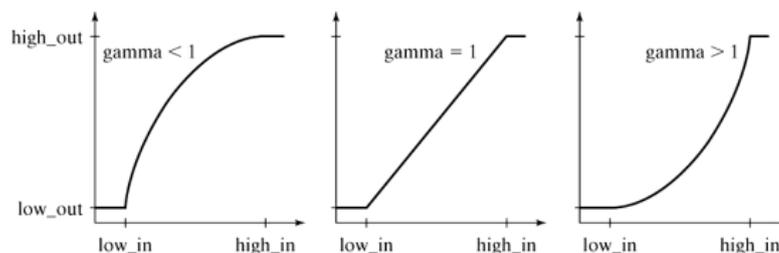


Figura 22.- Influencia del parámetro  $\gamma$  en la función `Imadjust`

Esta función puede ampliar, reducir y, en general, cambiar los rangos de intensidad de la imagen de entrada a unos nuevos rangos en la imagen de salida. Las intensidades de entrada más baja y más alta son `low_in` y `high_in` respectivamente, mientras que, de forma análoga, las intensidades de salida más baja y más alta son `low_out` y `high_out`. Obviamente, los valores que en la entrada se encuentran entre `low_in` y `high_in`, a la salida deben encontrarse entre `low_out` y `high_out`. Todos los valores entre `low_in` y `high_in` y entre `low_out` y `high_out` están comprendidos entre 0 y 1. Así, los valores inferiores a `low_in` y los valores superiores a `high_in` se recortan, es decir, se asignan respectivamente a `low_out` y `high_out`.

El parámetro `gamma` especifica la forma de la curva que describe la relación entre los valores de la imagen de entrada y la imagen de salida.

- Si  $\text{gamma} < 1$ , la asignación de valores se inclina hacia los valores de salida superiores (píxeles brillantes).
- Si  $\text{gamma} = 1$ , la asignación de valores se realiza de forma lineal.
- Si  $\text{gamma} > 1$ , la asignación de valores se inclina hacia los valores de salida inferiores (píxeles oscuros).

Por defecto, los parámetros del filtro se definen con los siguientes valores: `low_in = 0`, `high_in = 1`, `low_out = 0`, `high_out = 1` y `gamma = 1`.

#### **3.2.4.2. Función Sobel**

Este método encuentra bordes empleando la aproximación de Sobel para la derivada. Su imagen de salida presenta bordes en los puntos donde el gradiente de la imagen de entrada es máximo. Las máscaras de convolución del método Sobel pueden verse en la siguiente figura.

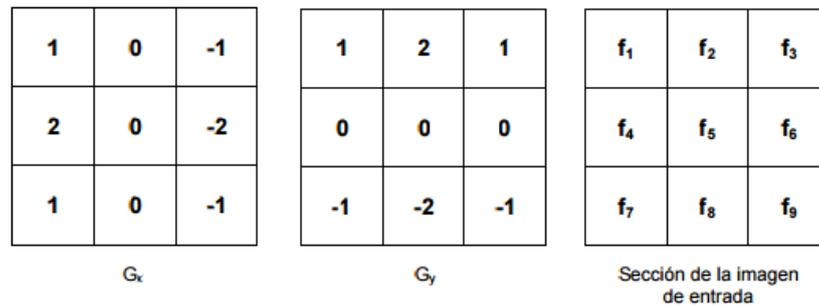


Figura 23.-Máscaras de convolución del método Sobel y sección de la imagen de entrada

Como se puede apreciar, se utilizan dos máscaras de tamaño 3x3. La máscara  $G_x$  se utiliza para calcular el gradiente en la dirección horizontal y la  $G_y$  para calcular el gradiente en la dirección vertical. Una máscara es la otra rotada 90°.

Las máscaras se pueden aplicar de forma separada en la imagen de entrada, para obtener las componentes del gradiente en cada orientación.

Tomando una sección de la imagen de entrada de las mismas dimensiones que la máscara del método Sobel, el resultado de la convolución viene dado por:

$$|G| = |(f_1 + 2f_2 + f_3) - (f_7 + 2f_8 + f_9)| + |(f_1 + 2f_4 + f_7) - (f_3 + 2f_6 + f_9)|$$

donde  $|G|$  es el módulo del gradiente y los  $f_1$  al  $f_9$  son las posiciones de los píxeles de la imagen de entrada.

Por otra parte, el módulo de una magnitud, en este caso el gradiente, viene dado por:

$$|G| = \sqrt{(G_x^2 + G_y^2)}$$

Y para realizar los cálculos de manera más rápida se suele emplear la aproximación:

$$|G| \approx |G_x| + |G_y|$$

La dirección del gradiente se calcula como:

$$\theta = \arctan^{-1}\left(\frac{G_x}{G_y}\right)$$

donde  $\theta$  es 0 cuando se produce la dirección de máximo contraste en la imagen, es decir, de negro a blanco yendo de izquierda a derecha.

### 3.2.4.3. Método Canny

Este método encuentra bordes buscando los puntos donde el gradiente de la imagen de entrada es un máximo local. El gradiente es calculado usando la derivada de un filtro Gaussiano. Esto significa que primero se realiza una convolución de la imagen de entrada con un filtro gaussiano para suavizar y eliminar ruidos. Y después se calcula el gradiente de la imagen suavizada, para determinar los píxeles donde se produce una variación máxima, es decir, un mayor módulo del vector gradiente. También se determina la dirección del vector gradiente.

La matriz del módulo del gradiente de la función gaussiana tendrá valores grandes donde la variación de la intensidad sea grande. Se eliminan (igualan a cero) aquellos píxeles que no son máximos locales en la dirección del gradiente (dirección perpendicular al borde).

El método Canny emplea dos umbrales para el gradiente, uno para detectar bordes finos y otro para detectar bordes gruesos. Los bordes finos se incluyen en la imagen de salida sólo si están conectados con los bordes gruesos o principales. Esta doble umbralización elimina la aparición de bordes dobles o falsos. En comparación con el método anterior, éste es el más robusto al ruido y el más adecuado a la hora de detectar bordes finos.



Figura 24.- Ejemplo de bordes con Canny

#### 3.2.4.4. Función RegionProps

Esta función de Matlab devuelve diferentes medidas de las propiedades de cada objeto etiquetado en la imagen binaria, BW. El etiquetado de los objetos se realizó anteriormente con bwlabel.

Se pueden encontrar propiedades como: 'Area', 'BoundingBox', 'Centroid', 'Eccentricity', 'Orientation', etc

#### 3.2.4.5. Función Imdilate

Imdilate es una función con la cual se puede ampliar bordes, unir objetos próximos, unir puntos blancos próximos y eliminar detalles negros pequeños.

Se utiliza el comando:

```
Resultado = imdilate(Imagen, SE);
```

Donde SE es la estructura del arreglo a utilizar como rejilla y la imagen ha sido previamente binarizada.

Existen varias maneras de obtener una estructura se\_f3. Una de ellas es mediante el comando “STREL”.

Si se utiliza una matriz de identidad de orden 3 como rejilla, el resultado de aplicar la operación de dilatación en el pixel que se traslapa con el elemento central de la rejilla es:

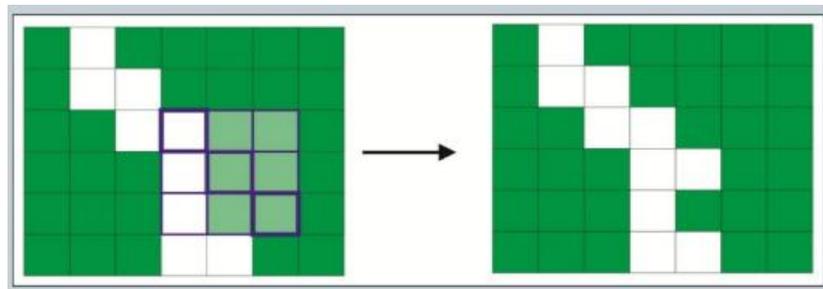


Figura 25.- Dilatación

Es decir, si alguno de los píxeles de la rejilla configurados como 1 coincide con al menos de la imagen el pixel resultante es 1.

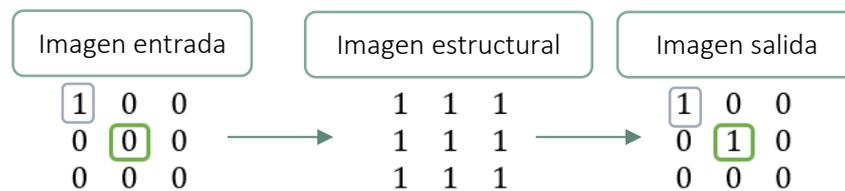


Figura 26.- Estructura de función Imdilata

### 3.2.4.6. Función Imerode

Imerode es una función con la cual se puede reducir bordes, separar objetos próximos, eliminar puntos blancos separados y ampliar detalles negros pequeños.

El comando utilizado es:

Resultado = imerode (Imagen, SE)

Donde SE es la estructura del arreglo a utilizar como rejilla y la imagen esta previamente binarizada.

Al igual que en imerode, si se utiliza una matriz identidad de orden 3 como rejilla, el resultado de aplicar la operación de erosión en el pixel que se traslapa con el elemento central de la rejilla es:

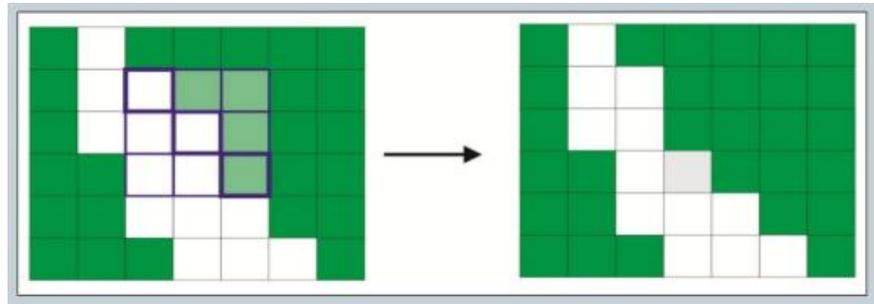


Figura 27.- Erosión

Es decir, que todos los pixeles de la rejilla configurados como 1 deben coincidir con los de la imagen, si esto no sucede el resultado del pixel es 0.



## **CAPÍTULO 4**

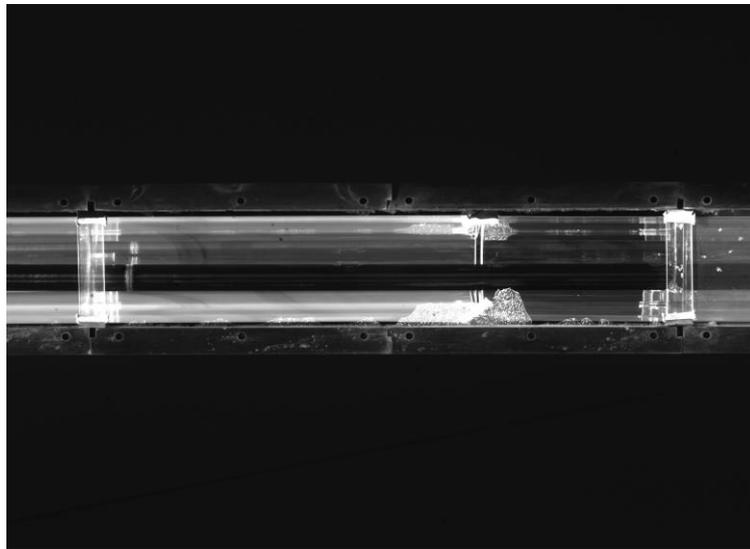
# **Análisis del proceso**



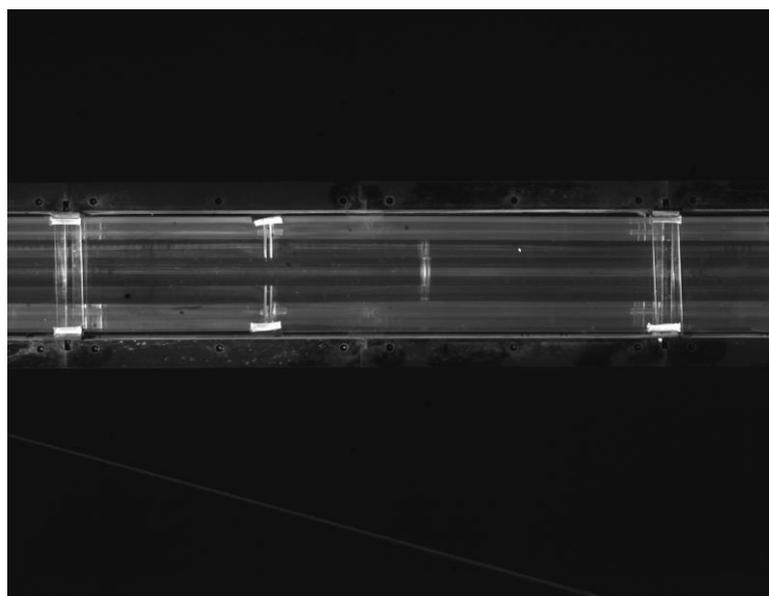
#### 4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

En este capítulo se explicará los elementos a examinar y los distintos procesos para la detección de roturas del AR.

El proceso utilizado consiste en recorrer la planta con ayuda de una plataforma móvil, ubicada en los paneles primarios, y capturar imágenes de cada uno de los AR, estos se guardarán y se analizarán, proporcionando información de su estado real. Las imágenes se guardarán teniendo en cuenta la fila, sector, módulo y posición del AR. A continuación, se muestran imágenes que han sido capturadas en campo.



*Figura 28.- Rotura de Figura AR*



*Figura 29.- AR y Cristales de junta óptimos*

#### 4.1. ELEMENTOS A EXAMINAR

Para el análisis que se efectuará se tendrá en cuenta los siguientes componentes en la imagen:

- Cristales AR.- Los espejos en todos los sistemas de concentración, al estar al aire libre, se tienden a ensuciar reduciendo la eficiencia energética del sistema por lo que deben ser limpiados para que no disminuya el rendimiento. Para favorecer a que no se ensucien en un corto periodo de tiempo, los espejos receptores se encuentran cubiertos por los cristales AR. La mayoría de cristales usados en la planta termosolar tienen una dimensión de 320 mm x 1365 mm y un espesor de 6 mm.
- Cristales de junta. - Su función es cubrir la separación existente entre los AR y hacer de soporte de estos a lo largo de la estructura. Se encuentran en cada extremo del AR. Cada cristal de junta presenta una dimensión de 295 mm x 60 mm y un espesor de 6 mm.

En este trabajo la detección de estos componentes se ha realizado utilizando el número de líneas verticales que identifican tanto a los ARs como a los cristales de junta.

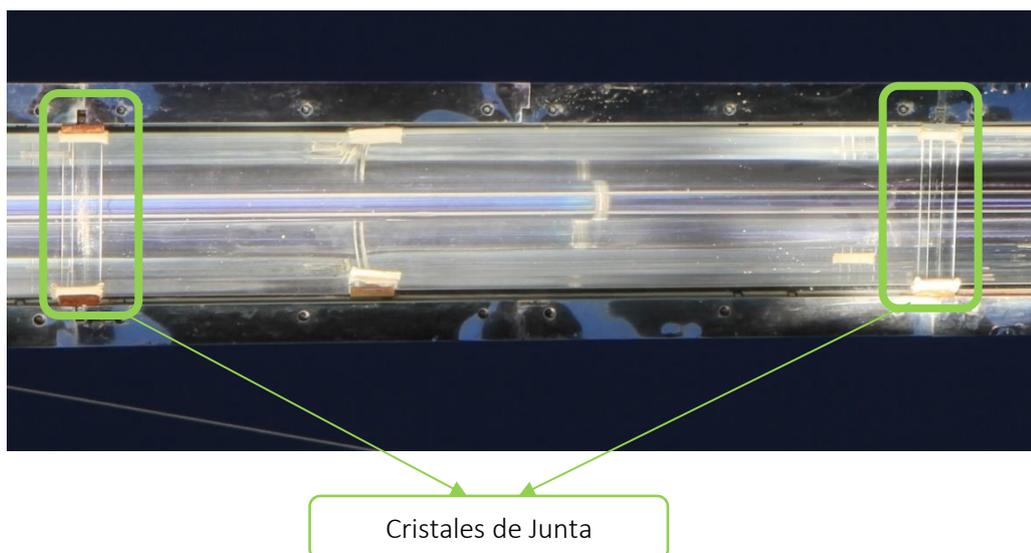
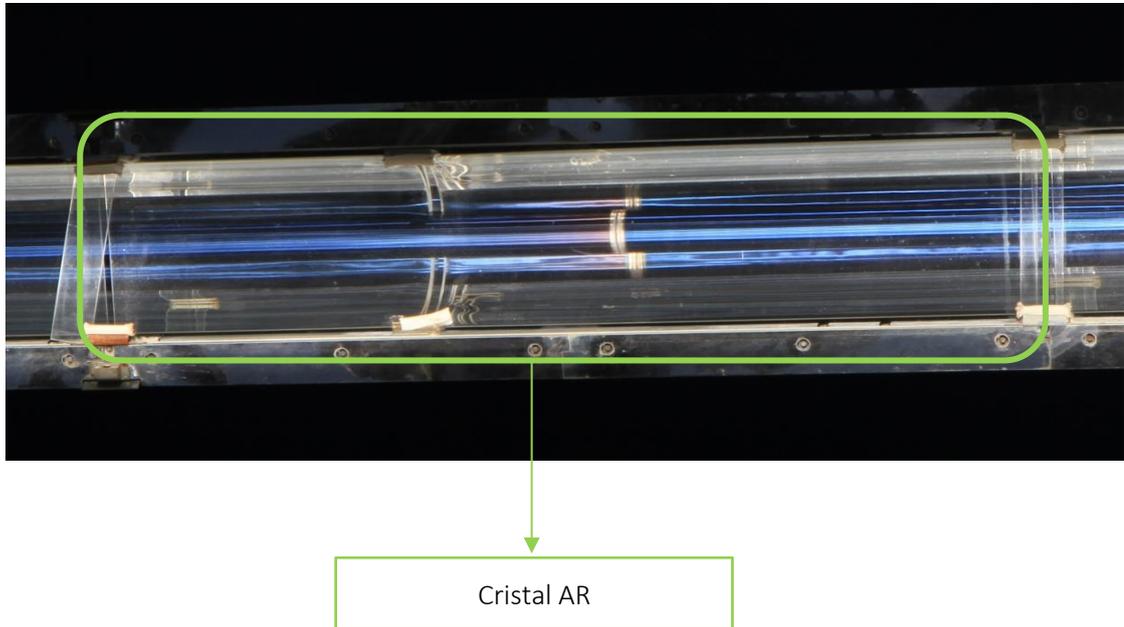


Figura 30.- Reconociendo de cristales de junta



*Figura 31.- Reconocimiento de AR*

## **4.2. DESARROLLO DEL ALGORITMO**

En este apartado se explicará el desarrollo seguido en el algoritmo realizado para la detección de rotura en cristales AR.

La dificultad se presenta en el grado de control que poseemos sobre las condiciones de trabajo. Se debe tener en cuenta las condiciones del entorno sobre el que se harán las imágenes, considerando la época del año, radiación del día y el tiempo de exposición de las imágenes.

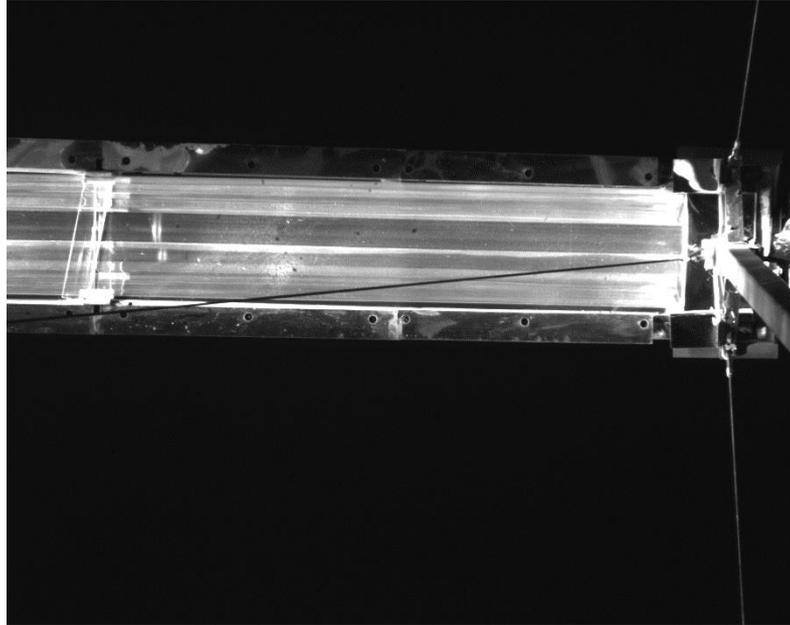
Se empieza eliminando componentes de las imágenes que no son necesarios, que no aportan información o que simplemente interfieren de forma negativa. Luego se analizarán los objetos de cada imagen, utilizando las diferentes funciones que hemos desarrollado.

### **4.2.1. Pre-procesamiento de la imagen**

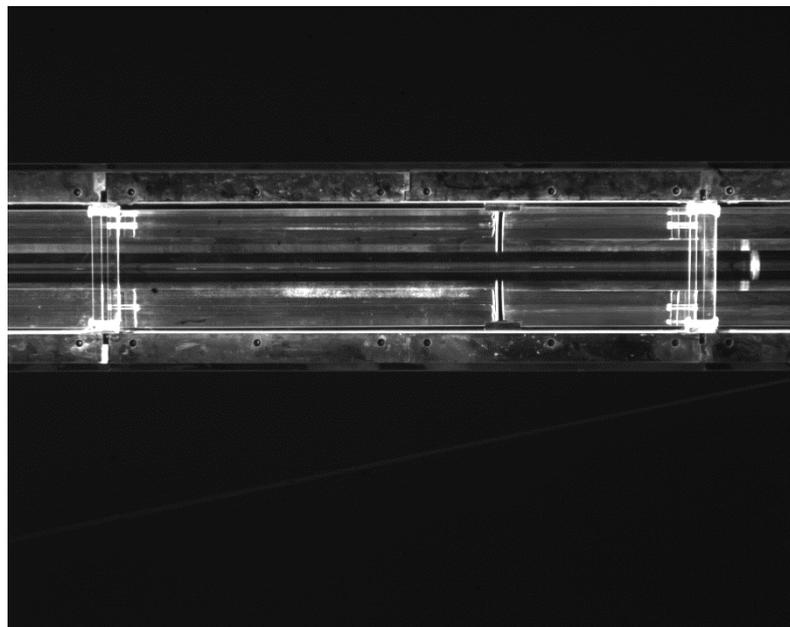
#### **4.2.1.1. Recorte de estructura**

Como primer paso se necesita recortar la estructura, eliminando la parte del cielo que no proporciona información útil. Las imágenes generalmente

se encuentran en la misma posición, pero se debe corregir cualquier error posición en la captura.



*Figura 32.- Cristal AR. Reconocimiento de la estructura. Mala Posición*



*Figura 33.-Cristal AR. Reconocimiento de la estructura. Posición usual*

La siguiente imagen muestra una captura hecha por la cámara, las dimensiones son 2560 x 2048 pixeles.

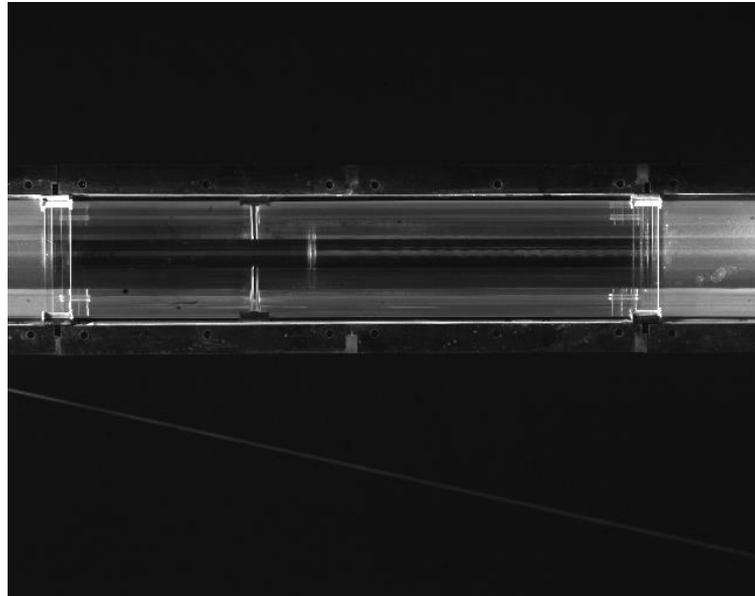


Figura 34.- Captura de imagen inicial

El primer paso será redimensionar la imagen para su posterior tratamiento. En este caso la imagen es escalada a un tamaño:

```
Resize = imresize(gray, [2040, 2550]);
```

Una vez redimensionada se realiza el suavizado para eliminar el ruido. Para ello se aplica un filtro de orden, en este caso se ha utilizado el filtro de la mediana. Los filtros de orden están basados en métodos que utilizan estadísticas de la imagen, conocidas como de orden. En el caso del filtrado de la mediana para cada pixel se ordenan las intensidades de sus pixeles vecinos, se determina la mediana y se asigna este valor al pixel. El tamaño de la vecindad que se ha utilizado es de  $5 \times 5$ .

```
B = medfilt2(Resize, [5 5]);
```

El siguiente paso consiste en segmentar la imagen para localizar la posible zona donde se encuentra la estructura. Este paso no pretende recortar el cristal, sino que segmenta la imagen para quedarnos con la mejor zona de la imagen donde es posible que se encuentre el cristal. Los pasos a realizar en este proceso son:

1. Binarización de la imagen, eligiendo un umbral automático

```
umb=graythresh(B);  
C=im2bw(B,umb);
```

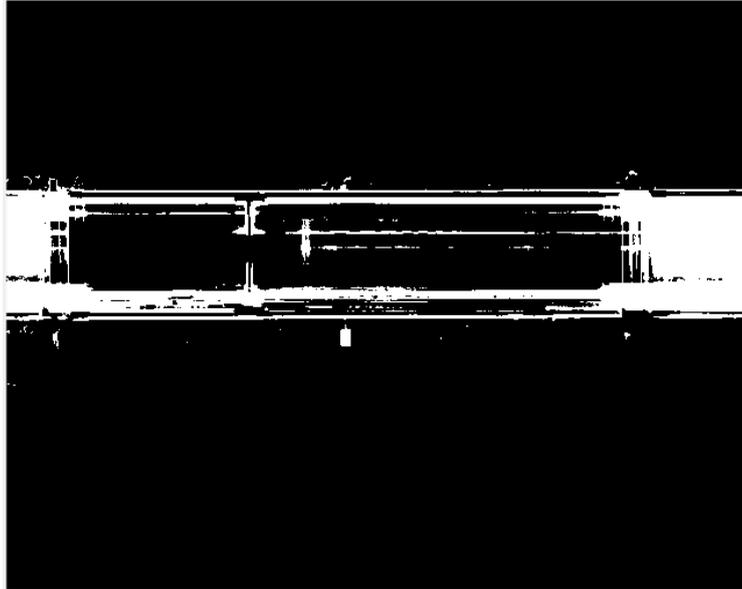


Figura 35.- Imagen binarizada

2. Detección de bordes, aplicando un proceso de binarización, en este caso aplicamos Canny. Este algoritmo se fundamenta en la teoría de operadores de primera derivada y es especialmente útil ya que, además de extraer bordes, cierra los contornos evitando posibles rupturas. El umbral utilizado para este algoritmo ha sido automático.

```
D=edge(P, 'canny');
```



Figura 36.- Detección de bordes

- Dilatación de los bordes, se realiza usando la función “imdilate”, utilizando un “strel” de línea.

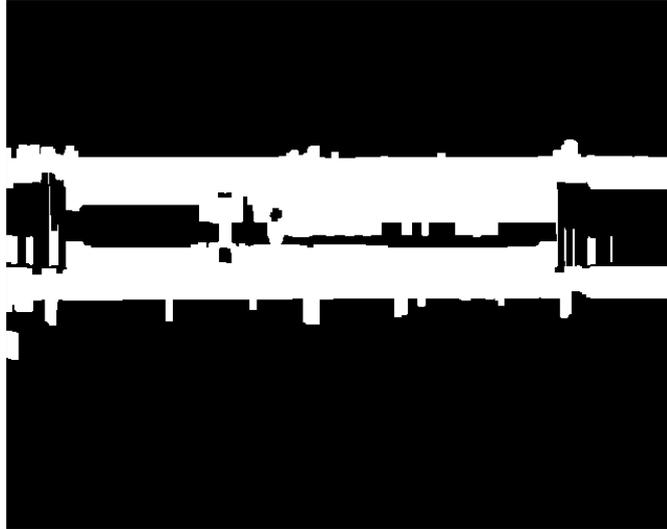


Figura 37.- Dilatación de bordes

- Encontrar el área mayor detectada, usando “RegionsProps” y ordenando de forma ascendente.

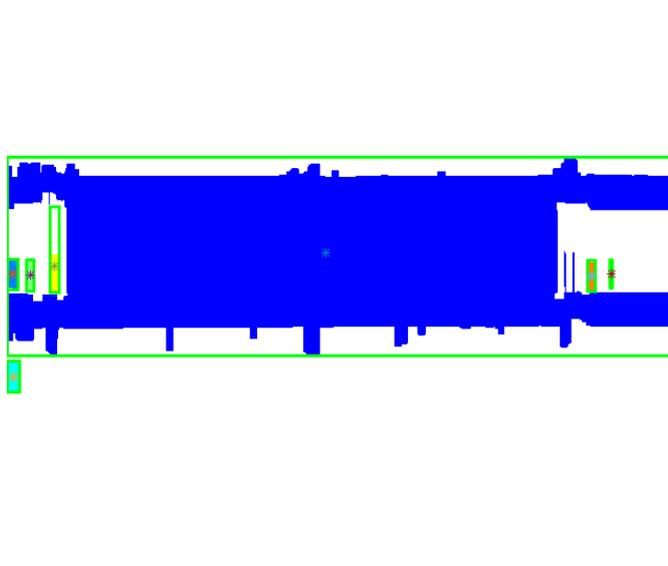


Figura 38.- Detección del área mayor y el centroide

5. Recorte de la imagen utilizando el centroide del área detectada anteriormente.

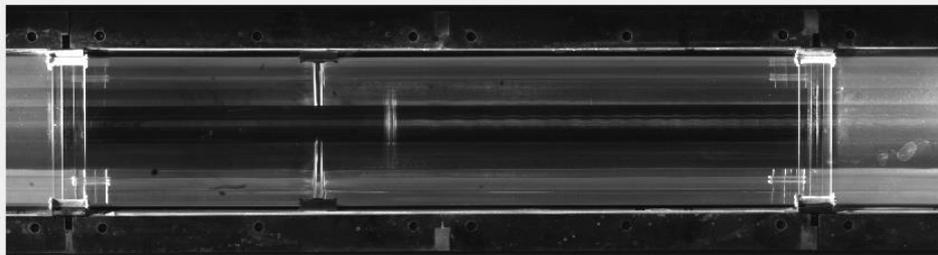


Figura 39.-Recorte de estructura

#### 4.2.2. Orientación

El objetivo de este apartado es corregir el ángulo de inclinación, generado al realizar la captura de la imagen, para conseguir que la imagen se encuentre lo más recta posible y poder realizar un correcto análisis, para ello se realizan las siguientes operaciones.

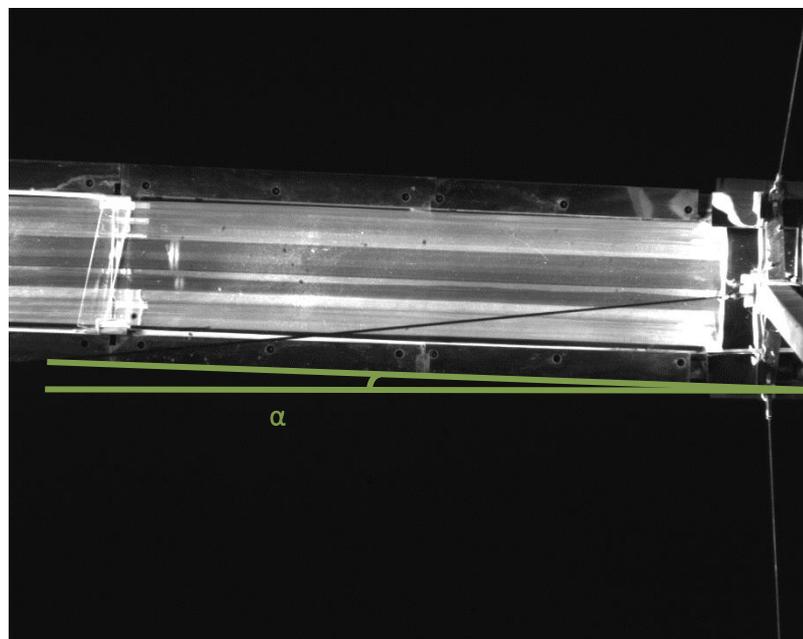


Figura 40.- Cristal AR. Corrección del ángulo

1. Identificación de bordes, para marcar mejor los bordes, se utiliza la función *Imadjust*, bajando así el contraste y marcando mejor las líneas que conforman los bordes que separan el AR de la estructura.

Para la detección de bordes se usa la función Canny, en este caso se usó el thresh= 0.17.

```
Img_i = imadjust(rotar, [0 1], [0 1], 2.5);  
Canny = edge(Img_i, 'Canny', 0.17);
```

2. Con el fin de facilitar la detección de las regiones, se realiza un proceso de convolución en la imagen binarizada. Esta convolución servirá para suavizar la imagen y reducir el número de componentes conectadas, a fin de minimizar los falsos positivos. Se utilizará el siguiente filtro:

```
msk = [00000; 01110; 01110; 01110; 00000];  
B = conv2(double(Canny), double(msk));
```

3. Corrección del ángulo, utilizando la función Regionprops se conocen los ángulos de los objetos etiquetados en la imagen binarizada, utilizando el siguiente algoritmo se corrige el ángulo de inclinación para que la imagen quede recta.

```
angulo = prop_F(indice_Ori).Orientation;  
  
if angulo > 88.5 || angulo < -88.5  
    Final_S = Img;  
elseif (angulo <= 88.5) && (angulo > 0)  
    alpha = -450-angulo;  
    Rot_p = imrotate(Img, 180+angulo+alpha);  
    Final_S = Rot_p;  
    Final_S = imrotate(Final_S, -90);  
elseif (angulo >= -88.5) && (angulo < 0)  
    alpha = 90 + angulo;  
    Rot_n = imrotate(Img, 360+angulo-alpha);  
    Final_S=Rot_n;  
    Final_S = imrotate(Final_S, 90);  
end
```

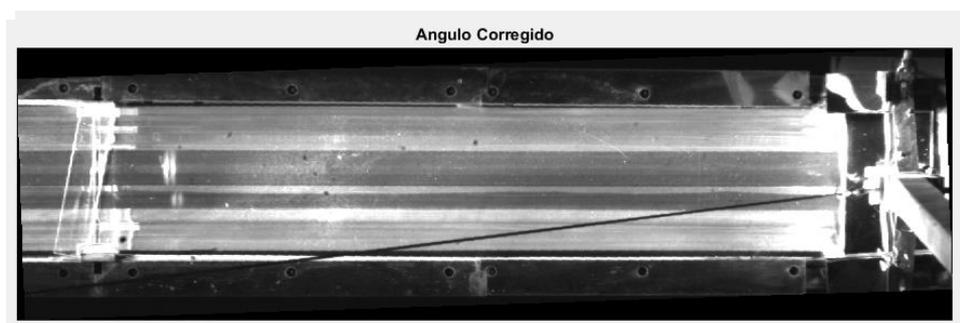


Figura 41.- Imagen con ángulo corregido

### 4.2.3. Recorte de superficie del cristal

En esta sección, el objetivo es separar el cristal de la estructura para su posterior análisis.

Como primer intento se localizó la división del AR y la estructura, el recorte se realizaba correctamente, pero a medida que el proyecto avanzaba y las condiciones cambiaban, es decir, aumentaba la radiación y el brillo, el reconocimiento de esta división se hacía más compleja, dejando imágenes sin recortar y por lo tanto dificultando el análisis.

Como solución, se propuso la detección de los agujeros de las soldaduras que se encuentran en la parte superior e inferior del AR, en la estructura.

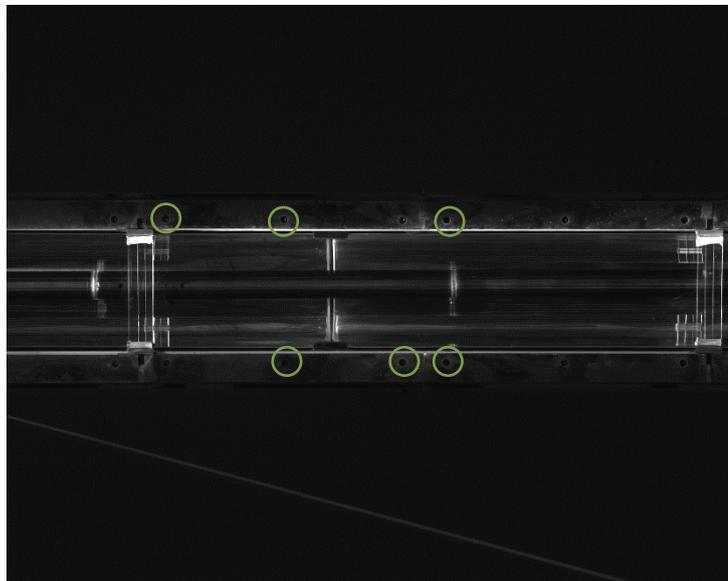


Figura 43.- Reconocimiento de las soldaduras

A continuación, se explicará el método utilizado para el recorte del cristal:

1. Se realizan operaciones morfológicas y se hace uso de la función Sobel para obtener los bordes. Se usó un umbral de 0.02. A continuación, se eliminaron áreas menores a 70, esto se realizó con la función `bwareaopen`.

2. Se etiquetan los objetos encontrados en la imagen binarizada y con la función imfill se rellenan de blanco las zonas conectadas.

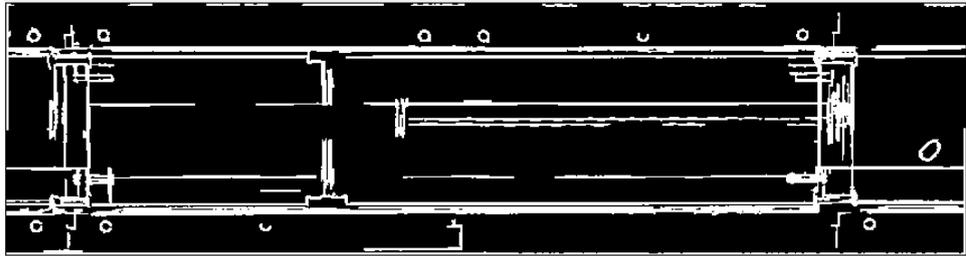


Figura 45.- Imagen binarizada antes de aplicar Imfill

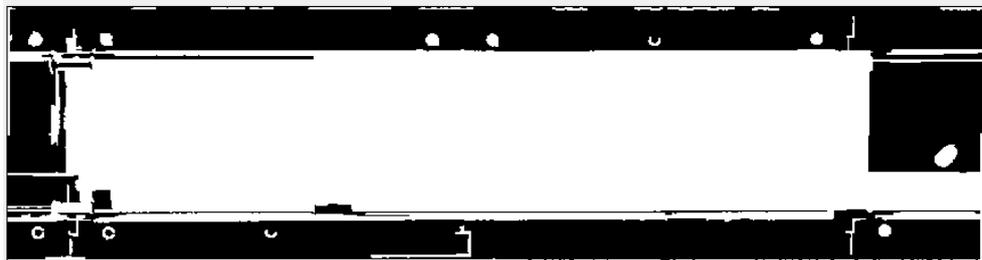


Figura 44.- Imagen binarizada después de rellenar zonas conectadas con Imfill

3. Se etiqueta nuevamente y se identifica aquellas áreas con una excentricidad de menos de 0.55 y que se encuentren ubicados sobre el pixel 165 o por debajo del pixel 550, indicando con esto los círculos de las soldaduras.



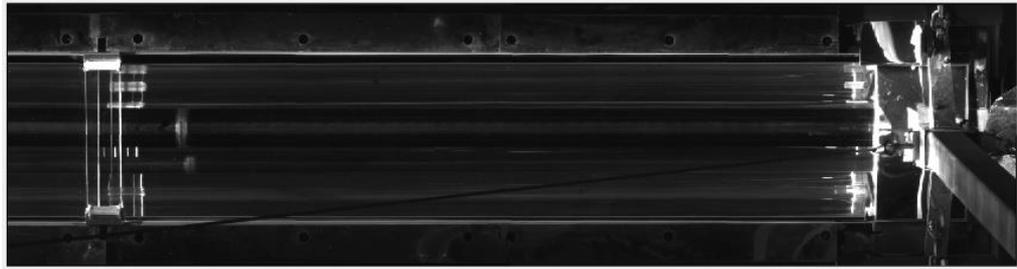
Figura 46.- Soldaduras detectadas

4. Usando la función Imcrop y conociendo las medidas del cristal, se recorta y se redimensiona.

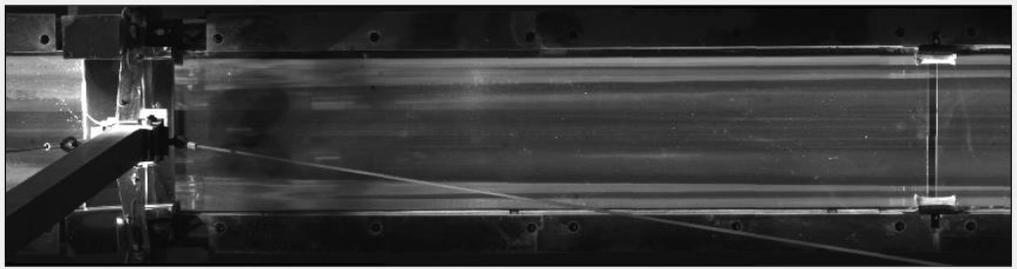
#### 4.2.4. Reconocimiento de cristales de junta

En esta sección el objetivo es recortar sectores donde se encuentren los cristales de junta.

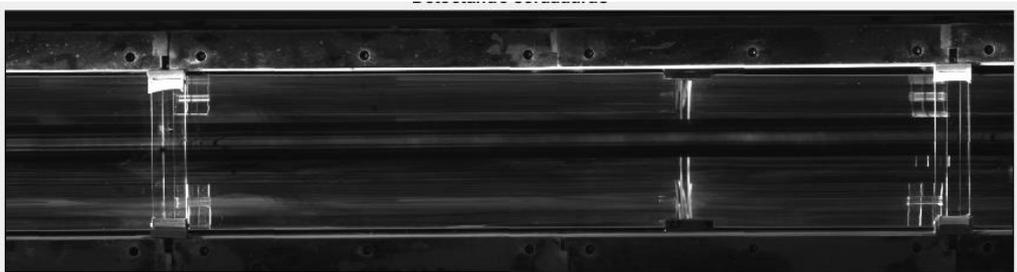
Se tendrá en cuenta que los ARs 1 y 4 se analizan de diferente manera que el 2 y 3, ya que los primeros cuentan con la estructura que los sostiene. El AR1, tiene una estructura metálica a la derecha mientras que el AR 4, la posee a la izquierda.



*Figura 49.- Recorte de la estructura. AR1*



*Figura 48.- Recorte de la estructura AR4*



*Figura 47.- Reconocimiento de la estructura AR2 o AR3*

Para realizar esta diferencia se utilizó la posición del array donde se indica el número de AR al que pertenece la imagen. En este caso las imágenes son almacenadas dentro de una Archivo llamado “Niveles”, en la carpeta “Piezasdejunta” y luego se indica el nombre de la imagen.

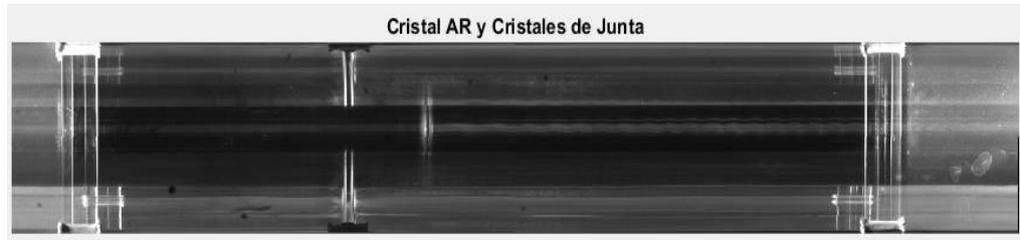


Figura 50.- Cristal AR recortado

Es decir, que se tendrá en cuenta solo la posición 32 del nombre con el que se guarda la imagen, como se puede ver en la figura 51.

Por lo tanto, siempre se utilizará el mismo formato para almacenar las imágenes, teniendo en cuenta la fila, el sector, el módulo y el AR.

```
Imagen = 'Niveles\piezasdejunta\01.01.01.2.bmp';
```



Figura 51.- Formato para almacenar las imágenes

Como primer paso se procedió a recortar la zona donde se encuentran los cristales de junta y redimensionando. Estos siempre se encuentran a la misma distancia, ya que el AR utilizado en la planta es del mismo tamaño, se recorta usando la función `Imcrop`.

```
Img_drcha = imcrop(Rec, [0,0,470,400]);  
Img_drcha = imresize(Img_drcha, [350, 380]);  
  
Img_izqda = imcrop(Rec, [2100,0,470,400]);  
Img_izqda = imresize(Img_izqda, [350, 380]);
```

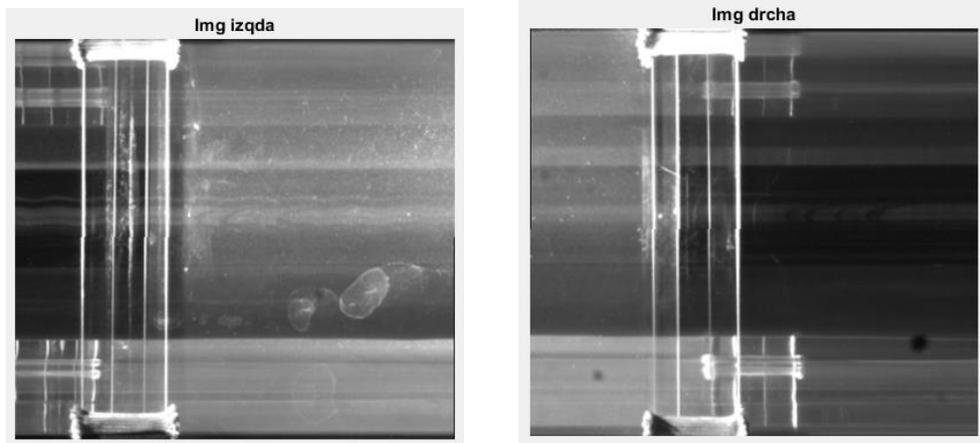


Figura 52.-Cristales de Junta. AR 2 o 3

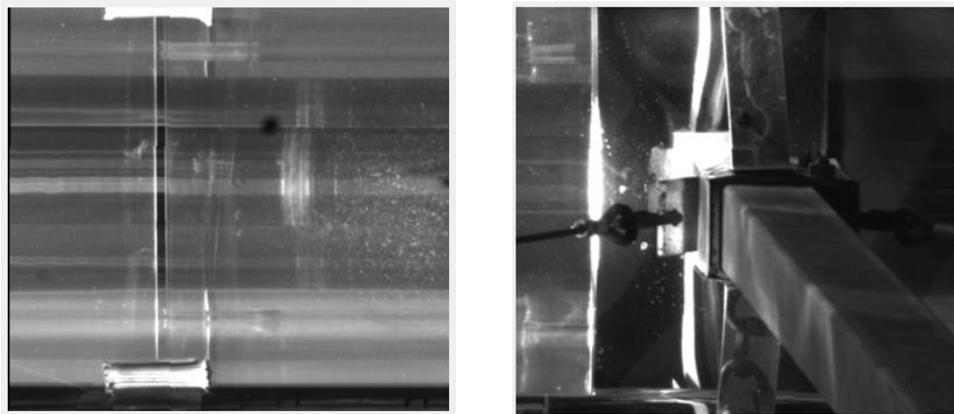


Figura 53.- Cristales de junta. AR 1

#### 4.2.5. Análisis de la región de interés

En este apartado se explicará cómo se realizó la detección de las líneas verticales que conforman los cristales de junta y el AR.

Se hará uso de la función “DetectarLineas.m” para realizar el análisis. Lo primero que se busca es reconocer los bordes, para ello se usará la función Canny, en este caso se usará un umbral de 0.37 con el cual se puede apreciar los bordes del cristal AR y del cristal de junta.

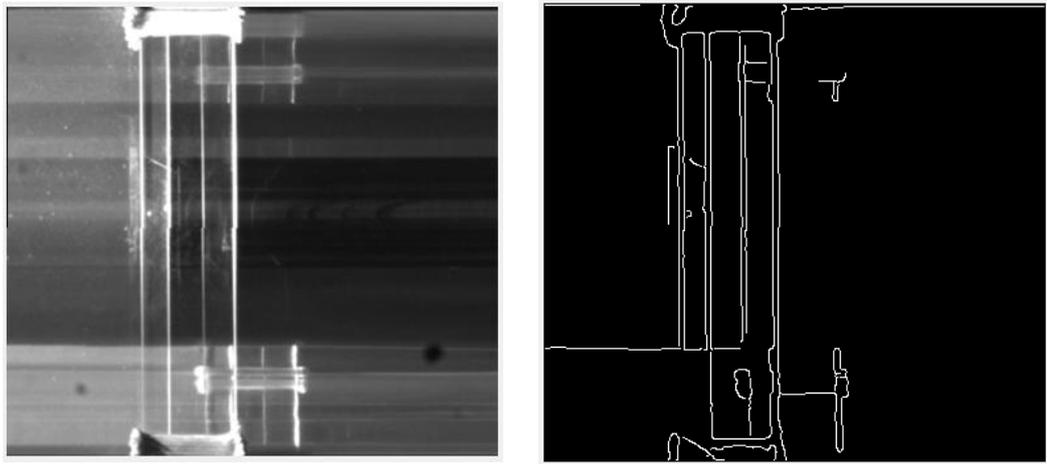


Figura 55.- Utilización de la función Canny con 0.37 como umbral

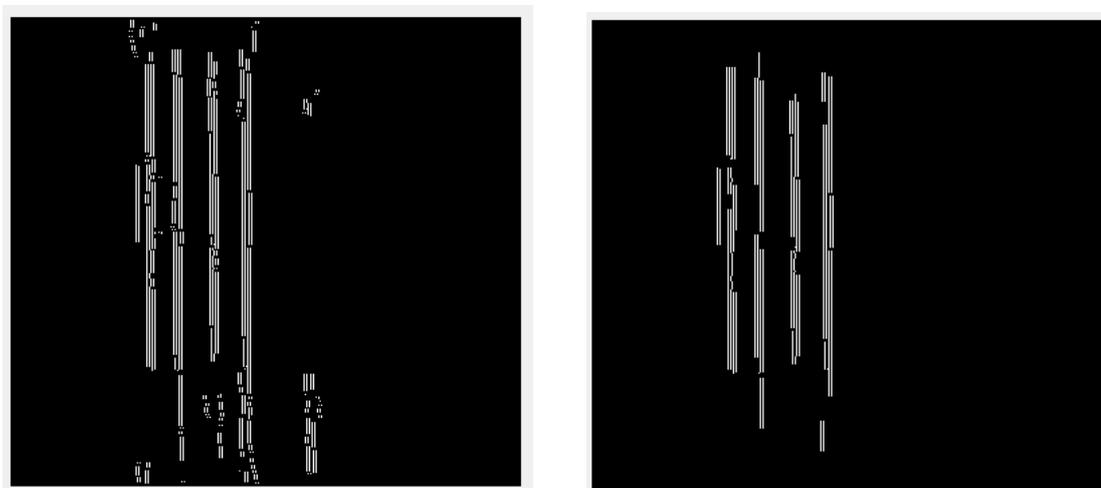


Figura 54.- Sobel y eliminación de áreas pequeñas

Para poder descartar aquellas líneas horizontales se usa Sobel vertical con un umbral de 0.4 y se eliminan aquellas áreas pequeñas que no son significativas y que podrían causar errores. La eliminación de áreas se realiza con bwareaopen, eliminando aquellas áreas menores de 20.

Lo que se busca ahora es resaltar aquellas áreas que forman parte de las líneas verticales que conforman los cristales de junta y los AR. Para ello se utiliza `imdilate` como se ve a continuación.

```
se_f3 = strel('line',300,90);  
dil_f3 = imdilate(Area_open_dil, se_f3);
```

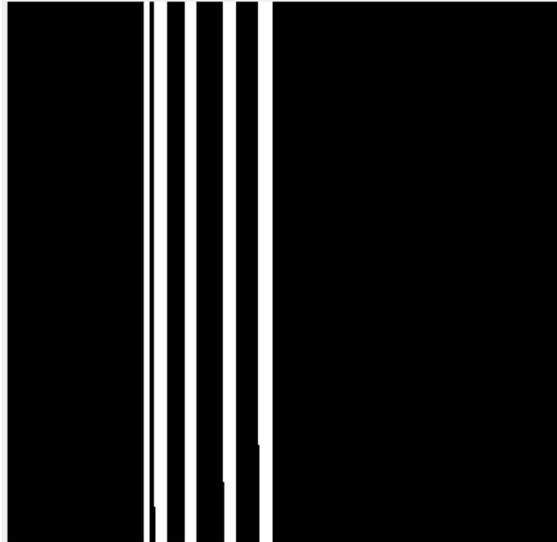


Figura 56.- Función `imdilate` para marcar líneas verticales

En la figura 56 se encuentran cinco líneas, dos de ellas pertenecen a los cristales de junta y las otras dos al AR, una es un brillo que no ha logrado ser eliminado. Para descartar cualquier área que no pertenezca a las líneas que servirán de estudio, se usará la medida del cristal de junta y la separación de los AR.

Para establecer una distancia similar y así poder descartar líneas que no han logrado ser eliminadas y que pueden dar un falso resultado, se utiliza la medida del centroide de cada área para conocer la distancia entre las líneas. El centroide se consigue usando la función `RegionProps`.

Las líneas que pertenecen a los cristales de junta deben tener una separación de un rango de entre 70 y 80 píxeles. Para descartar áreas de brillos pequeños, se tuvo en cuenta también que aquellas áreas menores de 1400 serían descartadas.

De igual manera para saber si existen dos ARs juntos se tuvo en cuenta una separación de entre 15 y 25 píxeles. De igual forma se descartaron aquellas áreas menores de 1400.

Se consideró también la posibilidad de que alguno de los cristales de junta o ambos se hayan movido de su posición correcta. Para esto, primero se comprobó que no hubiese áreas con una separación del rango de 70 y 80 (indicadores de la existencia de cristales de junta), una vez comprobado esto, se realizó nuevamente un análisis de la sección de interés, comprobando la existencia de cristales de junta movidos. La detección se realizó midiendo el ángulo de las áreas que forman solo los cristales de junta, si esta era distinta de  $90^\circ$ , se consideró movida.

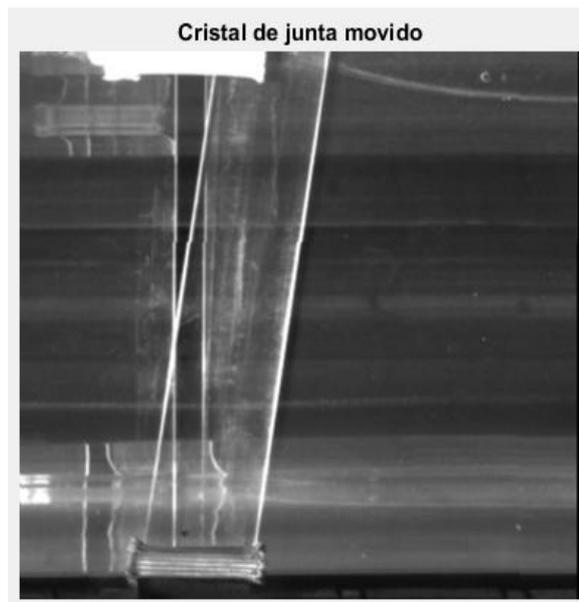


Figura 57.- Cristal de junta movido

Se ha creado un marcador que indica la existencia de cristales de junta movidos, cuando este es diferente de cero la sumatoria de áreas considerada para reconocer los estados donde no haya movimiento de cristales de junta se altera dándonos el resultado correcto.

A continuación, se mostrará diferentes situaciones encontradas:

- Se encuentra AR y Cristal de junta.

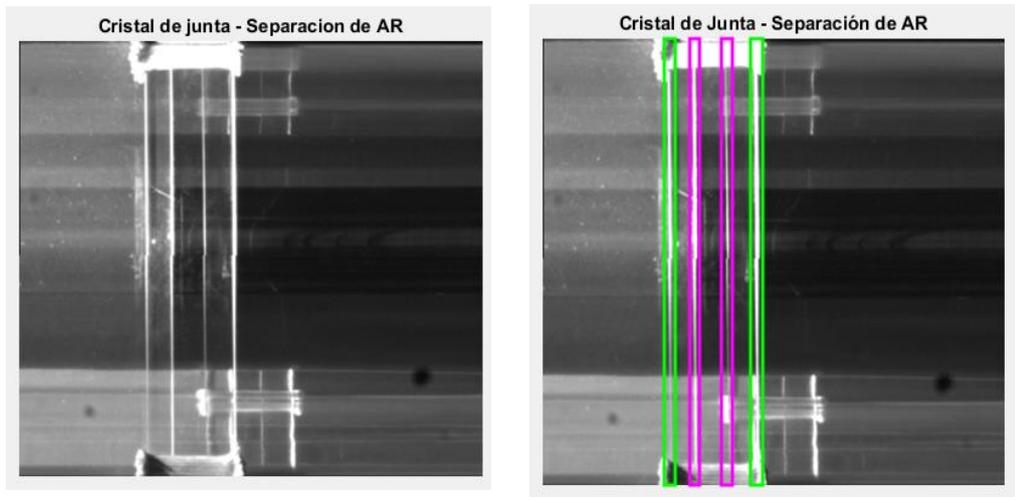


Figura 58.- Separación de AR y Cristales de junta

- No hay cristal de junta, solo ARs

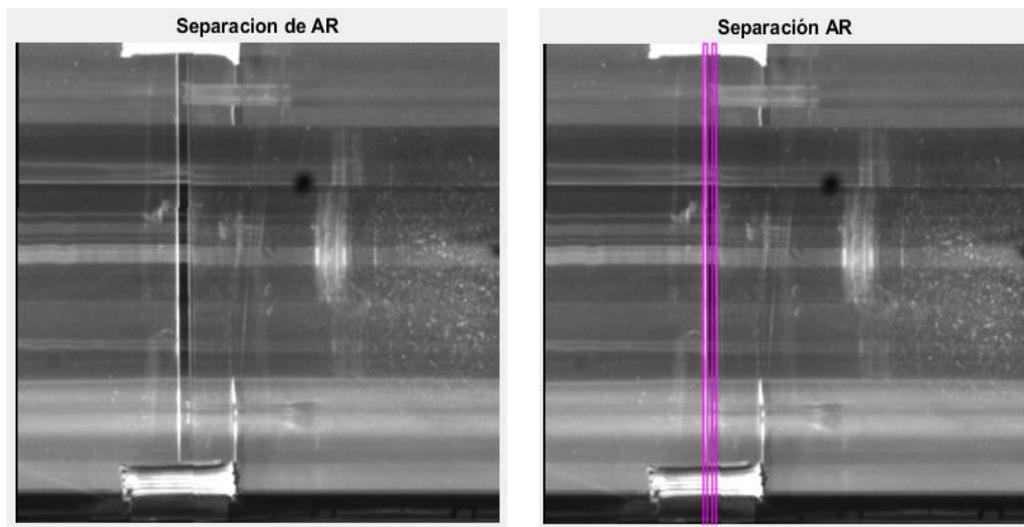


Figura 59.- Separación de AR

- Hay cristal de junta, solo un AR

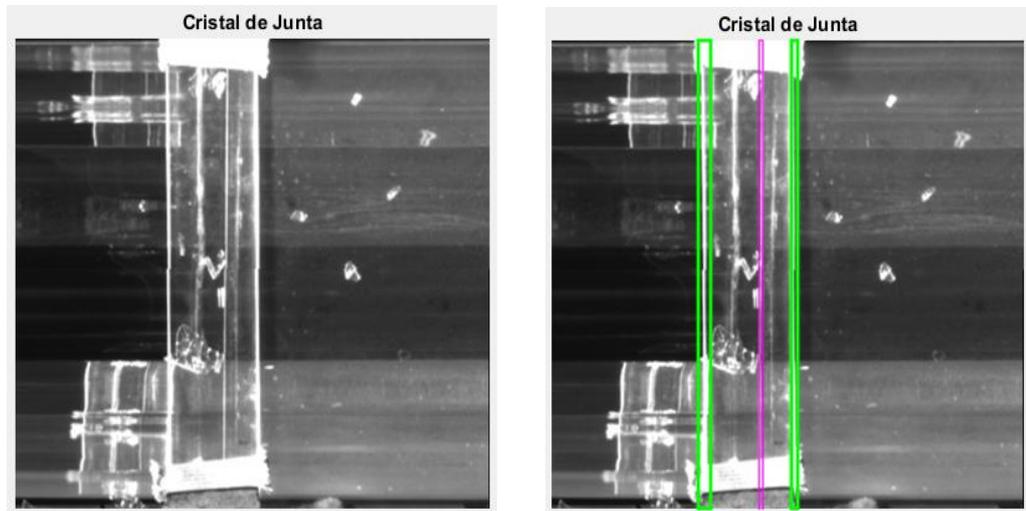


Figura 60.- Cristal de Junta y AR

- Solo cristal de junta

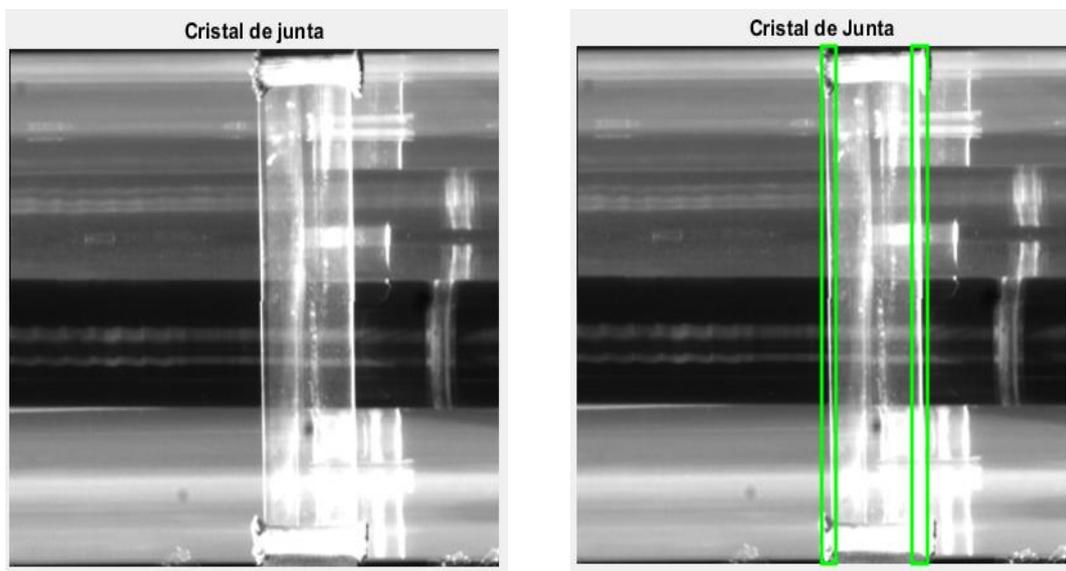


Figura 61.- Cristal de junta

- Cristal de junta Movido

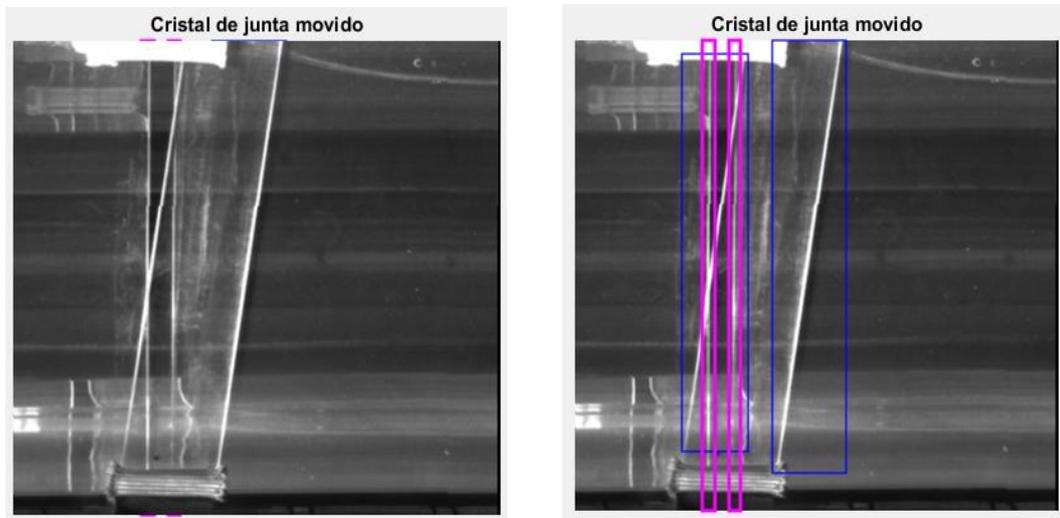


Figura 62.- Cristal de junta movido

- Sin Cristales de junta ni AR

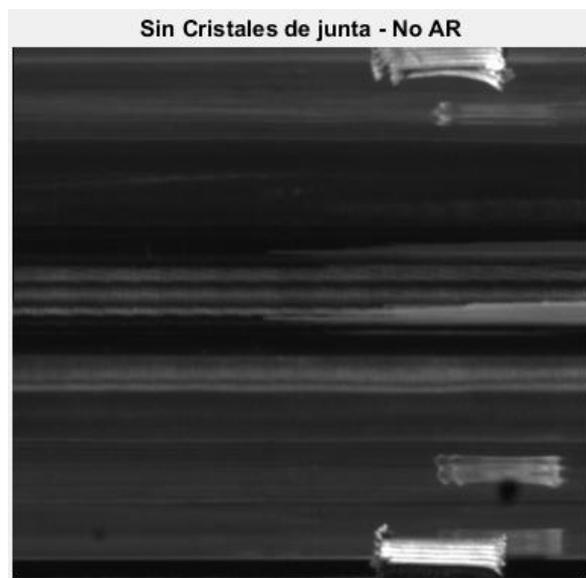


Figura 63.- Sin Cristales de junta, Sin AR

En la siguiente tabla se detalla cómo se consideró la suma de áreas para obtener los resultados, como los cristales 1 y 4 se analizan de diferente manera que los 2 y 3, se hacen dos tablas diferentes.

Cristal 1 o 4		Total de Áreas	Cristal de Junta movido	Estado
AreasAR	AreasCJ			
2	2	4	0	Todo correcto
2	0	2	1	CJ movido
1	2	3	0	Hay AR, hay cristal de junta
1	0	1	1	Hay AR, hay CJ movido

Tabla 1.- Áreas encontradas cristales 1 o 4

Cristal 2 o 3				Total de Áreas	Cristal de Junta movido	Estado
Izquierda		Derecha				
AreasAR	AreasCJ	AreasAR2	AreasCJ2			
2	2	2	2	8	0	Todo correcto
2	0	2	0	4	1	Hay AR, CJ movido
0	2	0	2	4	0	No hay AR, hay cristales de junta
0	0	0	0	0	1	No Hay AR, cristal de junta movido
1	2	2	2	7	0	Hay AR, hay un cristal de junta
1	2	2	2	7	1	Hay AR, CJ movido
1	0	1	0	2	1	
1	2	1	2	6	0	No hay AR, hay CJs
1	2	0	2	5	0	
0	2	1	2	5	0	
0	0	1	2	3	0	No hay AR, hay un CJ
1	2	0	0	3	0	
2	0	2	2	6	0	Hay AR, hay un CJ
2	2	2	0	6	0	
2	0	2	2	6	1	Hay AR, un CJ movido
2	2	2	0	6	1	

Tabla 2.- Áreas encontradas, cristales 2 o 3



## **CAPÍTULO 5**

# **Resultados**



## 5. RESULTADOS

Se expondrán los resultados obtenidos usando el algoritmo generado en Matlab. Los resultados se obtuvieron por separado para las estaciones de invierno y primavera, ya que según la estación la radiación solar varia y las imágenes contienen más o menos brillo. También se considera los diferentes tiempos de exposición en los que se hicieron las capturas.

Se mostrará una tabla con los resultados obtenidos. En la tabla 3 se detallan los valores que se les asignaran a los diferentes resultados obtenidos con el algoritmo. En las siguientes tablas se puede ver diferentes columnas donde la columna “Estado Algoritmo” se ve los resultados obtenidos, la columna de “Estado Real” el valor que se obtiene visualmente, “p” y “p2” nos muestran si se han encontrado algún cristal movido, este valor es importante porque puede informarnos si un cristal de junta esta movido, aunque en la columna “Estado algoritmo” no se muestre el resultado esperado.

También se resaltarán en rojo aquellos resultados que se obtengan como ERROR y en verde aquellos en los que todo sea correcto. Los resultados donde P y P2 sean positivos están resaltados en amarillo. El estado ERROR, indica que no se ha logrado recortar bien la imagen, es este caso el resultado será “1”, las capturas donde el reconocimiento no haya sido correcto también serán considerado como ERROR.

Se obtendrá el porcentaje de las coincidencias correctas e incorrectas y finalmente analizaremos los resultados obtenidos.

*Tabla 3.- Valores asignados a los resultados*

Resultado	Estado
1	ERROR!
2	Hay AR, CJ Movido
3	Hay AR, no hay CJ
4	No hay AR, hay CJs
5	No hay AR, no hay CJs
6	Todo OK
7	Hay AR, hay solo un CJ

Se expondrá los resultados calculados en invierno y primavera. En invierno se indican los diferentes tiempos de exposición, en primavera las fechas y en el nombre de la imagen se indica el tiempo de exposición o las radiaciones

- Capturas realizadas en invierno
  - Tiempo de exposición: 830

*Tabla 4.- invierno. Tiempo exp 830*

AR	Estado algoritmo	Estado real	p	p2	Coincidencia
01.01.01.1.bmp	1	2	0	0	FALSO
01.01.01.2.bmp	1	3	0	0	FALSO
01.01.01.3.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
01.01.01.4.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
02.01.01.1.bmp	1	3	0	0	FALSO
02.01.01.2.bmp	5	2	0	2	FALSO
02.01.01.3.bmp	2	2	2	0	VERDADERO
02.01.01.4.bmp	4	2	0	0	FALSO
03.01.01.1.bmp	1	2	0	0	FALSO
04.01.01.1.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
04.01.01.4.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
05.01.01.1.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
07.01.01.4.bmp	1	2	0	0	FALSO
08.01.06.1.bmp	3	3	0	0	VERDADERO
08.01.06.2.bmp	5	3	0	0	FALSO
09.01.01.1.bmp	4	6	0	0	FALSO
10.01.01.1.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
27.01.01.1.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
27.01.01.2.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
27.01.01.3.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
27.01.01.4.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
27.01.02.1.bmp	1	6	0	0	FALSO
27.01.02.2.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
28.16.01.1.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
28.16.08.2.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
28.16.08.3.bmp	1	6	0	0	FALSO
28.17.01.1.bmp	2	2	2	0	VERDADERO
28.17.01.2.bmp	2	2	0	2	VERDADERO
28.17.01.3.bmp	4	6	0	0	FALSO
28.17.01.4.bmp	6	6	0	0	VERDADERO

Estado	AR	%
CORRECTO	18	60,00
INCORRECTO O ERROR	12	40,00

Los valores obtenidos indican que tenemos 60% de aciertos y un 40% de fallos. Estos fallos pueden deberse a errores de captura, es decir, de posición o brillos que dan resultados erróneos, en las siguientes imágenes se puede apreciar alguno de estos errores:

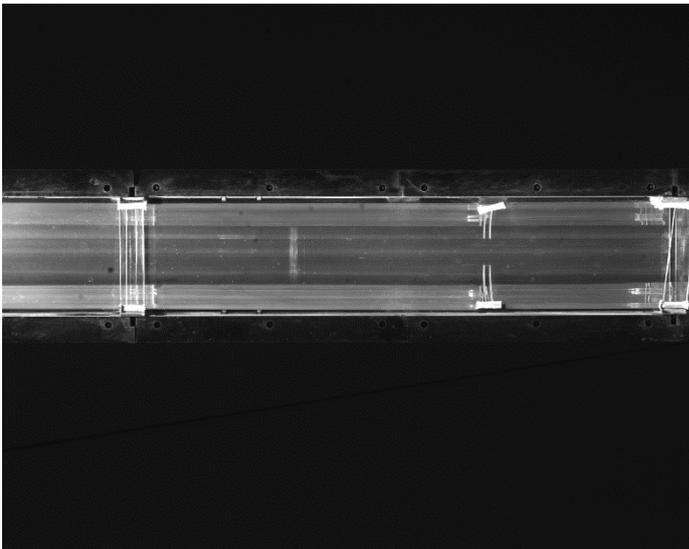
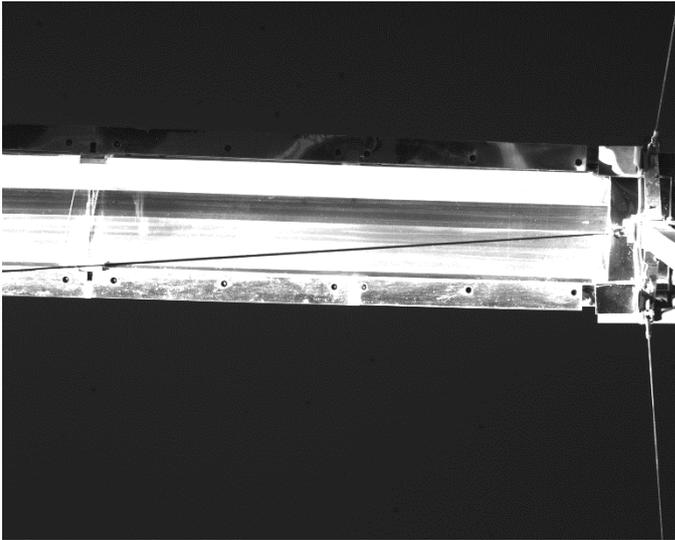


Figura 64.- Cristal AR

- AR: 02.01.01.2.bmp
  - Estado real: 2
  - Estado algoritmo: 5



- AR: 07.01.01.4.bmp
  - Estado real: 2
  - Estado algoritmo: 1

Figura 65.- Cristal AR

El indicador P o P2 avisa de que, aunque no haya salido coincidencia entre el resultado del algoritmo y el real, se tiene un cristal de junta movido. Por ejemplo, el AR 02.01.01.2.bmp:

AR	Estado algoritmo	Estado real	n	n2	Coincidencia
02.01.01.2.bmp	5	2	0	2	FALSO

Figura 66.- Indicador de "Junta Moviada"

- Tiempo de exposición: 1000

*Tabla 5.- Tiempo de exposición 1000*

AR	Estado algoritmo	Estado real	p	p2	Coincidencia
08.01.06.1-1000.bmp	3	3	0	0	VERDADERO
08.01.06.2-1000.bmp	5	3	0	0	FALSO
11.01.02.1-1000.bmp	4	6	0	0	FALSO
11.01.02.2-1000.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
11.01.02.3-1000.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
11.01.03.1-1000.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
11.01.03.2-1000.bmp	4	6	0	0	FALSO
13.01.02.1-1000.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
13.01.02.2-1000.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
13.01.02.3-1000.bmp	1	6	0	0	FALSO
13.01.03.2-1000.bmp	4	2	0	2	FALSO
13.01.03.3-1000.bmp	7	6	0	0	FALSO
13.01.03.4-1000.bmp	3	6	0	0	FALSO
15.18.05.1-1000.bmp	4	6	0	0	FALSO
15.18.05.2-1000.bmp	1	6	0	0	FALSO
15.18.05.4-1000.bmp	1	6	0	0	FALSO
15.18.06.1-1000.bmp	1	6	0	0	FALSO
15.18.06.2-1000.bmp	1	6	0	0	FALSO
15.18.06.3-1000.bmp	1	6	0	0	FALSO
15.18.06.4-1000.bmp	1	6	0	0	FALSO
27.01.01.1-1000.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
27.01.01.2-1000.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
27.01.01.3-1000.bmp	1	6	0	0	FALSO
27.01.01.4-1000.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
27.01.02.1-1000.bmp	1	6	0	0	FALSO
27.01.02.2-1000.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
28.16.08.1-1000.bmp	1	6	0	0	FALSO
28.16.08.2-1000.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
28.16.08.3-1000.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
28.16.08.4-1000.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
28.17.01.1-1000.bmp	2	2	2	0	VERDADERO
28.17.01.2-1000.bmp	2	2	0	2	VERDADERO
28.17.01.3-1000.bmp	2	6	0	0	FALSO
28.17.01.4-1000.bmp	6	6	0	0	VERDADERO

Estado	AR	%	
CORRECTO		16	47,06
INCORRECTO O ERROR		18	52,94

- Tiempo de exposición: 1500

*Tabla 6.-Tiempo de exposición 1500*

AR	Estado algoritmo	Estado real	p	p2	Coincidencia
08.01.06.1-1500.bmp	1	3	0	0	FALSO
08.01.06.2-1500.bmp	1	3	0	0	FALSO
27.01.01.1-1500.bmp	4	6	0	0	FALSO
27.01.01.2-1500.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
27.01.01.3-1500.bmp	1	6	0	0	FALSO
27.01.01.4-1500.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
27.01.02.1-1500.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
27.01.02.2-1500.bmp	1	6	0	0	FALSO
28.16.08.1-1500.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
28.16.08.2-1500.bmp	2	6	2	0	FALSO
28.16.08.3-1500.bmp	1	6	0	0	FALSO
28.16.08.4-1500.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
28.17.01.1-1500.bmp	2	2	2	0	VERDADERO
28.17.01.2-1500.bmp	2	2	0	2	VERDADERO
28.17.01.3-1500.bmp	2	2	0	2	VERDADERO
28.17.01.4-1500.bmp	1	6	0	0	FALSO

Estado	AR	%
CORRECTO	8	53,33
INCORRECTO O ERROR	8	53,33

- Tiempo de exposición: 1000, 2000, 2500

*Tabla 7.-Tiempo de exposición: 1000, 2000, 2500*

AR	Estado algoritmo	Estado real	p	p2	Coincidencia
08.01.06.1-1000.bmp	1	3	0	0	FALSO
08.01.06.1-2000.bmp	3	3	0	0	VERDADERO
08.01.06.1-2500.bmp	1	3	0	0	FALSO
08.01.06.2-2000.bmp	1	3	0	0	FALSO
08.01.06.2-2500.bmp	5	3	0	0	FALSO
13.01.02.1-1000.bmp	1	6	0	0	FALSO
13.01.02.1-2000.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
13.01.02.1-2500.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
13.01.02.2-1000.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
13.01.02.2-2000.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
13.01.02.2-2500.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
13.01.02.3-1000.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
13.01.02.3-2000.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
13.01.02.3-2500.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
13.01.02.4-2500.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
15.18.05.1-1000.bmp	1	6	0	0	FALSO
15.18.05.1-2000.bmp	3	6	0	0	FALSO
15.18.05.1-2500.bmp	1	6	0	0	FALSO
15.18.05.2-1000.bmp	1	6	0	0	FALSO
15.18.05.2-2000.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
15.18.05.2-2500.bmp	6	6	0	0	VERDADERO

Estado	AR	%
CORRECTO	12	57,14
INCORRECTO O ERROR	9	42,86

- Diferentes tiempos de exposición:
  - 16 de enero 2017

*Tabla 8.- Resultados: 16 enero 2017*

AR	Estado algoritmo	Estado real	p	p2	Coincidencia
01.01.01.1.1800.750.bmp	3	3	0	0	VERDADERO
01.01.01.1.1800.800.bmp	3	3	0	0	VERDADERO
01.01.01.1.1800.850.bmp	1	3	0	0	FALSO
01.01.01.1.1800.900.bmp	1	3	0	0	FALSO
01.01.01.1.1800.950.bmp	3	3	0	0	VERDADERO
01.01.01.1.1900.750.bmp	3	3	0	0	VERDADERO
01.01.01.1.1900.800.bmp	3	3	0	0	VERDADERO
01.01.01.1.1900.850.bmp	3	3	0	0	VERDADERO
01.01.01.1.1900.900.bmp	1	3	0	0	FALSO
01.01.01.1.1900.950.bmp	1	3	0	0	FALSO
01.01.01.1.2000.750.bmp	1	3	0	0	FALSO
01.01.01.1.2000.800.bmp	1	3	0	0	FALSO
01.01.01.1.2000.850.bmp	3	3	0	0	VERDADERO
01.01.01.1.2000.900.bmp	1	3	0	0	FALSO
01.01.01.1.2000.950.bmp	1	3	0	0	FALSO
01.01.01.1.2100.750.bmp	1	3	0	0	FALSO
01.01.01.1.2100.800.bmp	3	3	0	0	VERDADERO
01.01.01.1.2100.850.bmp	1	3	0	0	FALSO
01.01.01.1.2100.900.bmp	1	3	0	0	FALSO
01.01.01.1.2100.950.bmp	3	3	0	0	VERDADERO
01.01.01.2.1800.850.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
01.01.01.2.1800.900.bmp	1	6	0	0	FALSO
01.01.01.2.1800.950.bmp	1	6	0	0	FALSO
01.01.01.2.1900.750.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
01.01.01.2.1900.800.bmp	4	6	0	0	FALSO
01.01.01.2.1900.850.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
01.01.01.2.1900.900.bmp	1	6	0	0	FALSO
01.01.01.2.1900.950.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
01.01.01.2.2000.750.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
01.01.01.2.2000.800.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
01.01.01.2.2000.900.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
01.01.01.2.2000.950.bmp	1	6	0	0	FALSO
01.01.01.2.2100.750.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
01.01.01.2.2100.800.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
01.01.01.2.2100.850.bmp	1	6	0	0	FALSO
01.01.01.2.2100.900.bmp	1	6	0	0	FALSO
01.01.01.2.2100.950.bmp	6	6	0	0	VERDADERO

Estado	AR	%
CORRECTO	19	51,35
INCORRECTO	18	48,65

- 27 de enero del 2017

Tabla 9.- Resultados: 27 enero 2017

AR	Estado algoritmo	Estado real	p	p2	Coincidencia
28.16.08.1-1500.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
28.16.08.2-1500.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
28.17.01.1-830.bmp	2	2	2	0	VERDADERO

Estado	AR	%
CORRECTO	3	100,00
INCORRECTO	0	-

- 14 de febrero 2017

Tabla 10.- Resultados: 14 de febrero 2017

AR	Estado algoritmo	Estado real	p	p2	Coincidencia
01.01.01.1-954-1757.bmp	1	6	0	0	FALSO
01.01.01.1-954-1922.bmp	1	6	0	0	FALSO
01.01.01.1-954-2100.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
01.01.01.2-954-1757.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
01.01.01.2-954-1922.bmp	1	6	0	0	FALSO
01.01.01.2-954-2100.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
01.01.01.3-954-1757.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
01.01.01.4-954-1757.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
01.01.01.4-954-1922.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
01.01.01.4-954-2100.bmp	6	6	0	0	VERDADERO

Estado	AR	%
CORRECTO	7	70,00
INCORRECTO	3	30,00

- Capturas realizadas en primavera:
  - Piezas de junta: se ha elegido una serie de imágenes de diferentes fechas de primavera para comprobar que el análisis de imágenes se realiza correctamente. Estos valores no se tendrán en cuenta para las conclusiones.

*Tabla 11.- Piezas de Junta*

AR	Estado algoritmo	Estado real	p	p2	Coincidencia
01.01.01.1.bmp	3	3	0	0	VERDADERO
01.01.01.2.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
01.01.01.3.bmp	6	3	0	0	FALSO
01.01.01.4.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
02.01.01.1.bmp	3	3	0	0	VERDADERO
03.01.01.1.bmp	4	6	0	0	FALSO
03.01.01.2.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
03.01.01.3.bmp	5	6	0	0	FALSO
04.01.01.1.bmp	2	2	2	0	VERDADERO
05.01.01.1.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
05.01.01.2.bmp	5	4	2	2	FALSO
06.01.01.2.bmp	7	7	0	0	VERDADERO
06.01.01.3.bmp	5	5	0	0	VERDADERO
07.01.01.2.bmp	5	2	0	2	FALSO
07.01.01.3.bmp	2	2	2	0	VERDADERO
08.01.01.2.bmp	6	3	0	0	FALSO
08.01.01.3.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
09.01.01.2.bmp	6	3	0	0	FALSO

Estado	AR	%
CORRECTO	11	61,11
INCORRECTO	7	38,89

- 12 de abril 2017

Tabla 12.- Resultados: 12 de abril 2017

AR	Estado algoritmo	Estado real	p	p2	Coincidencia
01.01.01.1.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
01.01.01.2.bmp	6	6	0	2	VERDADERO
01.01.01.3.bmp	1	6	0	0	FALSO
02.01.01.1.bmp	2	2	0	0	VERDADERO
02.01.01.2.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
02.01.01.4.bmp	1	6	0	0	FALSO
03.01.01.1.bmp	1	6	0	0	FALSO
03.01.01.2.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
03.01.01.3.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
04.01.01.1.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
04.01.01.2.bmp	1	6	0	0	FALSO
04.01.01.3.bmp	1	6	0	0	FALSO
04.01.01.4.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
05.01.01.1.bmp	1	6	0	0	FALSO
05.01.01.2.bmp	1	6	0	0	FALSO
05.01.01.3.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
05.01.01.4.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
07.01.01.1.bmp	3	3	0	0	VERDADERO
07.01.01.2.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
07.01.01.3.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
07.01.01.4.bmp	1	3	0	0	FALSO
08.01.01.1.bmp	2	2	2	0	VERDADERO
08.01.01.2.bmp	3	3	0	0	VERDADERO
08.01.01.3.bmp	5	2	0	2	FALSO
08.01.01.4.bmp	2	2	0	2	VERDADERO
09.01.01.1.bmp	1	6	0	0	FALSO
09.01.01.2.bmp	5	5	0	0	VERDADERO
09.01.01.3.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
09.01.01.4.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
10.01.01.2.bmp	1	6	0	0	FALSO
10.01.01.4.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
11.01.01.2.bmp	1	6	0	0	FALSO

Estado	AR	%
CORRECTO	20	62,50
INCORRECTO O ERROR	12	37,50

- 09 de mayo 2017

*Tabla 13.- Resultados: 9 de mayo 2017*

AR	Columna1	Estado real	p	p2	Coincidencia
01.01.01.1.bmp	1	6	0	0	FALSO
01.01.01.2.bmp	1	6	0	0	FALSO
01.01.01.3.bmp	5	6	0	0	FALSO
01.01.01.4.bmp	1	6	0	0	FALSO
02.01.01.1.bmp	3	3	0	0	VERDADERO
02.01.01.2.bmp	3	3	0	0	VERDADERO
02.01.01.3.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
02.01.01.4.bmp	4	6	0	0	FALSO
03.01.01.2.bmp	1	6	0	0	FALSO
03.01.01.3.bmp	1	6	0	0	FALSO
04.01.01.2.bmp	4	6	0	0	FALSO
04.01.01.3.bmp	5	6	0	0	FALSO

Estado	AR	%
CORRECTO	3	25,00
INCORRECTO	9	75,00

- 16 de mayo 2017

Tabla 14.- Resultados: 16 mayo 2017

AR	estado algoritmo	Estado real	p	p2	Coincidencia
01.01.01.1.bmp	3	6	0	0	FALSO
01.01.01.2.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
01.01.01.3.bmp	1	6	0	0	FALSO
01.01.01.4.bmp	1	6	0	0	FALSO
02.01.01.1.bmp	1	6	0	0	FALSO
02.01.01.2.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
02.01.01.3.bmp	6	6	0	0	VERDADERO
02.01.01.4.bmp	1	6	0	0	FALSO
03.01.01.1.bmp	3	6	0	0	FALSO
03.01.01.2.bmp	4	6	0	0	FALSO
03.01.01.3.bmp	1	6	0	0	FALSO
03.01.01.4.bmp	3	6	0	0	FALSO
04.01.01.1.bmp	3	6	0	0	FALSO
04.01.01.2.bmp	5	6	0	0	FALSO
04.01.01.3.bmp	1	6	0	0	FALSO
05.01.01.2.bmp	1	6	0	0	FALSO

Estado	AR	%
CORRECTO	3	18,75
INCORRECTO	13	81,25



## **CAPÍTULO 6**

# **Conclusiones y futuras líneas de desarrollo**



## 6. CONCLUSIONES Y FUTURAS LINEAS DE DESARROLLO

### 6.1. Conclusiones

Los resultados obtenidos usando el algoritmo muestran que:

- Los brillos producidos en las diferentes estaciones afectan a los resultados, cambiando totalmente la apariencia del cristal.
- La variación del tiempo de exposición permite obtener mejores resultados, en invierno el tiempo de exposición no es muy significativo, ya que se obtienen buenos resultados con valores desde 830 hasta 2500, el número de aciertos fue bueno.
- El tiempo de exposición en primavera varía, aun así, hasta el mes de abril se nota buen porcentaje de aciertos considerando un tiempo de exposición de hasta 1000. A partir de abril el porcentaje de aciertos cambia, dando mayores errores en el análisis de las imágenes. Esta variación se debe a que la radiación en primavera es mucho mayor que en invierno, provocando más brillos y dificultando el análisis de las imágenes. Estos fallos pueden generar que la imagen no sea analizada correctamente o que imposibilite su análisis completamente.

En la siguiente tabla vemos los porcentajes de aciertos y de errores de las imágenes hechas durante, el invierno y la primavera.

Fecha de captura	%Correctas	%Incorrectas	%Error
21/12/2016	58,06	12,90	29,03
26/12/2016	47,06	23,53	29,41
27/12/2016	50,00	12,50	37,50
30/12/2016	65,52	10,34	24,14
16/01/2017	51,35	2,70	45,95
27/01/2017	100,00	0,00	0,00
14/02/2017	70,00	0,00	30,00
12/04/2017	72,73	2,27	25,00
08/05/2017	12,50	18,75	68,75
09/05/2017	25,00	33,33	41,67
16/05/2017	18,75	37,50	43,75
22/05/2017	0,00	27,27	72,73



Teniendo esto en cuenta, se puede considerar que con el algoritmo creado obtenemos gran cantidad de aciertos en invierno por lo que el análisis de los cristales AR deberá realizarse en esta época del año para lograr más exactitud en los resultados, el tiempo de exposición debería estar entre 900 y 1500. Se necesita buscar un modo de reducir los brillos en las imágenes para que el porcentaje de aciertos aumente. Moviendo el tiempo de exposición se logran grandes mejoras, pero la eliminación del brillo es crucial para mejorar los resultados.

## 6.2. Futuras líneas de desarrollo

Este trabajo de fin de grado ha sido una aproximación al problema presentado y es necesario seguir con el estudio, realizar más pruebas en invierno donde se detectaron menos errores y buscar otras técnicas para realizar el análisis. Sería necesario continuar investigando cómo eliminar o reducir los brillos procedentes de la radiación solar para mejorar los resultados y aumentar el número de aciertos.

Otro punto importante sería montar la plataforma para que pueda ser usada por la empresa para hacer pruebas in situ y en tiempo real. Hasta el momento se han colocado todos los elementos en la plataforma, pero no se mueve de forma autónoma.

Como opción para detectar la ausencia del cristal se considera una cámara termográfica con la cual se puede detectar el estado real. Con esta cámara no se podrá detectar la posición o la ausencia de piezas de junta, pero podría servir para proporcionar mayor información y conseguir mejores resultados.

A continuación, se muestran capturas realizadas con esta cámara. Claramente se ve la ausencia del cristal en las zonas marcadas de color rojo donde la temperatura es mayor. En las partes donde no hay ausencia de cristal AR se aprecia el color amarillo.



Figura 67.- Captura con imagen termográfica



Figura 68.- Captura con imagen termográfica

## 7. BIBLIGRAFÍA

- R.C. Gonzalez, R.E. Woods, S.L. Eddins, Digital Image Processing using Matlab, Prentice Hall, New York, 2004.
- Información de Planta de concentración solar tipo Fresnel  
<http://patentados.com/patente/planta-concentracion-solar-tipo-fresnel-reconcentrador-secundario/>
- <http://iaci.unq.edu.ar/materias/vision/archivos/apuntes/Aspectos%20de%20un%20Proyecto%20de%20Visi%C3%B3n%20Artificial.pdf>
- Diseño de un concentrador solar lineal tipo Fresnel de baja entalpía para calor de procesos  
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/energias-renovables/temas/termoelectrica/revision/revision.html>

## 8. ANEXOS

### 8.1. MATLAB

#### 8.1.1. Detectores de bordes

Los detectores de bordes son métodos locales de procesamiento de imagen, diseñados para detectar los píxeles que forman parte de los bordes. Una línea se considera que es un borde cuando la intensidad del fondo a cada lado de ella es mucho mayor o mucho menor que su propia intensidad.

Los cambios abruptos de intensidad pueden ser detectados de forma efectiva utilizando derivadas, especialmente la primera y segunda derivada. Las derivadas de funciones digitales están basadas en diferencias puesto que se emplean aproximaciones. De esta forma, dada una función unidimensional  $f(x)$ , la primera y segunda derivada en un punto  $x$ , vienen dadas por las siguientes aproximaciones:

$$\frac{\delta f(x)}{\delta x} = f(x + 1) - f(x)$$
$$\frac{\delta^2 f(x)}{\delta x^2} = f(x + 1) + f(x - 1) - 2f(x)$$

Las ecuaciones (6.1) y (6.2), cumplen las siguientes propiedades:

- La primera derivada debe ser cero en áreas de intensidad constante y distinta de cero en el comienzo y final de un salto o variación de la intensidad, así como a lo largo de una rampa de intensidad.
- La segunda derivada debe ser cero en áreas de intensidad constante, distinta de cero en el comienzo y final de un salto o variación de intensidad y cero a lo largo de una rampa de intensidad.

Por lo tanto, el uso de las derivadas en la detección de bordes hace que se obtengan las siguientes conclusiones:

- La primera derivada generalmente detecta bordes muy gruesos.
- La segunda derivada detecta con mayor facilidad detalles finos como son puntos aislados y líneas, pero también es muy sensible al ruido.

- La segunda derivada muestra una respuesta de borde doble en las transiciones de intensidad.
- El signo de la segunda derivada indica si la transición en un borde va de claro a oscuro o viceversa.

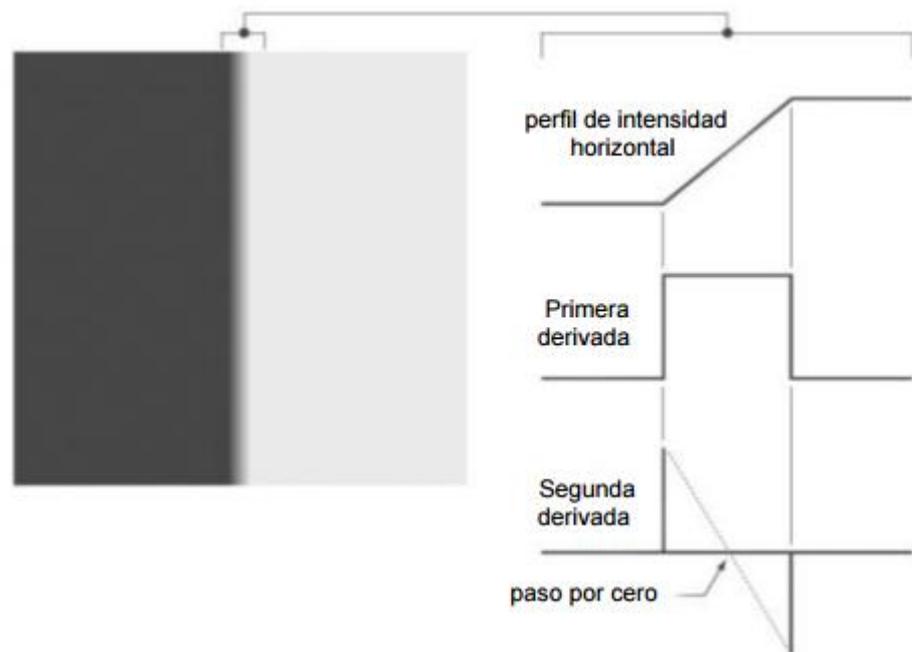


Ilustración 1.- Detección de bordes

Se muestra un ejemplo de cómo se detecta un borde en una transición de intensidad de gris oscuro a gris claro. La primera derivada detecta un borde (la zona en que la derivada es distinta de cero) y la segunda derivada confirma el borde añadiendo la información de que la transición se ha producido del oscuro al claro (al pasar la segunda derivada de tener signo positivo al comienzo de la transición a tener signo negativo al final de la transición).

La aplicación de las derivadas al procesado de imágenes, se puede realizar a través del uso de máscaras y del filtrado espacial. Dependiendo del tipo de método utilizado para detectar bordes los coeficientes de la máscara de filtrado tendrán valores distintos y se utilizarán distintos tipos de filtros.

### 8.1.2. Métodos de detección de bordes en la función edge

La función Edge tiene como entrada una imagen en escala de grises o binaria (I) y como salida produce una imagen binaria (BW) del mismo tamaño que la original con 1's donde la función ha encontrado bordes, y 0's en el resto. Una imagen en escala de grises se puede convertir en una imagen binaria umbralizando los niveles de gris a sólo 2 niveles: blanco y negro. Así en las imágenes binarias, un borde corresponde a un cambio del nivel de intensidad de 1 a 0 y viceversa.

La sintaxis general de la función Edge es la siguiente:

- `[BW, thresh]=edge (I)`
- `[BW, thresh]=edge (I, 'método', parámetros)`

Con la primera notación se utiliza el método por defecto, que es el de Sobel, y como salida se obtiene una imagen binaria con los bordes según el umbral utilizado (thresh). Con la segunda notación, se especifica el método que se quiere emplear para la detección y los valores de los parámetros adicionales. Entre los parámetros que se pueden especificar con estos métodos se encuentran:

- El umbral: por debajo de su valor se ignoran los bordes obtenidos
- La dirección de detección: se puede escoger entre detección horizontal, vertical y ambas direcciones.

Si no se especifican estos parámetros, se toman los valores por defecto. De esta forma, el valor del umbral se elige de forma automática y la detección se realiza en dirección horizontal y vertical.

## 8.2. RADIACIÓN

La Radiación Solar es un fenómeno físico debido a la emisión de energía por parte del sol en forma de radiaciones electromagnéticas. Estas radiaciones pueden ser cuantificadas y se expresan en unidades de irradiancia, una unidad que refleja su potencia por unidad de superficie. Una característica particular de la radiación es que se trata de una forma de energía que puede ser transmitida en el vacío, lo cual hace que sean capaces de atravesar el espacio.

La cantidad de radiación solar que llega a nuestro planeta depende de factores como la distancia entre la tierra y el sol, la dirección o el ángulo en que estas radiaciones entran a la atmosfera y los movimientos que normalmente tiene la tierra de rotación y traslación.

Estas radiaciones electromagnéticas son ondas que se originan por la aceleración de las cargas eléctricas, una vez que llegan a la tierra se estima que solo la mitad parte logra alcanzar la superficie terrestre, bien sea de forma directa o al ser dispersada por la atmósfera. El resto de las radiaciones son absorbidas o dispersadas por elementos terrestres o bien se pierden en el espacio. Uno de los componentes atmosféricos relacionados con la absorción de estas radiaciones, especialmente en el espectro ultravioleta, es el ozono.

### 8.2.1. Efecto del ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la irradiancia

La intensidad de la luz del Sol que llega a la superficie terrestre (Irradiancia) disminuye cuando el sol se aleja de la posición vertical (zenit). Esto ocurre para dos razones:

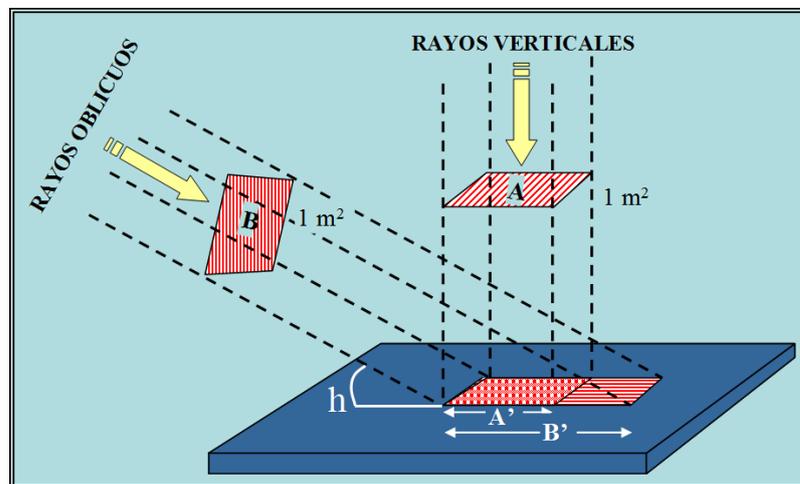
- Variaciones en la extensión del área radiada: Conforme el Sol se aleja del zenit ( $h < 90^\circ$ ) los rayos solares se proyectan sobre el plano aumentando el área irradiada mientras se mantiene un flujo de energía constante.
- Longitud del camino recorrido. La longitud del camino que recorre el rayo de Sol aumenta conforme disminuye la altura solar y como se desplaza a través de un

grosor más grande de atmósfera también aumenta la pérdida de energía por absorción y reflexión

Las flechas amarillas representan el flujo de radiación solar en el plano horizontal (I<sub>0</sub>). Si los rayos solares caen verticalmente sobre la superficie terrestre, la intensidad de la radiación es mayor que si lo hacen oblicuamente, pues el mismo flujo de radiación se ha de repartir sobre una superficie mayor.

**La irradiancia (*I*) en el plano inclinado depende de la altura solar (*h*):**

$$I = I_0 \cdot \text{sen } h$$



La radiación solar calienta la superficie terrestre con mayor o menor efectividad en función de la altura del Sol sobre el horizonte.

Cuando un haz de radiación solar, con una sección de 1 m<sup>2</sup>, alcanza el suelo durante el Solsticio de Verano a una latitud de 40° N, ésta se reparte sobre un área de 1.04 m<sup>2</sup>, mientras que durante el Solsticio de Invierno lo hace sobre un área de 2.24 m<sup>2</sup>.

Durante el invierno, 1 m<sup>2</sup> de superficie terrestre recibe menos de la mitad de la energía que recibe durante el verano, razón por la cual el ambiente resulta más frío.

