

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR D'ALCOI

Control de calidad de blíster con Visión Artificial

Trabajo Fin de Grado

[Grado en Ingeniería Eléctrica]

Autor: Ana Carmen Escolano Martí

Tutor: Manuel Llorca Alcón.

Curso: 2015-16

Índice

1.	Resumen.....	4
2.	Introducción	5
2.1.	Descripción general.....	5
2.2.	Objetivos.	6
3.	Información previa	7
3.1.	Normativa componentes eléctricos en la industria farmacéutica.....	7
3.2.	Normativa de seguridad y salud.....	10
3.3.	Productos a inspeccionar – especificaciones del control de calidad.	11
4.	Descripción detallada de la estación de inspección.....	14
4.1.	Sistema a implementar	14
4.2.	Elección de los componentes del sistema de control	17
4.3.	Conceptos visión	19
4.4.	Elección de los componentes del sistema de visión.	36
5.	Presupuesto sistema de visión artificial para detección de blísteres.....	44
6.	Pruebas de Laboratorio.....	49
6.1.	Montaje	49
6.2.	Instalación de software y configuración de cámara	50
6.3.	Interferencias lumínicas.....	52
6.4.	Capturas de imagen.....	55
	Producto 1: Blíster pastillas Acfol.....	56
	Producto 2: Blíster pastillas Enalapril.....	58
	Producto 3: Blíster pastillas Fortasec.....	60
	Producto 4 : Blíster pastillas Frenagar	62
7.	Procesado de la imagen	64
	Producto 1: Blíster pastillas Acfol.....	64
	Producto 2: Blíster pastillas Enalapril.....	75
	Producto 3: Blíster pastillas Fortasec.....	81
	Producto 4: Blíster pastillas Franagar	88

8. Conclusiones.....	94
8.1. Acadèmicas.....	94
8.2. Personales.....	94
9. Agradecimientos	95
10. Bibliografía	96
11. Anexos	97

1. Resumen

El presente documento recoge la información necesaria para la aplicación de un sistema de control de calidad de un producto perteneciente a la industria farmacéutica mediante la aplicación de la tecnología de la visión artificial.

Resum

El present document arreplega la informació necessària per l'aplicació d'un sistema de control de qualitat d'un producte que pertany a la indústria farmacéutica mitjançant l'aplicació de la tecnologia de la visió artificial.

Abstract

The following document is about the required information of a quality control system for specific products in the pharmaceutical industry. The quality control system is based on the technology of machine vision.

2. Introducción

El control de la calidad en el envasado de los productos en la industria farmacéutica ha de ser exhaustivo para asegurar un producto de alta calidad y comprobar que la serigrafía proporciona siempre la información mínima obligatoria.

2.1. Descripción general

En el presente proyecto, se recoge el desarrollo de un sistema de visión artificial para la inspección y supervisión de blísteres de pastillas con base de PVC y aluminio. Dicho sistema debe realizar un control de calidad para detectar cualquiera de las anomalías que se encuentren en las especificaciones del cliente.

El producto a inspeccionar en este sistema serán los blísteres de pastillas, los cuales viajarán por una cinta transportadora en la que un sistema de visión realizará el control de calidad de los mismos. El sistema tiene que ser capaz de detectar el paso del blíster, capturar una imagen y procesarla para verificar la validez del producto.

Concretamente, el recorrido del blíster a lo largo del sistema de inspección será el siguiente;

En el comienzo, el producto se dirigirá hacia el sistema de visión, donde será detectado por un sensor fotoeléctrico o fotocélula, el cual mandará una señal al PLC de detección de producto, que remitirá la señal sincronizada de Trigger a la cámara e iluminación para que estos realicen la captura de la imagen. Tras la adquisición de la imagen, esta será recibida por el PC industrial, donde se procederá al análisis de las imágenes mediante el procesado programado. Tras el mismo, el sistema detectará si existe algún tipo de anomalía en el producto inspeccionado y devolverá una señal en consecuencia al PLC.

Si tras el análisis el resultado es favorable, el producto continuará su recorrido hacia los posteriores procesos de embalaje y envío. Si por el contrario el producto tiene algún defecto, será apartado de su trayectoria normal mediante un sistema de aire comprimido accionado por el PLC, el cual lo expulsará hacia un contenedor para su posterior tratamiento.

El recorrido realizado por el producto, puede verse con detalle en la figura nº 2 presente en el apartado [“4.1.2.-Esquema de interconexión de los elementos del sistema”](#) del presente documento.

2.2. Objetivos.

El presente documento tiene como objetivo desarrollar un sistema de control de calidad en el proceso de envasado, con el fin de cumplir y satisfacer las exigentes necesidades de producción en la industria farmacéutica, para elaborar un producto de calidad de forma rápida y eficiente, asegurando siempre que el cliente final no recibe un producto con deficiencias en su envasado. Todo ello mediante el uso de las últimas tecnologías desarrolladas en visión artificial.

Con el fin de satisfacer dichos objetivos, se desarrollan los puntos clave para la elección e implantación del sistema adecuándolo a las necesidades del producto.

3. Información previa

3.1. Normativa componentes eléctricos en la industria farmacéutica.

La industria farmacéutica posee singularidades debido a las características del producto y de los requerimientos para su producción.

Existen situaciones peligrosas que se podrían ocasionar si no se cumplieran las normas específicas que en el siguiente escrito se detallan. Consideraciones aplicables tanto a nivel de proyecto como a nivel del personal involucrado en el mismo.

Acudimos a la guía técnica de aplicación (del 29 de julio) en la que se desarrollan las prescripciones particulares para las instalaciones eléctricas de los locales con riesgo de incendio o explosión, en la que de acuerdo al punto 4.2.-'Ejemplos de emplazamientos peligrosos' de dicha normativa encontramos que las 'Zonas de trabajo y manipulación de industrias químicas y farmacéuticas en las que se produce polvo' están consideradas zonas de emplazamientos peligrosos.

Por tanto y de acuerdo al punto 5 de dicha guía, 'los equipos eléctricos y los sistemas de protección y sus componentes destinados a su empleo en emplazamientos comprendidos en el ámbito de ésta instrucción, deberán cumplir las condiciones que se establecen en el R.D. 400/1996 de 1 de Marzo'.

Por el real decreto 400/1996 de 1 de Marzo por el que se dicta las disposiciones de aplicación relativa a los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente peligrosas, y de acuerdo al punto 1. 'Requisitos comunes relativos a los aparatos y a los sistemas de protección' del anexo II, los requisitos a tener en cuenta en el presente proyecto serán los correspondientes al punto 7 de dicho apartado 'Requisitos de seguridad del sistema'.

1. Deberán poder desconectarse de forma manual todos los aparatos y sistemas de protección incluidos en procesos automáticos en las situaciones en las que el funcionamiento se aleje del previsto. Se aplicará siempre que ello no sea contrario a las buenas condiciones de seguridad.
2. La energía almacenada deberá disiparse de la manera más rápida y segura posible cuando se accionen los dispositivos de desconexión de emergencia, de manera que no constituya un peligro.
3. Los aparatos y sistemas de protección deberán estar equipados con entrada de cables y de conductos adecuados. Cuando los aparatos estén destinados a utilizarse en combinación con otros, las interfaces deberán ser seguras.

Siendo conocedores del tipo de emplazamiento al que el presente proyecto pertenece, se acude al punto 4.1.2 de dicha guía en el que se distingue las zonas pertenecientes a dicha clase de emplazamiento.

En el caso de la industria farmacéutica, se debe seguir las indicaciones pertenecientes a la Zona 21 debido a que pertenece a dichos emplazamientos en los que cabe contar con la formación ocasional, en condiciones normales de funcionamiento, de una atmósfera explosiva en forma de nube de polvo inflamable en el aire.

Esta zona también incluye los lugares en los que se produce vaciado o llenado de polvo. Para dichos emplazamientos se deben de seguir unos pasos para la selección de equipos eléctricos (excluidos cables y conductos) detallados a continuación.

- Punto 1. Caracterizar la sustancia o sustancias implicadas en el proceso.
- Punto 2. Clasificar el emplazamiento en el que se va a instalar el equipo.
- Punto 3. Seleccionar los equipos eléctricos de tal manera que la categoría esté de acuerdo a las limitaciones de la tabla 2 y que estos cumplan con los requisitos que les sea de aplicación.
- Punto 4. Instalar el equipo de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Tabla 2: Categorías de equipos admisibles para atmósferas con polvo explosivo.

Categoría del equipo	Zonas en que se admiten
Categoría 1	20, 21 y 22
Categoría 2	21 y 22
Categoría 3	22

Figura nº 1. Categorías de equipos admisibles para atmósferas con polvo explosivo.

De acuerdo con la tabla 2 'Categoría de equipos admisibles para atmósferas con polvo explosivo' de la guía BT del 29 de julio (representada en la Figura nº 1), se conoce que la zona correspondiente al presente proyecto será de categoría 2. Pertenecen a esta categoría los aparatos diseñados para poder funcionar en las condiciones prácticas fijadas por el fabricante y asegurar un alto nivel de protección.

Otras especificaciones presentes en esta guía técnica y que se deben de tener en cuenta en la elaboración del presente proyecto son las siguientes:

Pertenciente al punto 9 de la guía en la que se dictan las generalidades de los sistemas de cableado, 'Las entradas de los cables y de los tubos a los aparatos eléctricos se realizarán de acuerdo con el modo de protección previsto. Los orificios de los equipos eléctricos para entradas de cables o tubos que no se utilicen deberán cerrarse mediante piezas acordes con el modo de protección de que vayan dotados dichos equipos.'

Además, la intensidad admisible en los conductores deberá disminuirse en un 15% respecto al valor correspondiente a una instalación convencional.

Todos los cables de longitud igual o superior a 5 m estarán protegidos contra sobrecargas y cortocircuitos.

Finalmente, se deberá cumplir el requisito presente en el punto nº 9.2 de la guía BT del 29 de julio en relación al cableado que se desarrolla a continuación:

En alimentación de equipos portátiles o móviles, se utilizarán cables con cubierta de policloropreno que sean aptos para servicios móviles y que además, sean flexibles. La utilización de estos cables flexibles se restringirá a lo estrictamente necesario y como máximo a una longitud de 30 m.

3.2. Normativa de seguridad y salud.

A continuaci3n, se desarrollan las normas de seguridad y salud que deben cumplir todo el personal que acceda a la presente industria.

El acceso a las zonas donde se manipulen principios activos potentes ha de ser controlado, con el fin de evitar la entrada de personas no autorizadas que puedan poner en riesgo su salud o la del resto de trabajadores. Para ello es recomendable instalar sistemas de control autom1ticos, tales como lectores de tarjetas o c3digos de identificaci3n personal; adem1s, deben estar se1alizados advirtiendo del riesgo y de la prohibici3n de entrada a personal no autorizado.

Finalmente, en el caso de contratas, la empresa debe asegurarse de que el personal que accede a estas zonas est1 debidamente informado de los riesgos (por ejemplo mediante permisos de trabajo especiales) y que dispone de los equipos de protecci3n individual (EPI) adecuados.

Otro aspecto a tener en cuenta es el vestuario, el acceso a las 1reas donde se manipulen los principios activos se debe realizar a trav1s de vestuarios que permitan al trabajador cambiarse de ropa con el m3nimo riesgo de exposici3n. Para ello se establecer1n procedimientos detallados que definan el modo de vestirse y desvestirse, basados en buenas pr1cticas higi3nicas.

3.3. Productos a inspeccionar – especificaciones del control de calidad.

En el presente apartado, se desarrollan las características del producto a inspeccionar, así como las especificaciones que este debe cumplir para obtener un resultado satisfactorio en la inspección.

Los productos a inspeccionar son blísteres de pastillas, disponemos de cuatro tipos de producto con características constructivas diferentes. Los blísteres están compuestos por una carcasa de plástico, normalmente PVC, de aire a presión formado alrededor de un molde de manera que puede contener el elemento de forma ajustada.

La tarjeta de los blísteres es de color y está diseñada en función del elemento que alojará en su interior. A esta tarjeta se le adhiere el PVC a través de calor y presión, con el fin de activar un adhesivo que contiene la tarjeta de los blísteres.

El control de calidad a realizar será de acuerdo a las especificaciones del cliente que se enuncian a continuación.

Teniendo en cuenta las características de cada producto a inspeccionar, existen unas especificaciones comunes que cada uno de ellos debe cumplir, con el fin de obtener un resultado positivo en la inspección.

- Cada alveolo del blíster, debe contener el número de pastillas para el que está diseñado, siendo un producto erróneo si contiene un número superior o inferior a este.
- Cada alveolo debe estar perfectamente sellado, siendo de especial importancia que no existan roturas en el sello de la tapa de blíster.
- El sistema de inspección debe ser capaz de realizar el análisis de la captura, independientemente del ángulo con el que vengan posicionados los blísteres, bien sean horizontales, verticales o angulares sobre la cinta transportadora, ya que por características constructivas y reutilización del sistema con varios productos, no se puede ajustar el canal por el que se desplaza el producto para cada blíster individualmente.
- El sistema de inspección debe ser capaz de realizar un análisis detallado del blíster inspeccionado, dando como resultado el conteo total de alveolos, incluso si no cuenta con ninguno.

A continuación, se detallan las características de cada uno de los productos a inspeccionar.

Producto 1: Blíster de pastillas “Acfol”

Cantidad: Veintiocho alveolos.

Estructura de los alveolos: Cuatro pastillas en cada fila con un total de siete filas.

Dimensiones blíster: 9.1 x 6.2 cm

Forma pastillas: Circular.

Color pastilla: Amarillo.

Composición blíster: PVC transparente.

Sello de tapa: Papel de aluminio

Producto 2: Blíster de pastillas “Enalapril”

Cantidad: Siete alveolos.

Estructura de los alveolos: Dos filas, la primera con tres alveolos y la segunda con cuatro.

Dimensiones blíster: 10 x 5 cm

Forma pastillas: Circular.

Color pastilla: Blanco.

Composición blíster: PVC opaco.

Sello de tapa: Papel de aluminio con marca y gramaje impresos en él.

Producto 3: Blíster de pastillas “Fortasec”.

Cantidad: Diez alveolos con diez pastillas, con la particularidad de un alveolo alargado separando ambas filas.

Estructura de los alveolos: Dos filas de cinco alveolos cada una. Los alveolos están orientados diagonalmente.

Dimensiones blíster: 9 x 5 cm

Forma pastillas: tipo cápsula

Color pastilla: Rojo.

Composición blíster: PVC incoloro y transparente.

Sello de tapa: papel de aluminio.

Producto 4: Blíster de pastillas “Frenagar”

Cantidad: Diez alveolos con diez pastillas

Estructura de los alveolos: Cinco pastillas en cada fila, habiendo un total de dos filas.

Dimensiones blíster: 9.1 x 6.2 cm

Forma pastillas: circular.

Color pastilla: Blanco.

Composición blíster: PVC transparente.

Sello de tapa: Papel de aluminio

4. Descripción detallada de la estación de inspección

4.1. Sistema a implementar

Todo el análisis necesario debe tomar como máximo 0,05 segundos para permitir cumplir el tiempo de ciclo de la producción (20 blísteres/seg).

4.1.1. Componentes.

El sistema consiste en la integración de los siguientes componentes:

- Un sensor fotoeléctrico para la detección de presencia de blíster.
- El sistema de visión artificial.
 - o Cámara
 - o Iluminación Infrarroja
- Un autómatas programable S7-1200 (PLC) – interconectado a la línea de producción.
- Un PC industrial.
- Un soplador de aire comprimido.

4.1.2. Esquema de interconexión de los elementos del sistema.

La interconexión de los elementos listados en el apartado anterior será la mostrada en la figura nº 2.

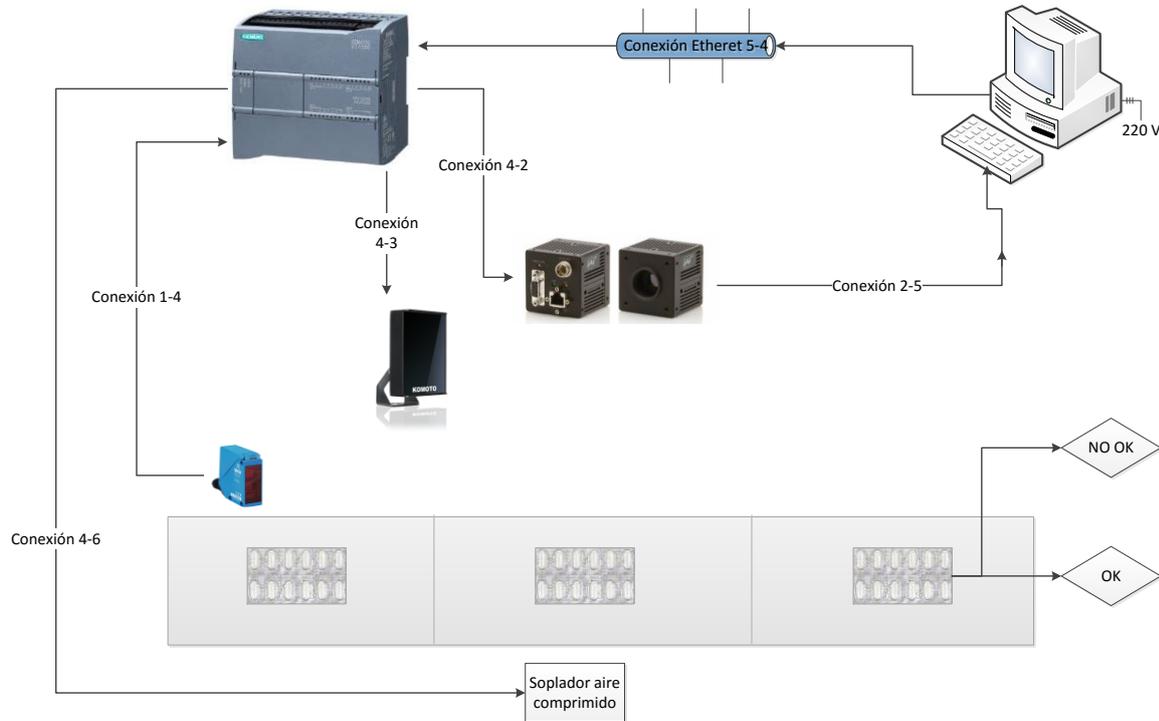


Figura nº 2. Esquema de interconexiones sistema a implementar

1. Fococèlula
2. Càmara
3. Iluminaci3n
4. Aut3mata / PLC
5. PC industrial
6. Soplador aire comprimido

Conexión 1-4 entre el Sensor y el PLC: E/S digitales, para la detección del paso de blíster.

Conexión 4-2 entre el PLC y la Cámara: E/S digitales (Trigger), encargado de la activación de la cámara y captura de la imagen, sincronizado cuando el blíster se encuentra en la posición deseada.

Conexión 4-3 entre el PLC y la Iluminación: E/S digitales (Trigger), encargado de la activación de la iluminación, sincronizado con la señal de que el blíster está en la posición para la inspección.

Conexión 2-5 entre la Cámara y el PC: Protocolo GIG Ethernet para la transferencia de las imágenes capturadas.

Conexión 5-4 entre PC y el PLC: Protocolo Ethernet para el intercambio de señales del resultado de la inspección (OK /NOK).

Conexión 4-6 entre el PLC y el Soplador de aire comprimido: E/S digitales, encargadas de la activación del soplador con el fin de que este retire los blísteres del proceso cuando la inspección de los mismos arroje un “NOK” en el resultado de la inspección.

El Software utilizado para el desarrollo del procesado de la imagen será el asistente de LabVIEW para visión artificial “Vision assistant”.

Con las técnicas adecuadas de iluminación y captura, se consigue realzar las características visuales necesarias para analizar las condiciones que debe cumplir el producto, obteniendo la mejor imagen posible.

4.2. Elección de los componentes del sistema de control

4.2.1. PLC

EL autómata programable escogido será el modelo SIMATIC S7-1214 C de la marca SIEMENS.

Este PLC es compacto, modular y de aplicación versátil, estas características lo hacen idóneo para una completa gama de aplicaciones, además su diseño es escalable y su interfaz de comunicación está a la altura de las máximas exigencias de la industria.

Las principales características por las que se escoge este PLC son las siguientes:

- 8 Entradas digitales, de las cuales se hará uso de una para la conexión con la fotocélula.
- 8 Salidas digitales, de las cuales solo tres serán necesarias para el sistema de visión, más concretamente, dos para el envío de la señal "Trigger" a la cámara e iluminación y una más para el soplador de aire comprimido.
- 2 Entradas analógicas, que no se hará uso de ellas en esta aplicación.
- Ciclo de can de 5 ms, el cual será suficiente para la aplicación de control.
- Módulo de comunicación Ethernet integrado.

Se adjunta el documento perteneciente a las características del autómata en el apartado "[Anexos](#)".

4.2.2. Soplador de aire comprimido.

Se escogerá un soplador compuesto por una válvula de simple efecto (VZWM-L) de la marca Festo de 24 VDC, tipo membrana, de gran caudal y con boquilla de soplado multiplicadora.

Esta válvula posee un accionamiento de tipo eléctrico, y está diseñada para procesos continuos.

El datasheet de dicha electroválvula, así como el de la bobina utilizada se encuentra en el apartado "[Anexos](#)" del presente documento.

4.2.3. Fotocèlula

Se escoge la fotocèlula de la gama de productos V18V de la marca “Sick” debido a las características que posee esta gama y que se enuncian a continuación:

- Su carcasa de acero inoxidable M18 está diseñada para aplicaciones en entornos higiénicos y húmedos.
- Su protección IP 69K es ideal para aplicaciones en industrias como la farmacéutica, alimenticia,.. etc.
- Todos los materiales, incluidos la carcasa, el LED y la lente son resistentes a los productos químicos.
- Es una fotocèlula por reflexión de espejo y de corto alcance, lo que es suficiente para la presente aplicación debido a que el sensor estará situado cerca del objeto a detectar.
- Trabajan con infrarrojos, lo que minimiza las interferencias lumínicas.

Se adjunta el datasheet del producto en el apartado “Anexos”.

4.2.4. PC Industrial

EL PC industrial escogido es el HP EliteDesk 800 G2. Este PC está diseñado para las tareas más exigentes como la desarrollada en el presente proyecto en la cual la rapidez es uno de los factores más importantes. Esto se consigue gracias a la tecnología Intel Core i5-6500 integrada en él.

Otra de las características por las que se escoge dicho PC es su larga durabilidad y su fiabilidad en entornos en los que existe polvo.

4.3. Conceptos visión

A continuación se analizan en detalle los tipos de cámara y de sistemas de iluminación con el fin de escoger los componentes adecuados para el desarrollo de esta aplicación.

4.3.1. Cámara

Las cámaras permiten convertir la energía lumínica en eléctrica y transferir el resultado de dicha conversión.

En las cámaras analógicas estándar, la imagen se compone de dos campos (Fields), uno par y otro impar, que corresponden a las líneas horizontales pares e impares en cada caso. Al entrelazar estos dos campos mediante la tarjeta de adquisición, se forma una sola imagen (Frame). También, existe la posibilidad de realizar la adquisición en modo (Field) en el que se compone la imagen de un solo campo.

En el caso de las cámaras digitales, la imagen la compone el sensor integrado en ella del tipo CCD o CMOS, el cual definimos en el apartado '[Sensor CCD/CMOS](#)' de este documento. El sensor transformará el valor de la descarga en uno digital dependiendo de la intensidad con la que llegue ésta. Estos sensores son los encargados de transportar la información a través del procesador (chip) hasta el conversor analógico-digital, que dependiendo de la cantidad de bits de los que disponga, tendrá un mayor o menor rango dinámico.

La cámara utilizada en el presente proyecto será de tipo digital.

Hoy en día el uso de cámaras analógicas en visión artificial es prácticamente nulo por lo que esta aplicación hará uso de una cámara digital que será escogida basándose en los siguientes criterios:

- Sensor CCD/CMOS
- Tamaño del sensor
- Respuesta espectral

Sensor CCD/CMOS:

Los sensores de imagen son componentes sensibles a la luz que modifican su señal eléctrica en función de la intensidad luminosa que perciben. Existen dos tipos más habituales: Charge couple device (CCD) o Complementary metal oxide semiconductor (CMOS).

Los sensores de tipo CCD son los más utilizados debido a su fácil configuración y manejo. Además, aportan una alta resolución, son resistentes, y pequeños.

Un CCD es una matriz rectangular de miles de semiconductores interconectados. Cada píxel es un elemento fotosensible de estado sólido que genera y almacena una carga eléctrica cuando es iluminado. El píxel o sensor es el bloque básico constructivo de una imagen CCD.

En la mayoría de las configuraciones el sensor incluye una circuitería que almacena y desplaza su carga hacia un registro de desplazamiento. Las cargas de la matriz se desplazan hasta un punto común donde son convertidas a tensión y esta se amplifica de manera que el resultado es homogéneo.

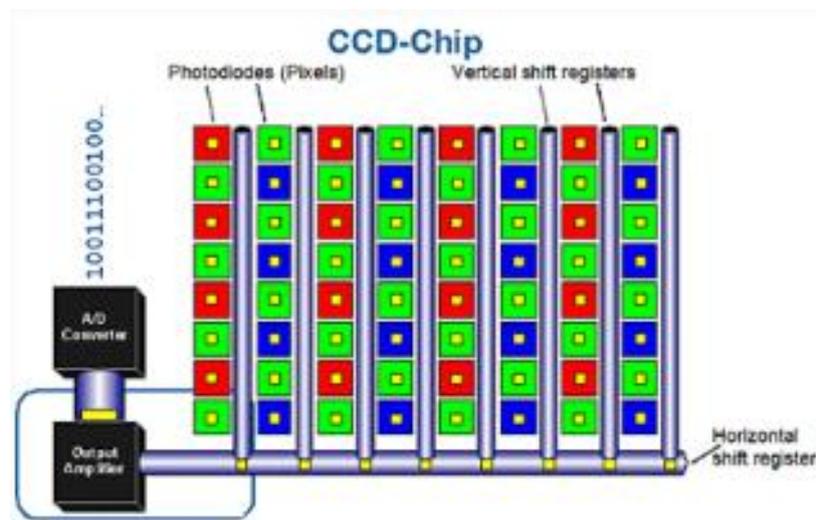


Figura nº 3. Sensor CCD.

Al contrario que un CCD, en un CMOS cada píxel contiene la circuitería necesaria para realizar la conversión y amplificación de la señal, con lo que el resultado es menos homogéneo. La

superficie útil para la captación de fotones en este sensor es menor, ya que cada píxel debe reservar espacio para la circuitería.

Además, el sensor CMOS puede amplificar de forma individual la respuesta de los píxeles en función de sus respectivas condiciones de iluminación. El acceso multipíxel, permite configurar individualmente distintos intervalos de tiempo de integración, mejorando la calidad de imagen mediante la selección del mejor tiempo de exposición de cada píxel.

En cuanto a la velocidad, el CMOS es claramente superior al CCD debido a que todo el procesado se realiza dentro del propio sensor, ofreciendo mayor velocidad.

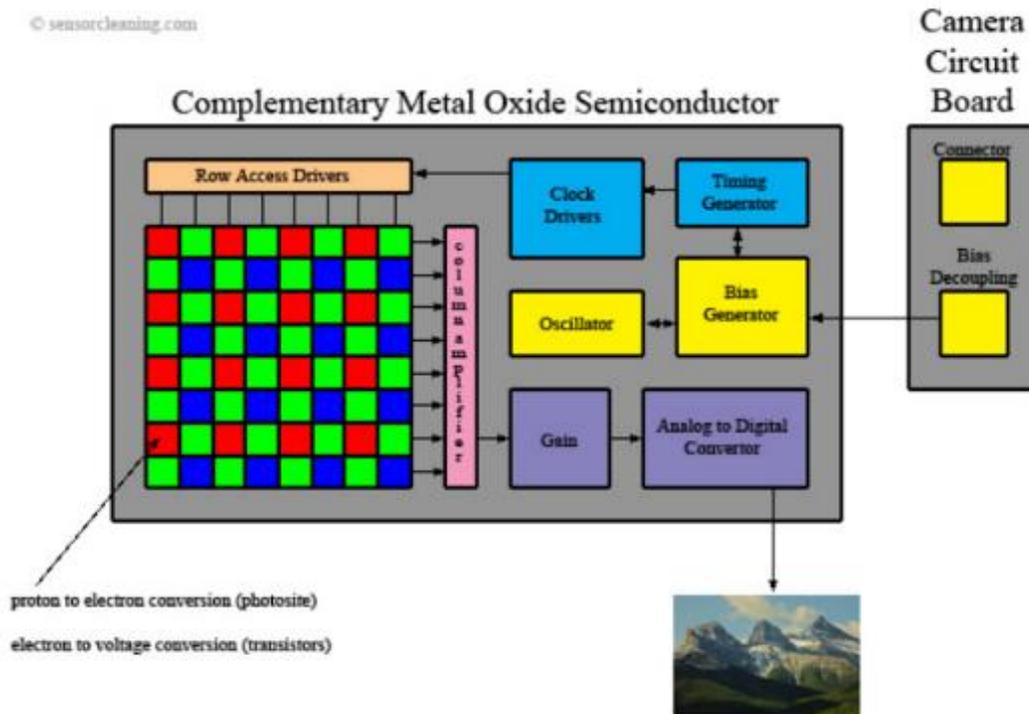


Figura nº 4. Sensor CMOS.

En ambas imágenes de los distintos tipos de cámaras (Figura nº 3 y figura nº 4), la mayor diferencia entre ambos tipos de sensor es la forma en la que se llevan a cabo los procedimientos de amplificación y conversión. En los sensores CCD la información se transmite hasta un punto común en el que se realizan estos procedimientos. En cambio, en los CMOS cada píxel contiene la circuitería necesaria para realizarlos.

Tamaño del sensor

Determina la cantidad de superficie para capturar la luz incidente, a su vez, la luz incidente es esencial para los procesos que lleva a cabo el sensor.

Los tamaños del sensor suelen seguir unas medidas estándar representadas en la figura nº 5.

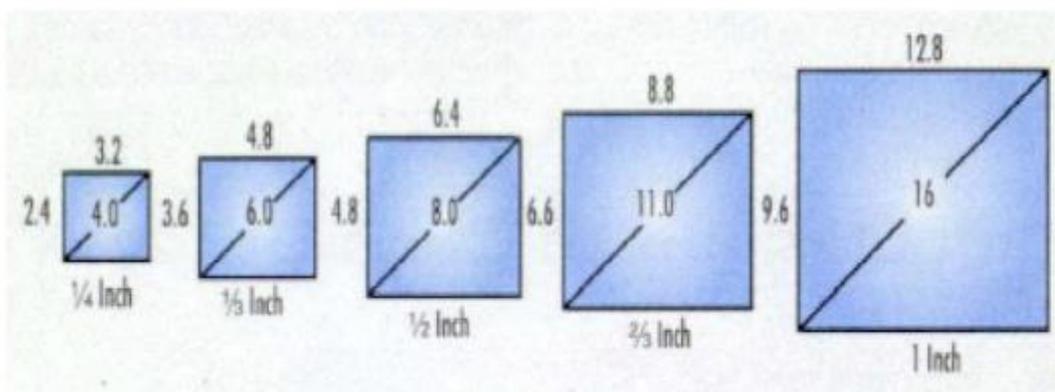


Figura nº 5. Tamaños estándar de sensores.

Aunque siempre sería deseable contar con la mayor cantidad de superficie de sensor para la captura de la luz incidente, el tamaño de sensor en la cámara que se escoja estará condicionado a la óptica escogida con el fin de adecuar coherentemente ambos tamaños

Respuesta espectral

La respuesta espectral de una cámara, se corresponde con la sensibilidad de la misma a diferentes longitudes de onda.

Existen diferentes modos de optimizar la captura de ciertas longitudes de onda, por esta razón existen cámaras optimizadas a una determinada zona del espectro, de esta forma se conseguirá captar de una manera más eficiente los niveles de longitud de onda que se desee.

Pongamos por ejemplo que se escoge la cámara monocroma JAI BM 500 GE por su respuesta espectral en el infrarrojo cercano representada en la figura nº 6.

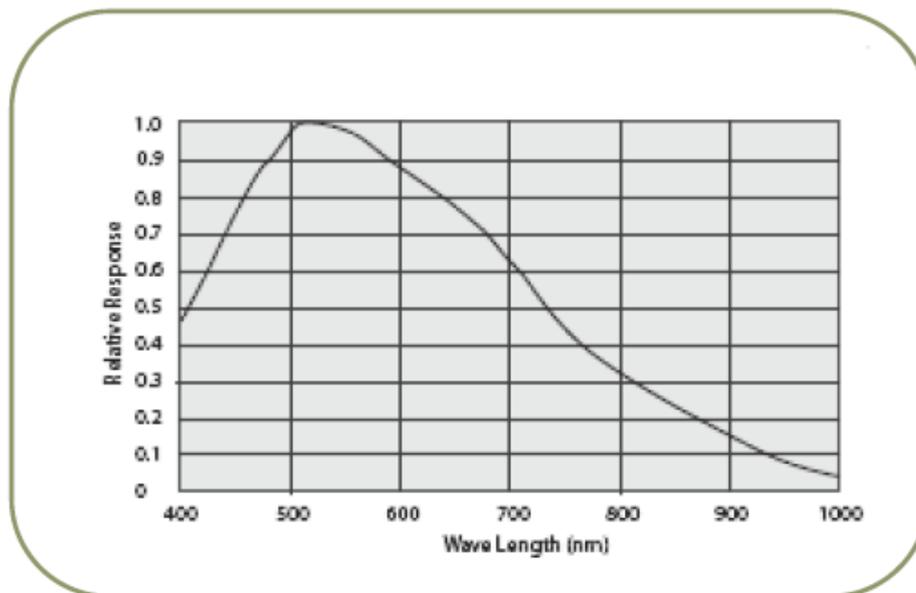


Figura nº 6. Respuesta espectral cámara JAI BM 500 GE

Analizando la imagen de la figura nº 6, se obtiene la respuesta espectral de la cámara a determinadas longitudes de onda, de esta forma es posible decidir si es apropiada la luz reflejada por el objeto a inspeccionar. Por ejemplo, detectará al 100 % los niveles de longitud de onda entre los 500 y 550 nm aproximadamente.

Para la realización del proyecto, se debe conocer qué respuesta tiene dicha cámara en el infrarrojo cercano, es decir, a partir de los 800 nm aproximadamente.

Como se puede observar, la respuesta estará entre un 30 % y un 40 %, lo cual sería suficiente para nuestro cometido.

Existe una alternativa más costosa pero a su vez más eficiente, estas son las cámaras hiper-espectrales, las cuales consiguen un porcentaje mayor de sensibilidad a la longitud de onda del infrarrojo cercano o NIR.

4.3.2. Óptica

En los sistemas de visión artificial, es necesario utilizar ópticas de calidad para obtener la mejor imagen posible. Las ópticas se utilizan para transmitir la luz al sensor de la cámara de una forma controlada y obtener así una imagen enfocada de uno o varios objetos. Para saber exactamente qué óptica se debe utilizar, hay que tener en cuenta una serie de parámetros que se definen a continuación.

En la Figura nº 7 representada a continuación, se exponen dichos parámetros para facilitar la posterior visualización de los mismos.

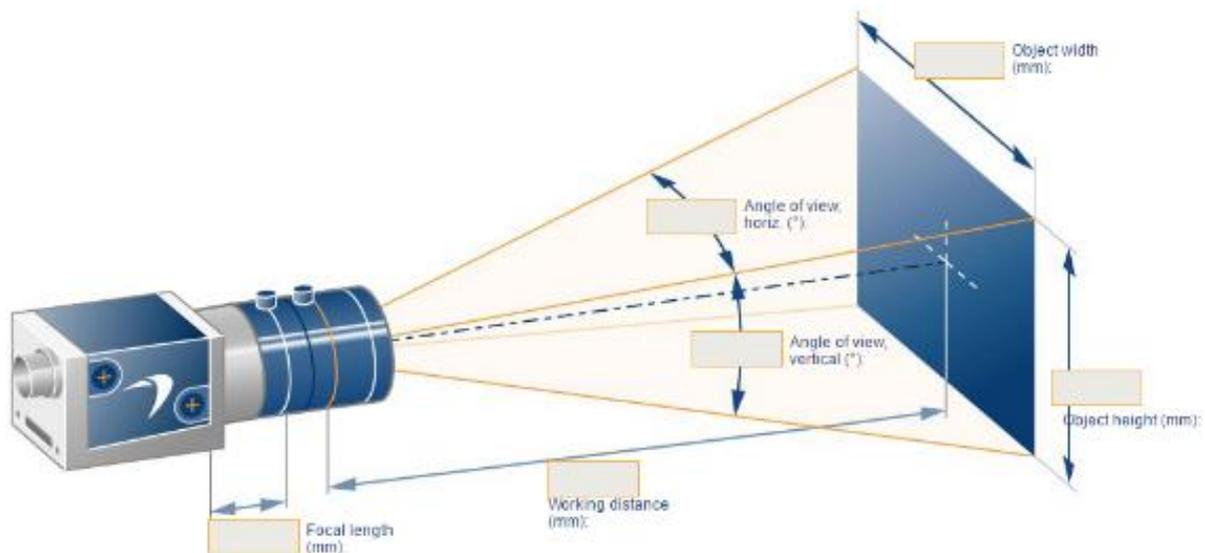


Figura nº 7. Parámetros de una óptica.

Focal length o Distancia focal

Es la distancia existente entre el sensor y el punto de enfoque del objetivo. Cuánto más pequeña sea, mayor será el campo de visión. Se calcula en función de la siguiente fórmula (1.0):

$$\text{Distancia focal} = \frac{\text{Tamaño del sensor}(mm) \times \text{Distancia de trabajo}(mm)}{\text{Campo de visión}(mm)} = mm \text{ (1.0)}$$

Las ópticas se fabrican con distintas distancias focales estándar, por lo que habrá que optar por la más próxima al resultado teórico obtenido.

MOD o Distancia mínima de enfoque.

Es la distancia por debajo de la cual un objetivo no podrá enfocar un objeto. Si en algún determinado caso es necesario enfocar por debajo de la distancia mínima, se deberá utilizar anillos extensores.

Estos anillos, se sitúan entre el objetivo y la cámara con el fin de modificar las propiedades ópticas del sistema. Al utilizar dichos anillos, se pierde profundidad de campo proporcionalmente al grueso de los anillos, con un anillo muy grueso podemos enfocar a una distancia muy por debajo de la mínima, pero la profundidad de campo se reduce en gran medida.

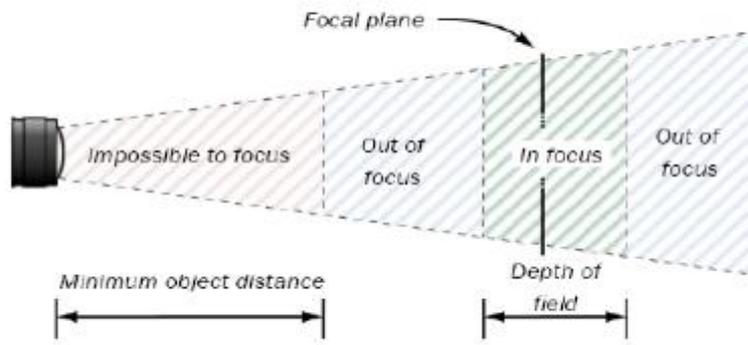


Figura nº 8. Distancia mínima.

Working Distance o Distancia de trabajo.

Esta distancia viene normalmente condicionada por las restricciones propias de la instalación. Respetando las restricciones de seguridad para el producto, la línea de producción y la mínima distancia de enfoque de la óptica escogida, la distancia de trabajo deberá ser la mínima posible con el fin de minimizar las interferencias lumínicas y la dispersión de la potencia lumínica de nuestra iluminación.

Circulo de imagen (Tamaño sensor)

El círculo de imagen se define como el área iluminada producida en el plano del sensor debido a la lente y dependiente de su distancia focal. Este parámetro de la lente ha de ser correlacionado con el tamaño del sensor.

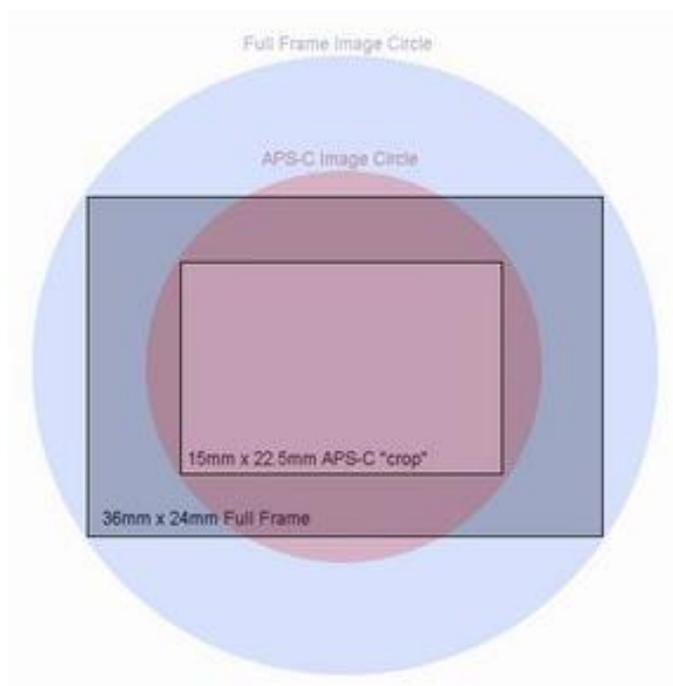


Figura nº 9. Relación entre círculo de la imagen y tamaño del sensor.

En la figura nº 9 se representa la relación entre el tamaño del sensor y el círculo de la imagen, que se debe de tener en cuenta, ya que la elección de la óptica errónea podría afectar de manera sustancial a la calidad de la imagen.

Una consecuencia de esta podría ser el efecto “Vignetting”, el cual se produce cuando el círculo de imagen producido por la óptica es menor al tamaño del sensor de la cámara.

Este efecto se define como la aparición de bordes negros en las capturas como consecuencia de que el campo de visión de la lente y el tamaño del sensor no son adecuados.



Figura nº 10. Efecto Vignetting

Por lo que, para evitar estos efectos que empeoran la calidad de la imagen obtenida y pueden reducir la superficie de la imagen útil, la óptica escogida debe de tener un círculo de imagen adecuado al tamaño del sensor de la cámara.

4.3.3. Iluminación

La correcta iluminación es un factor clave en un sistema de visión por computador. Es necesaria para lograr optimizar la imagen, lo cual a su vez, mejorará el rendimiento del procesado. El objetivo de la iluminación es separar el elemento que se quiere inspeccionar de su entorno o Background, y resaltar los rasgos de interés de una determinada aplicación. La correcta elección de ésta, facilitará el posterior análisis de procesado de la imagen.

Al margen de la longitud de onda escogida para la aplicación, existen diferentes métodos de iluminación que destacan diferentes características del objeto a inspeccionar.

Tipos de iluminación

Podemos clasificarlos por el tipo de resultado lumínico que estos ofrecen y las características que se ven destacadas y/o atenuadas:

Frontal

Utilizada en aplicaciones generales en las que no se requiere una iluminación específica. Suele producir reflejos indeseados en superficies reflectantes.

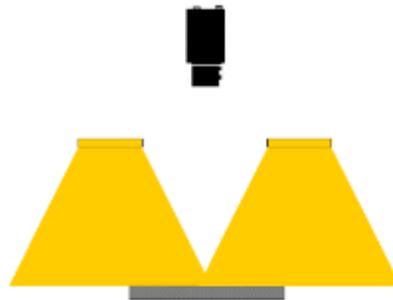


Figura nº 11. Iluminación tipo frontal

La siguiente imagen representa un ejemplo de luz frontal frente a la lateral, la cual se desarrollará en el siguiente apartado.



Figura nº 12. Ejemplo iluminación Frontal y Lateral.

Lateral

Utilizada en aplicaciones en las que se requiere que la fuente de luz esté orientada en posición no central respecto a la cámara, para poder resaltar detalles del objeto a inspeccionar.

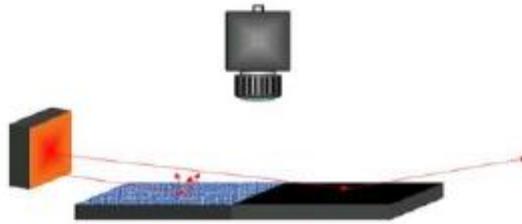


Figura nº 13. Iluminación tipo lateral.

Este tipo de iluminación da lugar a imágenes contrastadas con una zona altamente iluminada y otra repleta de sombras, como ocurre en la imagen representada anteriormente (Figura nº 12).

Darkfield

Este tipo de iluminación consiste en la colocación de Leds montados en un ángulo bajo.

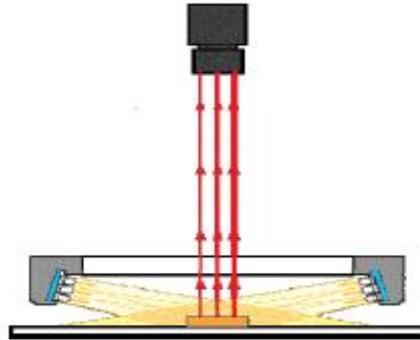


Figura nº 14. Iluminación tipo darkfield.

Utilizada con el fin de resaltar detalles en relieve, esquinas y bordes para su posterior inspección. Es una iluminación catalogada de ángulo bajo.

A continuación, se adjunta el ejemplo de inspección de una moneda con un tipo de iluminación Darkfield y otra con luz ambiental.



Figura nº 15. Ejemplo iluminación Darkfield frente a frontal.

Como se deduce a simple vista, la imagen de la derecha está iluminada con luz Darkfield lo que facilita la visualización de los detalles de la moneda, resaltando claramente el relieve de la pieza inspeccionada.

Backlight

En este tipo de iluminación se pueden conseguir dos efectos distintos dependiendo de si es aplicada en objetos opacos o traslucidos.

En un objeto no opaco la fuente de luz se sitúa tras el objeto permitiendo que ésta lo atraviese, destacando imperfecciones o partes del objeto que no permiten que el paso de la luz.

En cuerpos opacos, esta iluminación se utiliza para la detección de contornos.

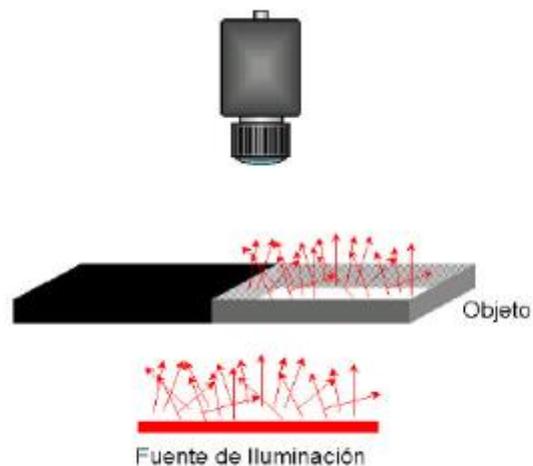


Figura n 16. Iluminación tipo Backlight.

A continuaci3n, en la Figura n3 17, se presenta un ejemplo en el que se ha conseguido una imagen del interior de un objeto traslucido inspeccionado.

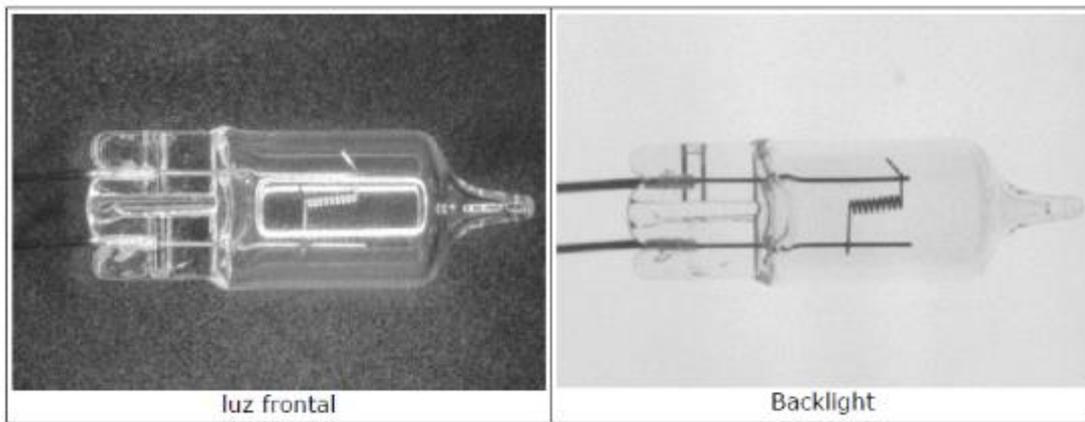


Figura n3 17. Objeto traslucido inspeccionado con luz Backlight y frontal.

Coaxial

La luz situada de forma paralela al eje 3ptico se consigue mediante la utilizaci3n de un espejo semitransparente, el cual refleja de forma paralela los haces procedentes de la fuente de luz como se muestra en la siguiente figura.

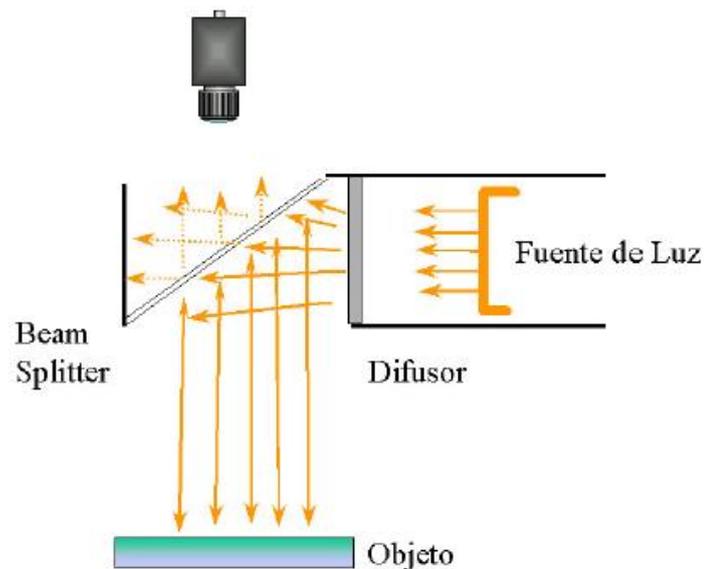


Figura n3 18. Iluminaci3n tipo Coaxial.

Con esto se consigue atenuar los reflejos de superficies reflectantes, iluminando de forma homogénea la superficie como se observa en la siguiente imagen.



Luz ambiental



Iluminación coaxial

Figura nº 19. Comparación objeto inspeccionado con iluminación coaxial y frontal.

Difusa

Este tipo de iluminación se utiliza para eliminar sombras iluminando los objetos desde múltiples haces de luz a diferentes ángulos.

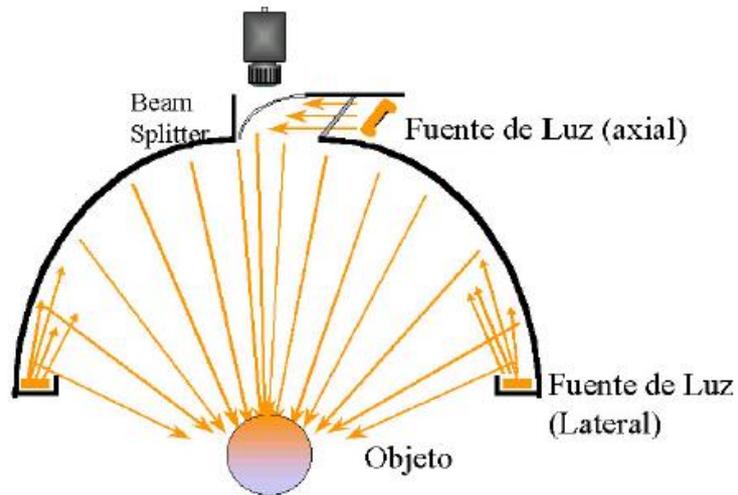


Figura nº 20. Iluminación tipo difusa.

Un ejemplo de aplicación, es el de esta superficie reflejante de la figura nº 21 en el que con luz coaxial se ha conseguido eliminar todo reflejo y obtener una imagen nítida.

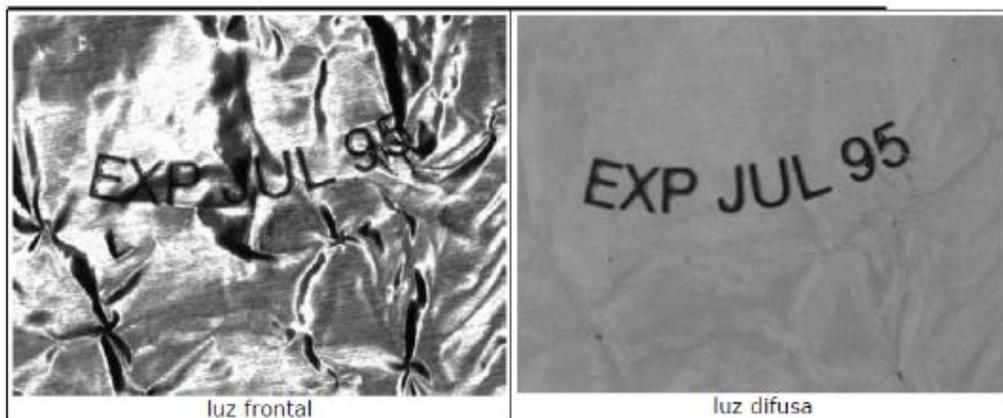


Figura nº 21. Comparación imagen con iluminación difusa y frontal.

4.4. Elección de los componentes del sistema de visión.

4.4.1. Cámara.

En este apartado se explicará qué tipo de cámara se ha escogido para la aplicación planteada en este proyecto. Esta decisión es trascendental a la hora de obtener una buena imagen, por lo que el éxito del proyecto depende en gran parte de esta.

Para este proyecto, se elegirá la cámara JAI BM 500 GE BB. Debido a su gran resolución (2456 x 2058 píxeles) que proporciona una excelente calidad de imagen. Así mismo, este sensor CCD produce una imagen más homogénea que la que se puede obtener con sensores CMOS, consiguiéndose con ello minimizar las posibles discontinuidades que se podrían producir en las imágenes obtenidas con este último tipo de sensor.

Con el fin de comprobar que la elección de la cámara es adecuada para nuestro proyecto, debemos comenzar por establecer las especificaciones del producto.

Las dimensiones del blíster serán como máximo de 120 mm x 80 mm. Por motivos de seguridad se define una distancia de trabajo de 150 mm. Con estos datos, se desarrolla el cálculo de las dimensiones en mm de la resolución de la cámara.

Partiendo de la cámara escogida JAI 500 GE BB, la resolución en píxeles de esta será de 2456 x 2058.

Otro parámetro definido en estas características es el tamaño del píxel en mm (0,00345), con este dato calcularemos las componentes horizontal y vertical de la matriz CCD en mm.

$$CCDx(mm) = CCDx(px) \times Px \text{ size} \quad (1.1)$$

$$CCDx(mm) = 2456 \times 0,00345 = 8,47320 \text{ mm}$$

$$CCDy(mm) = CCDy(px) \times Px \text{ size} \quad (1.2)$$

$$CCDy(mm) = 2058 \times 0,00345 = 7,10010 \text{ mm}$$

A continuaci3n, calcularemos los p3xeles que necesitaremos de acuerdo a las especificaciones de nuestro producto.

Se define una resoluci3n necesaria de 20 px/mm.

Se procede a la divisi3n de los componentes horizontal y vertical de la matriz CCD en Px entre las dimensiones del producto, con el fin de comprobar si se cumplen las especificaciones.

$$Px \text{ producto } x = \frac{CCDx(px)}{\text{tama\~no objeto } x(mm)} = \frac{2456 px}{120 mm} = 20,466667 px \geq 20px \quad (1.3)$$

$$Px \text{ producto } y = \frac{CCDy(px)}{\text{tama\~no objeto } y(mm)} = \frac{2058 px}{80 mm} = 25,725px \geq 20px \quad (1.4)$$

Con lo que la c3mara escogida de "5 MPx" es adecuada para la aplicaci3n.

De acuerdo al estudio detallado anteriormente, esta c3mara cumple con los requerimientos necesarios para obtener la mejor imagen posible del objeto inspeccionado.

A continuaci3n, en la figura n3 24 se adjuntan las principales caracter3sticas t3cnicas de la JAI BM 500 GE.

Specification	IAI BM-500 GE
Camera class	Area scan camera, monochrome
Sensor class	2/3" -CCD, Non Interlaced
Sensor type	Sony ICX625ALA
Sensing area	8.47 x 7.10 (W x H in mm)
Resolution (effective)	2456 x 2058 (H x V)
Pixel size	3.45 x 3.45 (W x H in μm)
Frame rate (standard)	15 Hz
Frame rate (max.)	43 Hz @ Partial Scan
Pixel clock (max.)	60 MHz
Shutter speed	1/15 - 1/10,000 s in 10 steps
Sensitivity	0.34 lx (without Shutter) (50% Video, Gain max.)
S/N ratio	min. 50 dB (0 dB Gain)
Gain	manual/automatic -3 - +12 dB
Bit per pixel	8 - 12 bit
Trigger modes	Edge Pre-Select, Pulse Width Control, Frame-Delay readout
Digital interface	Gigabit Ethernet
Supply voltage	12 V DC
Power consumption	5.8 W
Connectors	RJ-45, Hirose (12 pins)
Features	Partial Scan, Binning, Iris video output
Lens mount	C-Mount
Dimensions	55 x 55 x 55 (W x H x L in mm)
Operating temperature	-5 - +45 °C
Humidity	20 - 80 %
Shock resistance	70 G
Vibration stress	10 G
Regulations	CE (EN61000-6-2, EN61000-6-3), FCC part 15 class B, RoHS/WEEE

Figura nº 22. Características cámara IAI BM 500 GE.

4.4.2. Óptica.

Para la elección de la óptica más adecuada para la aplicación que se desarrolla en este proyecto, es necesario prestar especial atención al tipo de sensor elegido, ya que están estrechamente relacionados.

Como se ha expuesto anteriormente, se debe elegir la óptica adecuada para nuestra cámara ya que lo contrario podría suponer una pérdida en la calidad de la imagen. Para ello, es imprescindible tener claros los parámetros a considerar para la elección de un buen sistema de adquisición de imágenes.

- El primer parámetro a analizar será la resolución, que vendrá dada por la medida de la característica más pequeña del objeto que se quiera destacar en la imagen.
- La medida del sensor.
- FOV o campo de visión, que es el campo o área que queremos analizar.
- WD o Distancia de trabajo.

Todos estos parámetros se han tenido en cuenta para la elección de la óptica y la cámara adecuada al proyecto.

Con los resultados obtenidos y con la ayuda del Excel adjunto en el apartado “Anexos” y representado en la figura nº 23, y aplicando las fórmulas descritas en el apartado ‘Cámara’ se obtiene el valor de cada uno de los parámetros necesarios para el cálculo de nuestra óptica.

El Excel mencionado anteriormente, proporciona la información necesaria para elegir el tamaño del sensor que se adecue más a nuestras preferencias.

WD	DISTANCIA FOCAL							
	8				12			
	FOVx (°)	FOVy (°)	FOVx (mm)	FOVy (mm)	FOVx (°)	FOVy (°)	FOVx (mm)	FOVy (mm)
50	55,80915	47,81781	52,9575	44,3325	38,89116	32,93009	35,305	29,55
60	55,80915	47,81781	63,549	53,199	38,89116	32,93009	42,366	35,46
70	55,80915	47,81781	74,1405	62,0655	38,89116	32,93009	49,427	41,37
80	55,80915	47,81781	84,732	70,932	38,89116	32,93009	56,488	47,28
90	55,80915	47,81781	95,3235	79,7985	38,89116	32,93009	63,549	53,19
100	55,80915	47,81781	105,915	88,665	38,89116	32,93009	70,61	59,
110	55,80915	47,81781	116,5065	97,5315	38,89116	32,93009	77,671	65,02
120	55,80915	47,81781	127,098	106,398	38,89116	32,93009	84,732	70,93
130	55,80915	47,81781	137,6895	115,2645	38,89116	32,93009	91,793	76,84
140	55,80915	47,81781	148,281	124,131	38,89116	32,93009	98,854	82,75
150	55,80915	47,81781	158,8725	132,9975	38,89116	32,93009	105,915	88,66
160	55,80915	47,81781	169,464	141,864	38,89116	32,93009	112,976	94,57
170	55,80915	47,81781	180,0555	150,7305	38,89116	32,93009	120,037	100,48
180	55,80915	47,81781	190,647	159,597	38,89116	32,93009	127,098	106,39
190	55,80915	47,81781	201,2385	168,4635	38,89116	32,93009	134,159	112,30

Figura nº 23. Excel para el cálculo del tamaño del sensor.

En la imagen anterior (Figura nº 23), más concretamente los valores resaltados, indican que existen varias opciones que cumplen con las especificaciones del producto, dependiendo del tamaño del sensor, de la distancia de trabajo (WD) y de la distancia focal.

En el presente proyecto, y de acuerdo a las especificaciones mecánicas y de montaje, se escoge los valores correspondientes a la siguiente opción:

Premisas

Tamaño del sensor: 2/3" (Impuesto por la cámara ya escogida)

WD o Working distance: 170 mm.

FOVx (mm): 120,037.

FOVy (mm): 100,487.

Resultado

Distancia focal: 12 mm

La òptica escogida será el modelo Cinegon 1.4/12-0906 de la marca Schneider.

A continuación, se adjuntan las características técnicas de la misma.

Technical Specifications	
F-number	1.4
Focal length	12.7 mm
Image circle	11 mm
Transmission	400 - 1000 nm
Interface	C-Mount
Weight	99 gr.
Filter tread	M30.5 x 0.5
Code no.	1001951

Figura n 24. Características técnicas ptica Cinegon 1.4/12-0906

En estas especificaciones se observa que la distancia focal efectiva es de 12,7 mm por lo que el FOV real basado en las características técnicas de la óptica será el representado en la siguiente figura n 25.

WD	DISTANCIA FOCAL			
	12,7			
	FOV _x ()	FOV _y ()	FOV _x (mm)	FOV _y (mm)
50	36,89642	31,20583	33,35906	27,92598
60	36,89642	31,20583	40,03087	33,51118
70	36,89642	31,20583	46,70268	39,09638
80	36,89642	31,20583	53,37449	44,68157
90	36,89642	31,20583	60,0463	50,26677
100	36,89642	31,20583	66,71811	55,85197
110	36,89642	31,20583	73,38992	61,43717
120	36,89642	31,20583	80,0617	67,0224
130	36,89642	31,20583	86,73354	72,60756
140	36,89642	31,20583	93,40535	78,19276
150	36,89642	31,20583	100,0772	83,77795
160	36,89642	31,20583	106,749	89,36315
170	36,89642	31,20583	113,4208	94,94835
180	36,89642	31,20583	120,0926	100,5335
190	36,89642	31,20583	126,7644	106,1187
200	36,89642	31,20583	133,4362	111,7039
210	36,89642	31,20583	140,108	117,2891

Figura n 25. Cculo del FOV de acuerdo a las características de la ptica.

4.4.3. Iluminación

En cuanto a las especificaciones propias de la iluminación, se han utilizado fuentes de luz infrarroja de alta potencia empleadas normalmente en ámbitos industriales y científicos. Se ha comprobado además que la luz infrarroja es la más inmune al PVC que recubre los comprimidos en los blísteres.

Este tipo de focos infrarrojos se presentan en varios modelos según la distancia y el ángulo de apertura que se desea alcanzar.

Por el tipo de objeto a inspeccionar, el tipo de iluminación más adecuada será de tipo difusa. En esta, los haces luminosos inciden sobre el objeto desde todas las direcciones y no sólo desde la fuente luminosa, de este modo se eliminan las sombras.

La iluminación escogida para el sistema de visión es el modelo "LV12_20 del fabricante KOMOTO", con nº de referencia KB340121443002.

A continuación, se representa las características técnicas de la misma (Figura nº 26) presentes también en el Datasheet adjunto en el apartado "Anexos".

Specifications	
Model	LV12
Illumination Source	Latest High Power Technology LEDs
Wavelength	NIR 850nm
Distance	100 M
Trigger Modes	1. AlarmInput (Sync with camera ICR function) 2. AlarmOutput (Sync with camera ICR function)
Beam angle	10°
Operating temperature	-40°C ~ +70°C
Enclosure	IP66
Power Consumption	15W
Power requirement	DC 12V
Dimension	(L)110 x (W)96 x (H)172 mm
Weight	0.6kg

Figura nº 26. Características técnicas iluminación infrarroja Komoto.

4.4.4. Filtro paso banda.

El filtro utilizado y adecuado a la cámara JAI 500 GE, será el BP850 de la marca MIDOPT.

Se escoge este filtro por tener su mayor índice de penetración en la banda de 830-850 nm con Leds de alta potencia, con el cual se consigue minimizar la interferencia lumínica de otros puntos de luz a diferentes longitudes de onda, como por ejemplo la iluminación de la planta industrial.

A continuación, se muestra la respuesta espectral de este filtro.

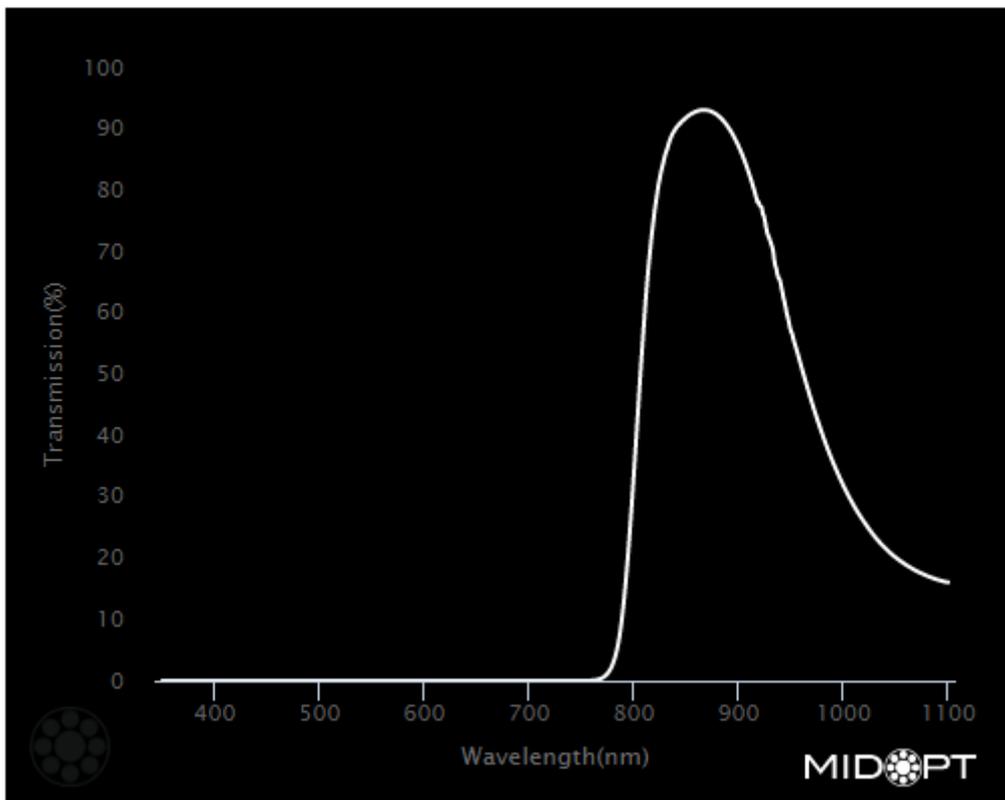


Figura nº 27. Filtro paso banda MIDOPT BP850.

5. Presupuesto sistema de visión artificial para detección de blísteres.

HARDWARE DE VISIÓN, CONTROL Y MONITORIZACIÓN

Descripción	Unidad	Precio (euros)
Óptica Schneider cinegon 1.8-16 mm EIR	1	706,86
Filtro MIDOPT BP850 Near-IR Bandpass Filter	1	96,29
Cámara JAI 500 GE	1	1.500,00
Fuente de alimentación 12 V DC SITOP PSU100C 12 V/2 A FUENTE ALIMENTACIÓN ESTABILIZADA, ENTRADA: AC 100-230 V (DC 110-300 V) SALIDA: DC 12 V/2 A	1	49,63
Interruptor automático 1P+Nx 10A, curva C, 6kA, 230V	1	7,53
ARMARIO METAL RITTAL 760X760X210 C/PM RAL7035, con referencia AE1077500. Mano de obra + pequeño material	1	1.320,00

Fuente de alimentación SITOP Fuente alim. 120/230-500Vac/24Vdc, 5A mod. carril DIN, IP20, protección contra cortocircuitos. 6EP1333-3BA10	1	123,56
Autómata / PLC Compact switch module CSM 1277, p/S7-1200, Industrial Ethernet, 4 x RJ45 10/100 Mbit/s, 24 Vdc. 6ES7214-1AG40-0XB0	1	100,03
CPU 1214C DC/DC/DC, 14 ED/10 SD/2EA, (V4.x) 2EA (0-10V), 24 Vdc, 100 KB mem. programa/datos. 6ES7214-1AG40-0XB0	1	305,64
Protocolo Ethernet TP CORD, RJ45/RJ45, 2 m. 6XV1850-2GH20	1	12,16
Sensor Fotoeléctrico Marca SICK, Retrorreflexivo, LED, Alcance 0,035 → 4,5 m, Cuerpo Cilíndrico, Salida PNP VL18-4P2240V	1	105,00

HARDWARE DE COMPUTACIÓN – SCADA

Descripción	Unidad	Precio (euros)
PC Industrial HP EliteDesk 800 G2 CPU INTEL – Tecnología Intel Core i5-6500, Velocidad de clock 3,2 GHz. 64 bit. RAM - Instalada 8 GB. ALMACENAMIENTO - Crucial MX200 - Disco duro estado sólido (500GB, SSD, 2,5", SATA 3.0) GRAFICA - Intel HD Graphics 530 - DDR3 SDRAM Gráficos S.O. - Windows 7 64Bits, Professional instalado.	1	1.437,50
Monitor 27" Samsung LS27D390HS. 6EP1333-3BA10	1	258,50

COMPONENTES SISTEMA MECÁNICO

Descripción	Unidad	Precio (euros)
Cinta transportadora De PVC, ancho de banda 300 mm, con tren de ruedas, chasis de acero INOX.	1	1.350,00
Soplador de aire comprimido Compuesto por: - Válvula simple efecto Festo, 24VDC, tipo membrana, gran caudal y boquilla de soplado multiplicadora... - Electroválvula, Válvula con conexiones roscadas, Válvula de 2/2 vías, normalmente cerrada, Tipo de reposición por muelle neumático... Referencia VZWM-L-M22C-G12-F5-R1 - Bobina para Válvula, accionamiento 24VDC... Referencia MH-2-230VDC-PA	1	294,00

INGENIERÍA Y COMPUTACIÓN

Descripción	Unidad	Precio (euros)
Programación de la lógica de funcionamiento en PLC, según especificaciones.	1	850,00
Desarrollo aplicación SCADA LabVIEW para monitorización y control del sistema, según especificaciones.	1	1.860,00
Puesta en marcha en instalación del cliente, territorio nacional ESP. Valorado en una semana.	1	2.350,00

TOTAL SISTEMA DE VISIÓN

IVA no incluido en los precios

12.726'7

Total presupuesto.... 12.726'7 €

6. Pruebas de Laboratorio

Dado que la estación de inspección no va a ser cubierta se ha propuesto una iluminación y filtro para la cámara que minimice las posibles interferencias lumínicas causadas por fuentes de luz externas.

En el presente apartado se explica:

- El montaje del hardware necesario para la obtención de las capturas
- La instalación del software de visión
- Las pruebas de inmunidad del sistema ante diferentes exposiciones a diferentes fuentes de luz externas
- La obtención de las capturas reales para su procesado

6.1. Montaje

A continuación, se desarrolla el procedimiento de montaje del sistema de visión artificial.

Para el proceso de captura de imágenes, se debe lograr una iluminación uniforme sobre el producto a inspeccionar, ya que como se menciona en el apartado “4.4.3 Iluminación”, si esto no se cumple, el posterior análisis de la imagen tomada resultará fallido o erróneo.

Primeramente, se procede al montaje de la cámara con la óptica ya colocada, la cual irá anclada a un soporte de elevación con regla que permitirá el desplazamiento controlado y medido de ésta sobre un eje vertical. Esto facilitará la adecuación de la cámara a la distancia de trabajo y asegurará la posición de la cámara. El soporte mencionado consta de un eje vertical con regla, anclado a una base cuadrada en la que se deposita el objeto a inspeccionar. Esta base consta de una cuadrícula o “Grid” el cual facilitará el proceso de alineación del objeto para la inspección.

6.2. Instalación de software y configuración de cámara

Tras el montaje de la cámara y la óptica sobre el soporte, se procede a la instalación y conexionado del PC industrial y la fuente de alimentación.

En primer lugar, conectaremos la fuente de alimentación a la red de 230 V (AC). Posteriormente la salida de la fuente de alimentación (12 V DC) se conectará a la cámara (hiroshe 12) y la iluminación infrarroja mediante dos cables.

La conexión entre la cámara y el PC, se realizará mediante el protocolo Gigabit Ethernet con un cable de red de categoría 6.

Una vez realizada esta conexión, se procede a la configuración de la cámara con el PC. Para ello, inicialmente se deben instalar los drivers de la cámara, además del software de NI-Visual assistant – LabVIEW. A continuación, se debe configurar la IP de la cámara y la del PC, y comunicarlos mediante la conexión a la misma red.

Tras configurar la conexión Ethernet, se procederá a la visualización de la imagen. Para ello, se hará uso del programa NI MAX (National Instruments Measurement & Automation Explorer), en el que como se muestra en la figura nº 28, deberá aparecer en el apartado “Network Devices” la conexión de la cámara JAI 500 GE.

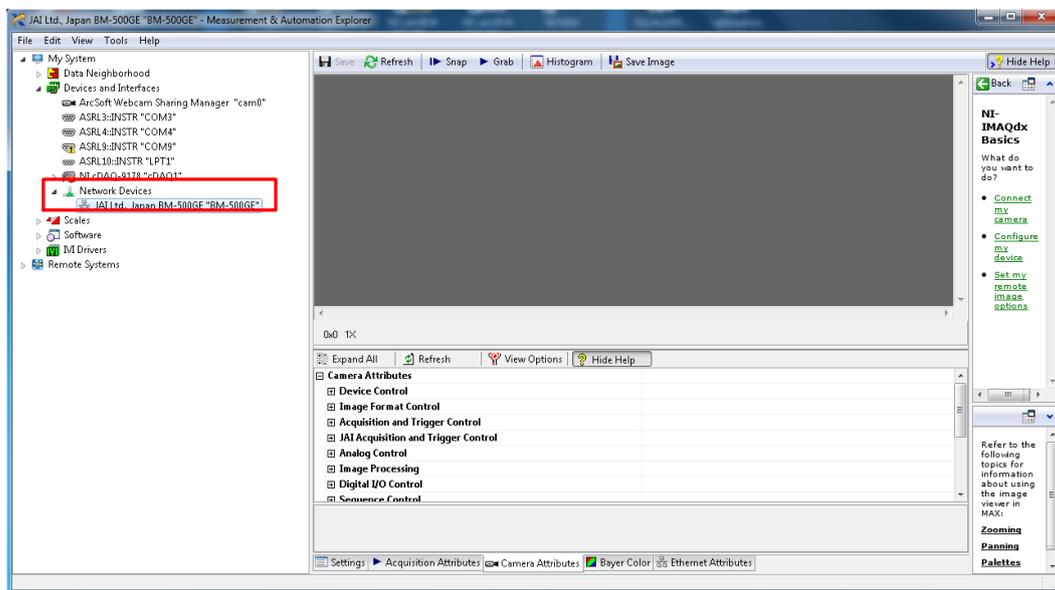


Figura nº 28. NI MAX-Conexión cámara 1

Se hará “Clic” en dicho apartado y se accederá a un panel (representado en la Fig. nº 29) en el que al activar el modo “Grab” de la cámara se visualizará la imagen captada por la cámara.

En este mismo panel, se realizará la captura y almacenamiento de la imagen del producto a inspeccionar.

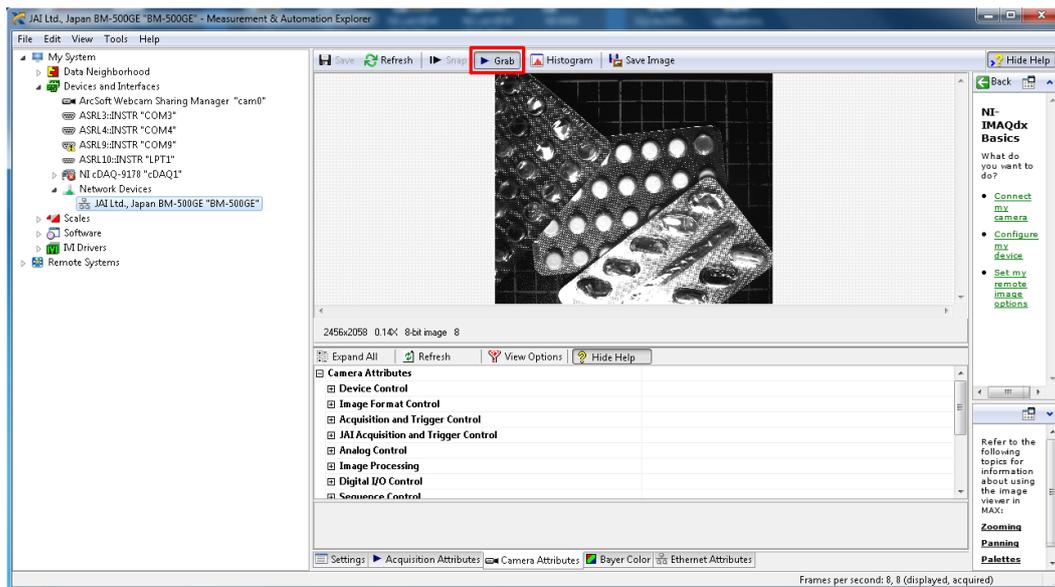


Figura nº 29. NI MAX-Conexión cámara 2.

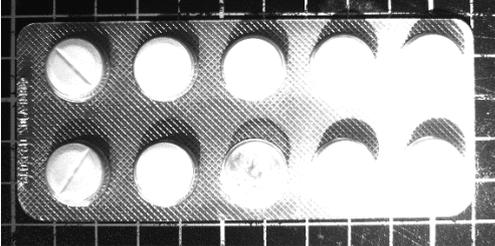
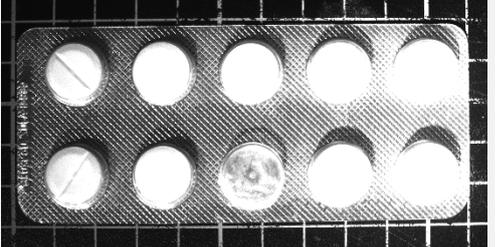
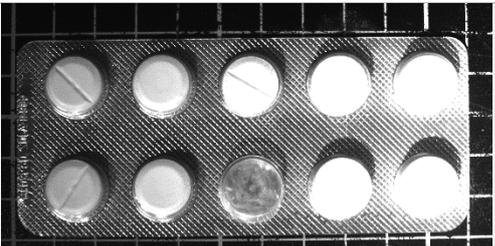
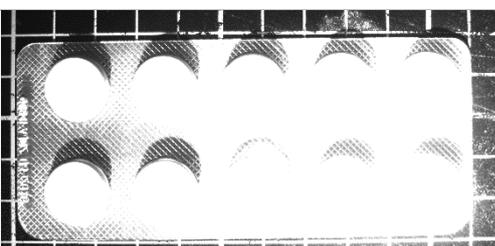
6.3. Interferencias lumínicas.

Uno de los factores determinantes a la hora de realizar una inspección, son las interferencias lumínicas.

A continuación, en la figura nº 30, se muestra una de las principales pruebas realizadas en el laboratorio en la que se analiza cómo diferentes tipos de luz afectan a la calidad de la captura realizada por el sistema de inspección.

Como se desarrolla en el apartado “ 4.4. Elección de los componentes del sistema de visión”, y más concretamente en el subapartado “Filtro paso banda”, éste realiza la función de suprimir todas aquellas longitudes de onda no producidas por la fuente de luz instalada ad-hoc.

Por esta razón es fundamental el uso del filtro paso banda, ya que logra evitar, en la medida de lo posible, que las condiciones lumínicas afecten al funcionamiento del sistema.

Interferencia luz Azul sin filtro	Interferencia luz Azul con filtro
	
Interferencia luz Roja sin filtro	Interferencia luz Roja con filtro
	
Interferencia luz Verde sin filtro	Interferencia luz Verde con filtro
	
Interferencia luz Blanca sin filtro	Interferencia luz Blanca con filtro
	

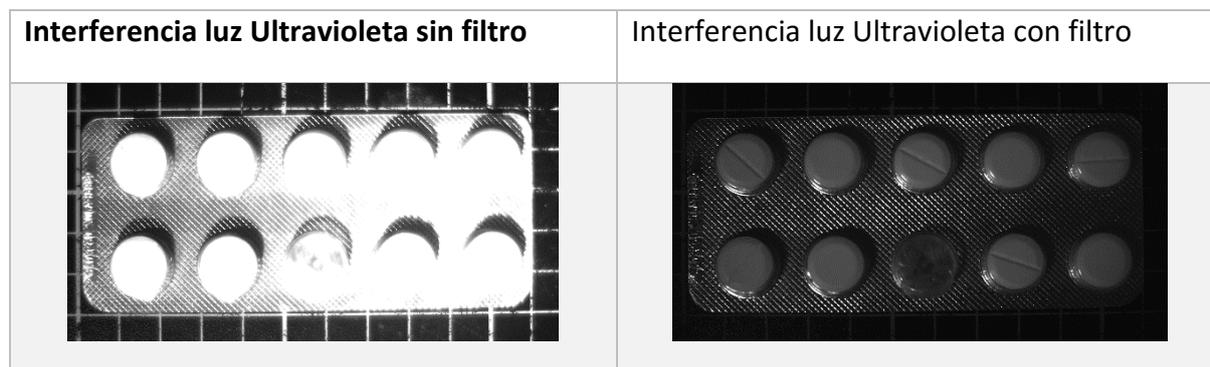


Figura nº 30. Interferencias lumínicas con y sin filtro paso banda.

Se puede observar, a simple vista, como la luz blanca es la que más afecta a la calidad de la imagen obtenida, y por consiguiente en la que el efecto del filtro paso banda será más evidente.

Para la realización de dichas pruebas, se ha utilizado en todo momento una misma disposición de los elementos y una misma configuración de los mismos. Los parámetros más importantes establecidos en cámara y óptica son:

Tipo de iluminación	Difusa
Shutter time	60 ms
Apertura F	5,6

En dicha tabla, se detallan los valores con los que se van a captar dichas imágenes. El tipo de iluminación es el detallado en el apartado [“4.4.3 Iluminación”](#).

El valor de “Shutter time” o también llamado “Exposure time”, indica el tiempo de exposición. Ésto es el periodo de tiempo que el sensor de la imagen está expuesto a la luz mientras se captura la misma. A mayor tiempo de exposición, mayor cantidad de luz es capturada.

La cantidad de iluminación está así mismo condicionada por el parámetros de apertura del diafragma. Este valor se establece en la lente de la cámara.

Ambos parámetros han de ser establecidos de manera coordinada para obtener imágenes con un nivel de iluminación adecuado, ni sub-expuestas ni sobre-expuestas.

6.4. Capturas de imagen

Siguiendo los pasos enunciados en el apartado 6.2, se logra la captura de varias imágenes de los diferentes tipos de blíster, especificados en el apartado “3.3 Productos a inspeccionar – especificaciones del control de calidad”.

Cada una de estas imágenes se capta con un determinado “Exposure time o Shutter time” dependiendo del producto que se inspecciona, ya que cada uno de estos productos posee unas características diferentes y por esta razón se debe analizar de forma distinta.

Este parámetro ayuda a adecuar la cantidad de luz infrarroja que llega al sensor por unidad de tiempo, y se puede modificar directamente desde el NI MAX.

En la siguiente imagen (Fig. nº 31), se observa resaltado en rojo el apartado desde el cual se modifica este parámetro.

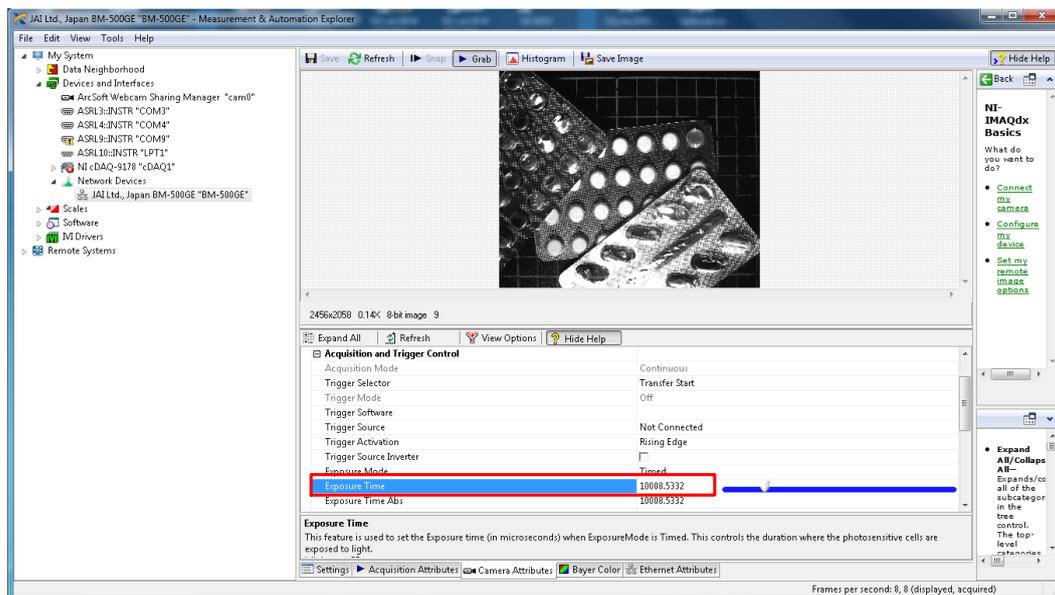
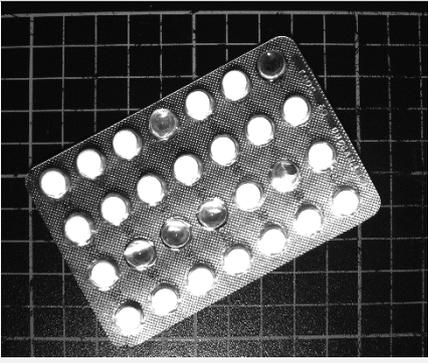


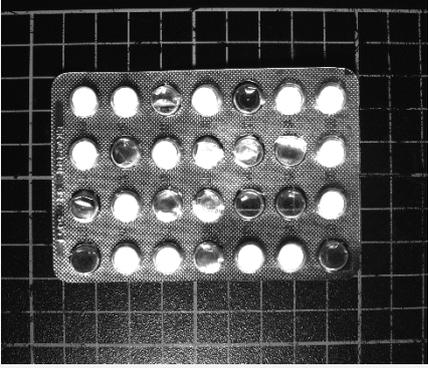
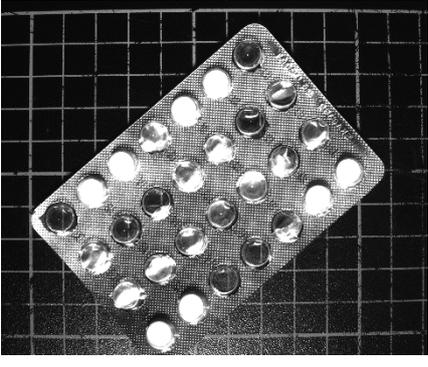
Figura nº 31. Parámetro Exposure time en Vision Assistant.

A continuación, se adjuntan las imágenes obtenidas en estas pruebas de laboratorio.

Producto 1: Blíster pastillas Acfol

Se realiza la captura de diversas imágenes con un tiempo de exposición de 20 ms, cada una de ellas con una orientación y composición diferente. Las diferentes capturas del presente blíster, serán procesadas con el asistente de visión de LabVIEW con el fin de obtener el resultado del control de calidad.

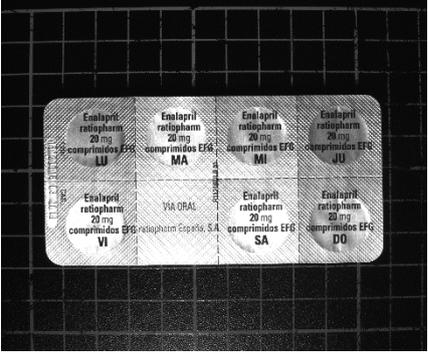
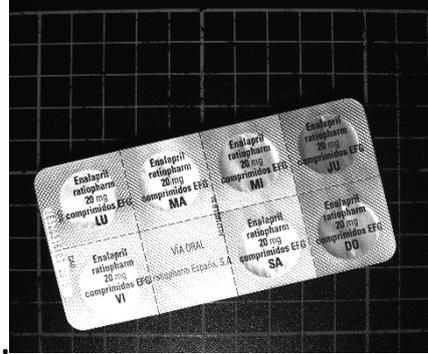
	<p>Blíster posición horizontal con 24 pastillas.</p>
	<p>Blíster posición diagonal con 22 pastillas.</p>
	<p>Blíster posición diagonal con 21 pastillas.</p>

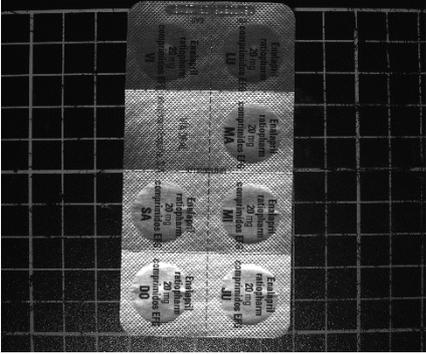
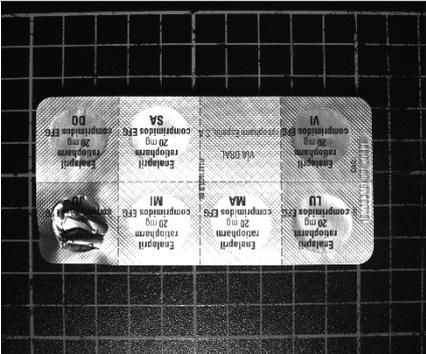
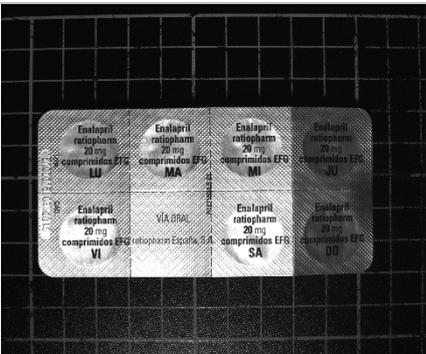
	Blíster posició horitzontal amb 14 pastilles.
	Blíster posició horitzontal amb 8 pastilles.
	Blíster posició horitzontal amb 4 pastilles.
	Blíster posició horitzontal amb 2 pastilles.

Producto 2: Blíster pastillas Enalapril

Por esta razón, se procede a la toma de imágenes de la parte posterior del blíster la cual posee impreso el nombre del producto, su gramaje, así como las iniciales correspondientes a los días de la semana.

Con un tiempo de exposición de entre 15 ms, se pretende capturar con precisión el gramaje impreso en él.

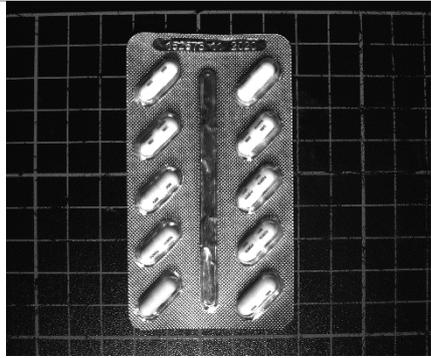
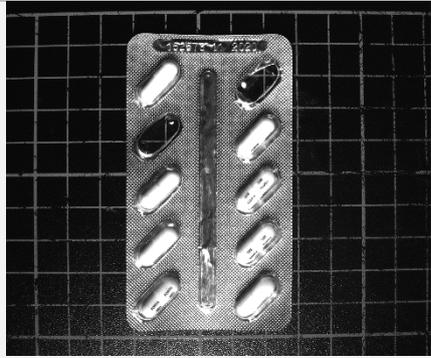
	<p>Blíster posición horizontal.</p>
	<p>Blíster posición diagonal.</p>
	<p>Blíster posición diagonal.</p>

	<p>Blíster posición vertical.</p>
	<p>Blíster posición posición horizontal revertida.</p>
	<p>Blíster posición posición horizontal.</p>

Producto 3: Blíster pastillas Fortasec

Se procede a la captura de las imágenes pertenecientes al producto nº 3. Este producto varía en la posición y forma de la pastilla respecto a los demás, siendo un ejemplo con el que poner a prueba el sistema implementado.

La orientación diagonal de las pastilla en el blíster, así como su composición tipo cápsula son algunos de los factores a tener en cuenta. Se utiliza un tiempo de exposición de 15 ms.

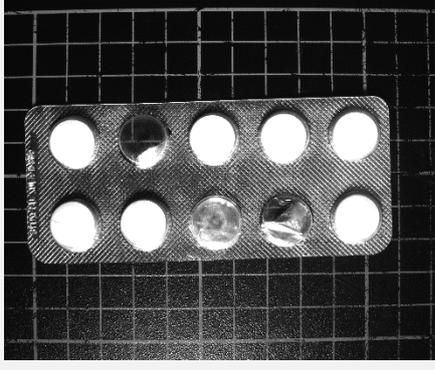
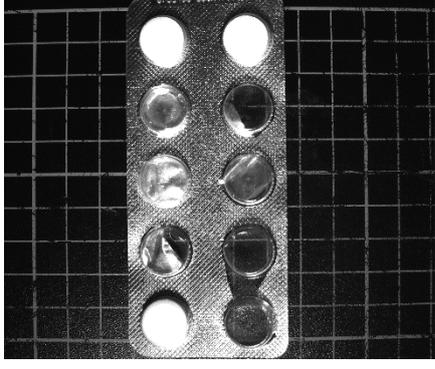
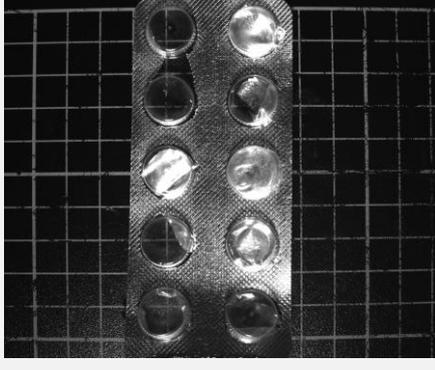
	<p>Blíster posición vertical con 10 pastillas.</p>
	<p>Blíster posición vertical con 8 pastillas.</p>

	Blister posición vertical con 6 pastillas.
	Blister posición vertical con 4 pastillas.
	Blister posición vertical con 2 pastillas.

Producto 4 : Blíster pastillas Frenagar

Finalmente, se procede a la captura del producto nº 4 con un tiempo de exposición de 16 ms. En las capturas realizadas, aparece una pastilla fuera del blíster con el fin de comprobar si el sistema es capaz de detectarla.

	<p>Blíster de 10 pastillas posición horizontal.</p>
	<p>Blíster posición diagonal con 9 pastillas.</p>
	<p>Blíster posición diagonal con 9 pastillas.</p>

	<p>Blíster posició horitzontal amb 7 pastilles</p>
	<p>Blíster posició vertical amb 3 pastilles</p>
	<p>Blíster posició vertical sense pastilles.</p>

7. Procesado de la imagen

En el siguiente punto se desarrolla el procesado de la imagen del producto inspeccionado, el cual proporciona la información necesaria para conocer la eficiencia del sistema de visión ante los diferentes productos y condiciones que se darán en la producción real de los mismos.

A cada uno de los productos expuestos se le aplicará un procesado de imagen diferente, el cual resaltará en cada caso las cualidades del producto que sean de interés para poder calificarlo posteriormente en apto o no apto para su comercialización.

Producto 1: Blíster pastillas Acfol

El siguiente procesado de la imagen es capaz de detectar cada una de las pastillas presentes en el blíster, así como los alveolos que no contengan ninguna. Con este control de calidad se pretenden detectar fallos en el envasado y sellado de los blísteres, no conteniendo todos los alveolos la pastilla esperada. Como se observa en las imágenes del producto 1 tomadas en el apartado “[6.4 Capturas de imagen](#)”, en ciertos casos, en los alveolos vacíos el aluminio posterior produce reflejos indeseados a los que el procesado de visión es inmune.

Para comenzar, se iniciará el asistente de LabVIEW para visión (Vision assistant) el cual mostrará una ventana como la representada en la figura nº 32 en la que se muestran las diversas opciones para la obtención de imágenes.

En nuestro caso, elegiremos la opción “Open Image”, ya que tenemos las capturas del blíster almacenadas en una carpeta.

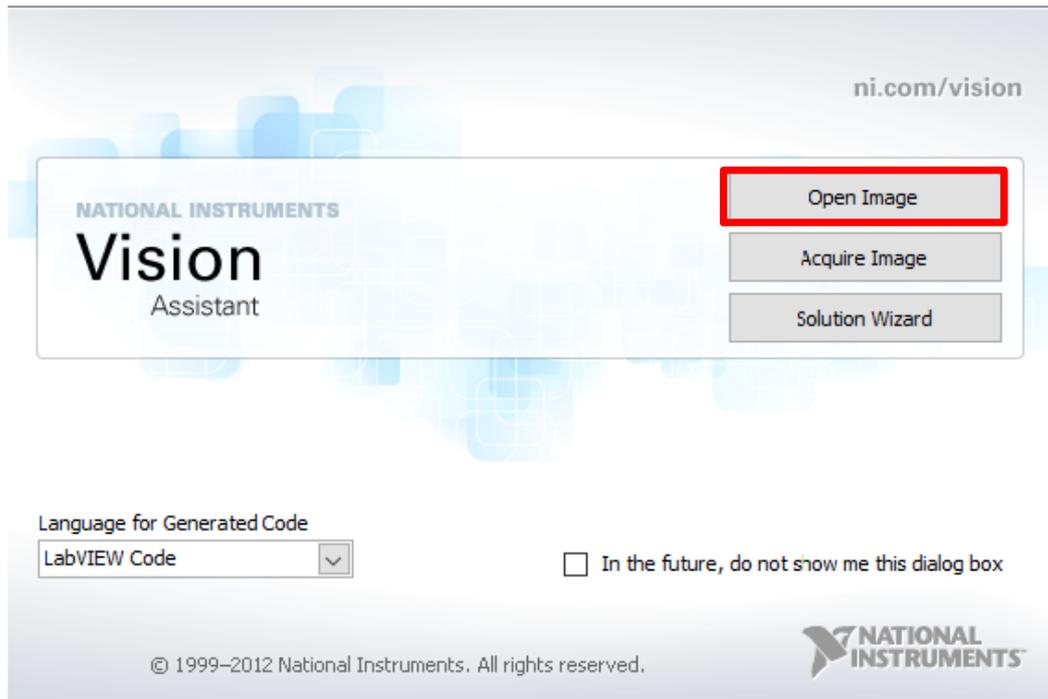


Figura nº 10. Ventana inicial Vision Assitant.

Una vez seleccionadas las imágenes capturadas del producto 1, estas pasarán a la ventana situada en la parte superior izquierda del asistente.

Como se observa en la figura nº 33, desde esta ventana se muestra el número de imágenes de las que se dispone, así como la visualización de cada una de ellas.

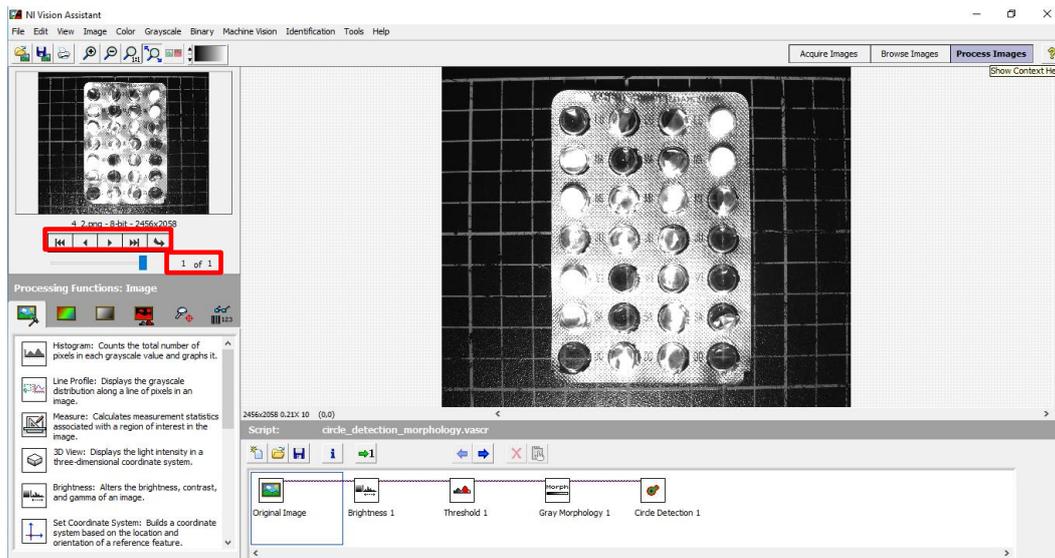


Figura nº 33. Ventana visualización imágenes.

A continuación, se procede a la aplicación de las herramientas necesarias para la detección de falta de producto en el presente blíster.

Para ello y como se muestra en la figura nº 34, se comienza aplicando la herramienta llamada “Brightness” situada en el apartado del procesamiento de la imagen “Image” con el fin de modificar ciertos parámetros de la imagen como son el brillo, la saturación y la corrección gamma. La aplicación de dichos parámetros facilitará la eliminación de los reflejos y brillos debidos al sellado de aluminio del blíster, etc.

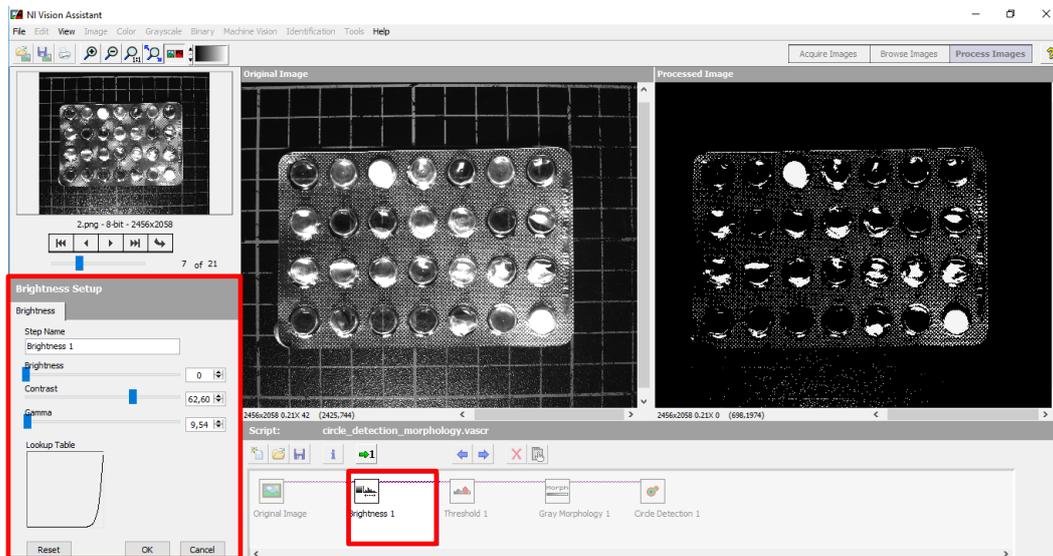


Figura nº 34. Brightness Setup.

En la siguiente imagen Fig. nº 34, en la parte inferior izquierda se puede observar la ventana en la que se modifican los valores de estos parámetros, y en la parte central se verá cómo afectan estas variaciones a la imagen que estamos analizando.

El siguiente paso, consiste en aplicar la herramienta "Threshold" situada en el apartado de procesado de la imagen "Grayscale", cuya función es permitir filtrar rangos de valores de píxeles en una escala de grises que no contienen la información que se está buscando.

En la figura nº 35, se presenta el procedimiento de uso de esta herramienta para seleccionar un rango de valores por encima de 104, así como su posterior resultado.

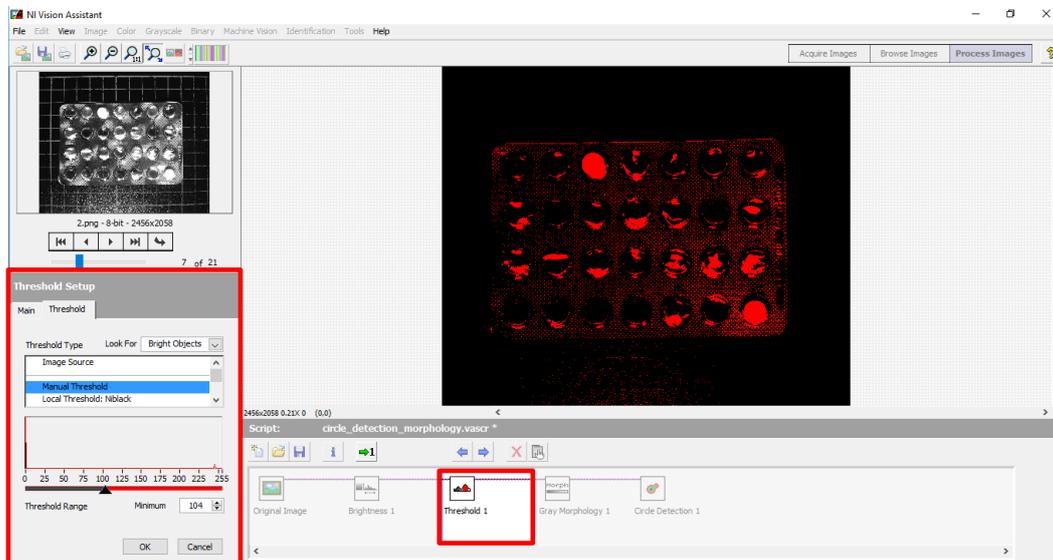


Figura nº 11. Threshold setup.

Con el resultado obtenido y siguiendo con el procesado del presente blíster, se hace uso de la herramienta “Gray morphology” con la que se consigue modificar la forma de ciertos objetos de una imagen. En este caso, se aplica el filtro “Erode” el cual erosiona los contornos de los elementos conectados, logrando así eliminar los que no representen la pastilla en la imagen.

Dicho proceso se muestra en la siguiente imagen Figura nº 36.

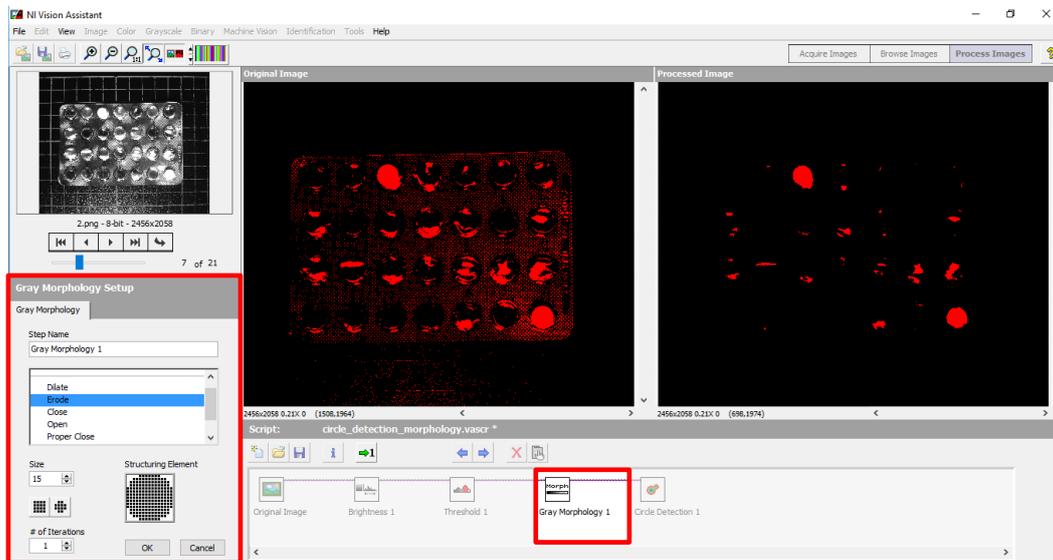


Figura nº 12. Gray Morphology setup-Erode.

Como podemos apreciar en la imagen, se consigue reducir todos aquellos píxeles que representan los elementos que no son de interés, como son el plástico del blíster o el aluminio de sellado del alveolo.

De esta forma se consigue resaltar solo los círculos pertenecientes a las pastillas presentes en el blíster, que serán detectados mediante la última herramienta utilizada.

Dicha herramienta se denomina “Circle detection” y se encarga de detectar los círculos presentes en la imagen definidos por los parámetros de radio máximo y mínimo.

El resultado de la aplicación es una tabla Fig. nº 37, detallando la cantidad de círculos detectados con sus respectivas características.

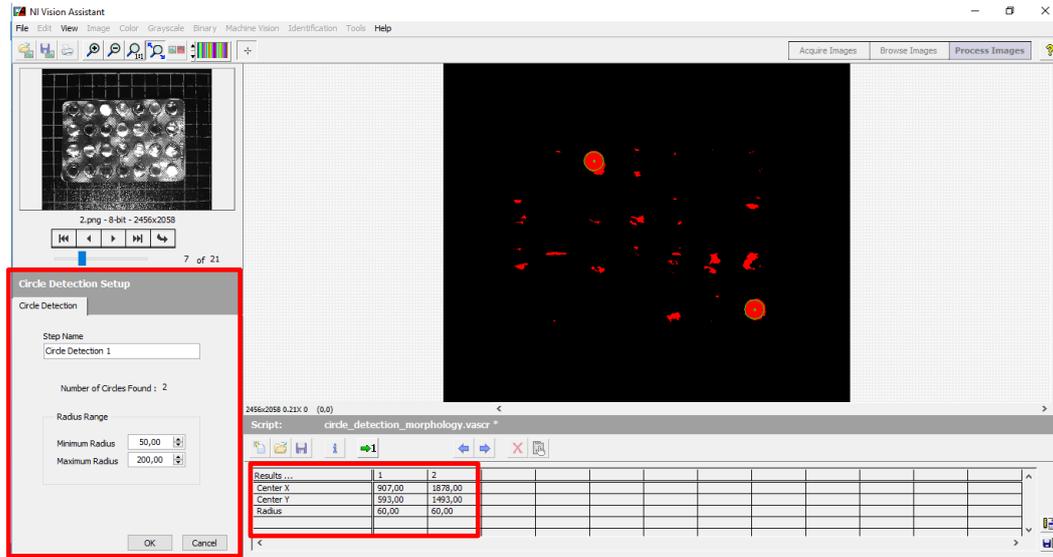


Figura nº 13. Circle detection.

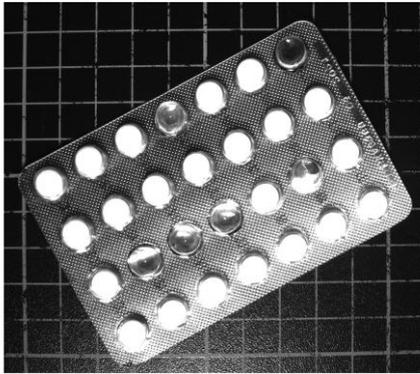


Imagen capturada blíster 2

Procesado de la imagen

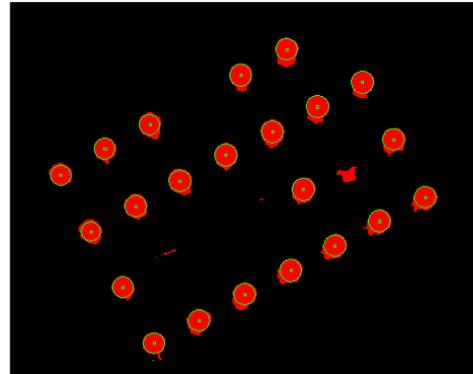
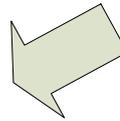
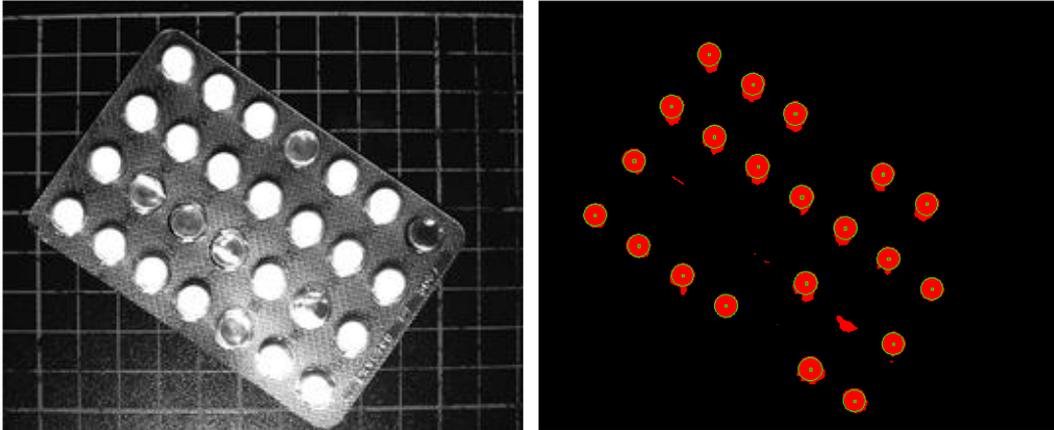


Imagen procesada blíster 2

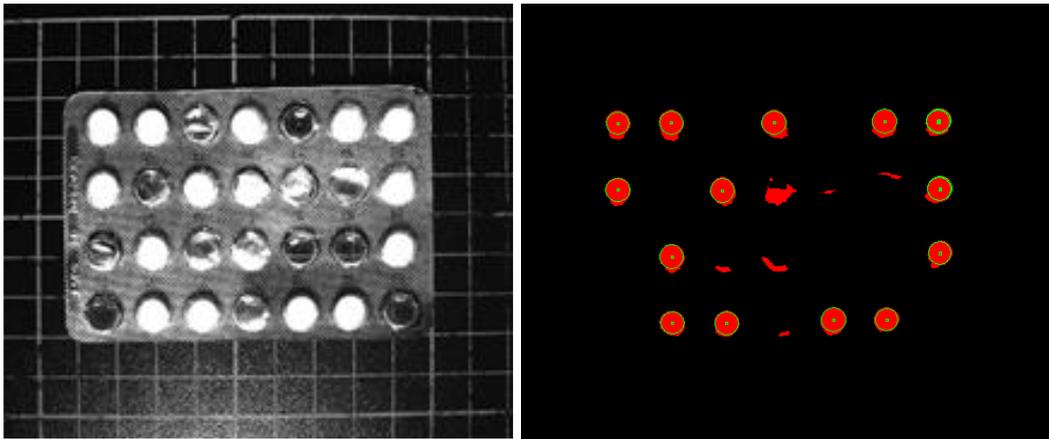


Circle #	Center X	Center Y	Radius
1	1343	474	52
2	1132	593	52
3	1693	626	52
4	1486	740	53
5	712	823	50
6	1277	856	53
7	1837	891	52
8	505	935	50
9	1063	965	53
10	301	1057	49
11	852	1084	52
12	1420	1123	53
13	1983	1162	51
14	648	1203	52
15	1772	1271	52
16	441	1319	48
17	1566	1386	52
18	1362	1500	53
19	588	1579	50
20	1150	1611	52
21	939	1733	51
22	732	1839	50

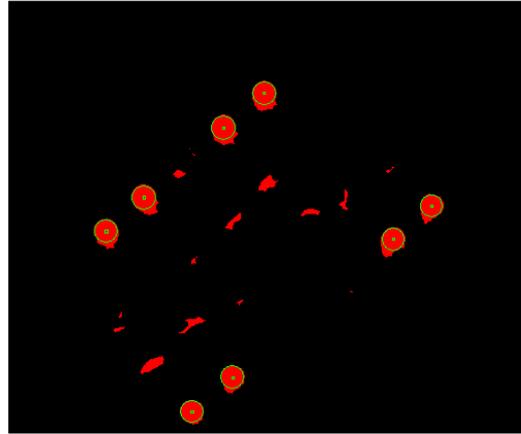
A continuación detallamos los demás resultados del procesado de las imágenes pertenecientes al producto nº 1 expuestas en el apartado “6.4 Capturas de imagen”, en los que se vuelve a cumplir que cada uno de ellos detecte las pastillas sin que la orientación o el estado del blíster afecte al resultado.



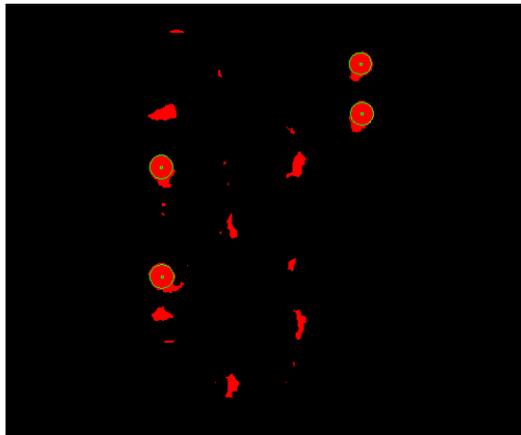
Blíster posición diagonal de 21 pastillas detectadas.



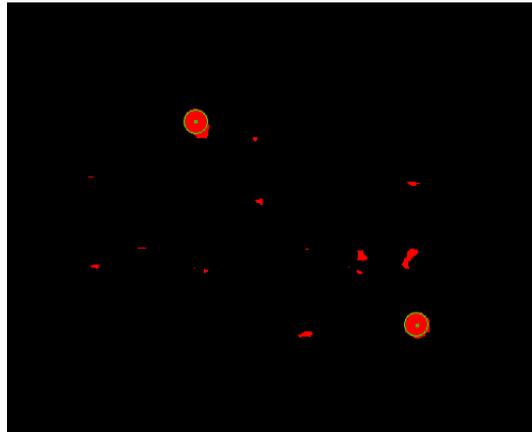
Blíster posición horizontal de 14 pastillas detectadas.



Blíster posición diagonal de 8 pastillas detectadas.



Blíster posición vertical de 4 pastillas detectadas.



Blíster posición horizontal de 2 pastillas detectadas.

La detección de la cantidad exacta de pastillas presentes en el blíster, es una de las principales aplicaciones en la industria farmacéutica, por lo que el proceso de análisis y conteo debe de ser capaz de detectarlas aunque exista una rotación en la posición del mismo o se haya producido una rotura en la capa de sellado de aluminio.

Finalmente, tras aplicar el procesado comentado, se obtiene una eficiencia en la detección de pastilla existente del 100%, mostrando de esta forma la eficacia del sistema de visión implementado sobre el producto nº 1.

Como se observa en esta primera imagen procesada, el número de pastillas que el Script realizado detecta es igual al número total de pastillas que este contiene. De esta forma, se verifica que el procesado diseñado para este primer producto cumple su cometido. A continuación se muestran diferentes ejemplos de procesado bajo diferentes condiciones de posición del blíster y contenido en pastillas.

Con este ensayo, se comprueba que el sistema cumple las exigencias del producto nº 1.

Producto 2: Blíster pastillas Enalapril

Para el análisis de este producto, se presta especial atención a la serigrafía existente en la parte posterior del blíster, en concreto el que representa el gramaje (20 mg)

Este mismo producto se produce en varios gramajes, por lo que se ha de asegurar que la serigrafía de esta información es siempre visible y clara para el usuario. Este control de calidad es de vital importancia en la fabricación de este producto. Este factor consiste en la importancia de que el aluminio de sellado lleve impreso en él el gramaje correcto, ya que un error en uno de los blísteres podría afectar considerablemente a la salud de cualquier persona que necesite una cantidad específica de ese fármaco.

Para llevarlo a cabo, se hará uso de nuevo del software “Visual Assistant” en el cual se programaran las funciones necesarias para la detección de la parte de la serigrafía en cuestión.

Tal y como se menciona en el posterior procesado del [producto nº 1](#), se comenzará iniciando el programa y seleccionando las imágenes capturadas del producto.

Una vez seleccionada la primera imagen, se hace uso de la herramienta “Brightness” con el fin de eliminar brillos presentes en las imágenes y facilitar la posterior captura de caracteres.

El resultado de la aplicación de esta herramienta puede verse en la figura nº 38.

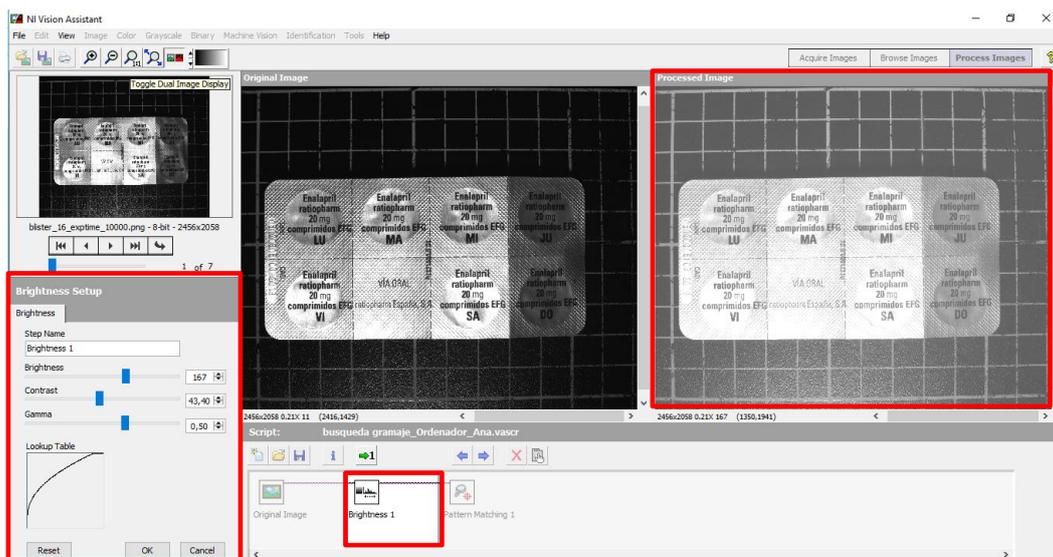


Figura nº 14. Aplicación Brightness en producto nº 2.

Seguidamente, se hace uso de la herramienta “Pattern Matching” situada en el apartado de “Machine Vision”. El cometido de dicha herramienta es el de detectar un patrón existente en la imagen o en una región de interés a definir por el usuario. Este patrón o característica se define previamente sobre una o varias imágenes que se toman como referencia.

En la siguiente figura nº 39, se muestra cómo se ha aplicado esta herramienta, además se visualiza el patrón(o Template) escogido.

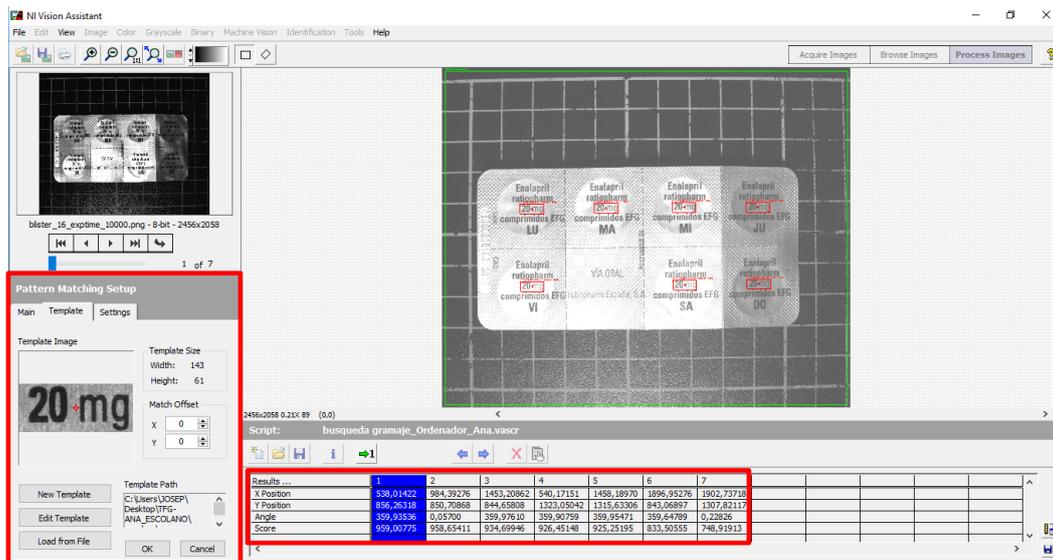


Figura nº 39. Aplicación de la herramienta “Pattern Matching”

Se deberán definir ciertos parámetros de búsqueda representados en la imagen Figura nº 40, situados en el apartado “Settings” dentro de la misma aplicación.

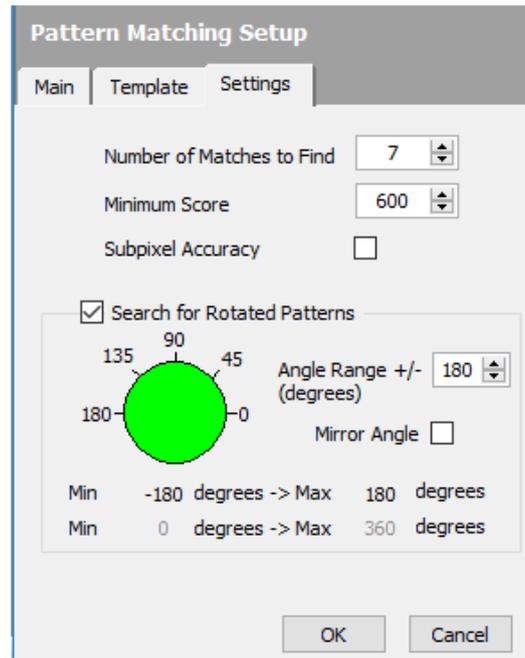


Figura nº 15. Ajustes de la herramienta Pattern Matching.

Estos parámetros, dictan el número de muestras a encontrar, así como el mínimo “score” o relación que debe de tener la muestra para considerarse un resultado correcto.

Además, es posible definir un ángulo de rotación para asegurar la detección en ciertas muestras orientadas en un ángulo diferente al del patrón escogido.

Finalmente, se obtienen las imágenes capturadas con las detecciones del patrón definido (en este caso el de “20 mg”).

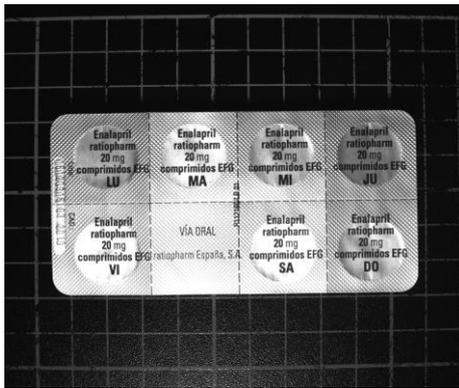


Imagen captura blíster 1

Procesado de la imagen

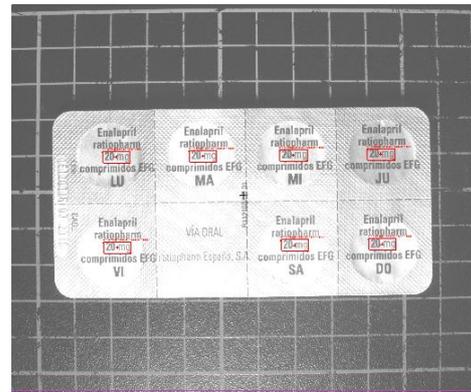
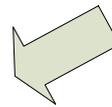
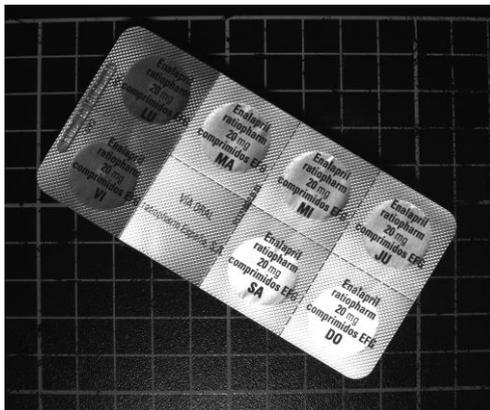


Imagen procesada blíster 1



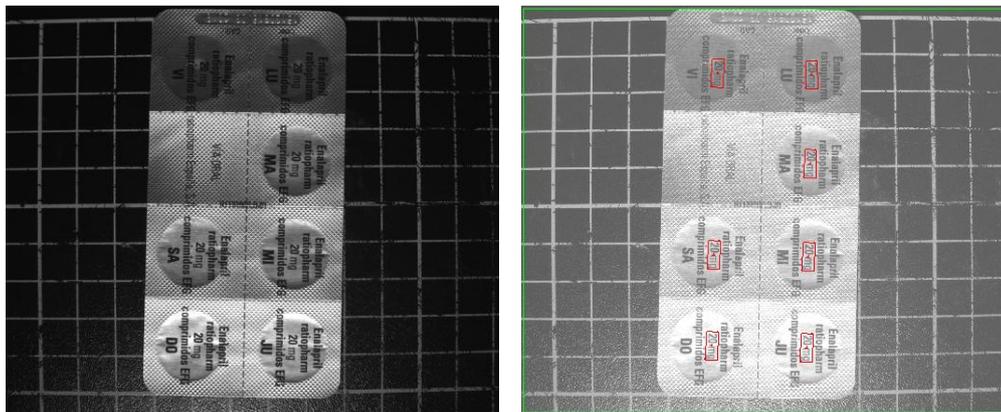
	X Position	Y Position	Angle	Score
1	571,99689	826,99768	0,00713	996,54254
2	1020,35419	821,58673	359,90646	960,18274
3	1487,95166	815,97809	359,97083	956,4516
4	1939,08154	810,5694	359,98468	946,51508
5	1493,78308	1284,26172	0,095	944,3595
6	578,04993	1295,81079	359,84525	936,39807
7	1946,04163	1278,25183	0,08034	930,24908



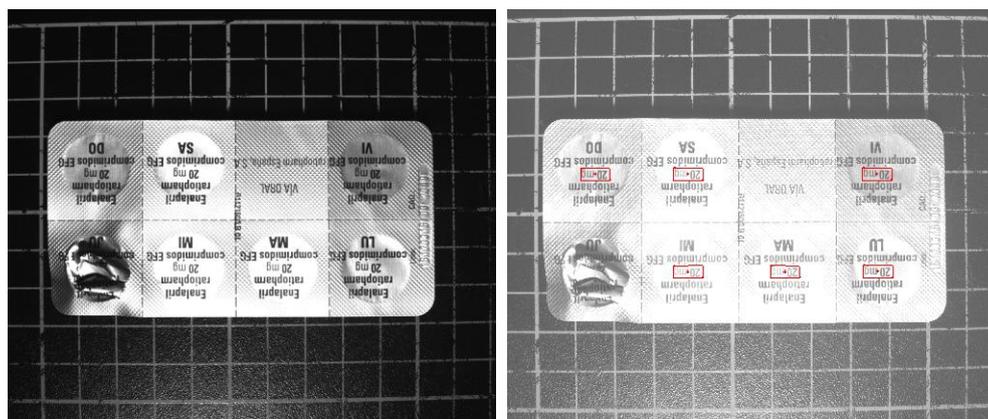
Blíster posición diagonal con 7 detecciones.



Blíster posición diagonal con 7 detecciones.



Blíster posición vertical con 7 detecciones



Blíster posición horizontal con 6 detecciones por rotura de un alveolo

El procesado y análisis de las imágenes de este producto proporcionan la información necesaria para catalogar el producto como válido, ya que se detecta cada uno de los impresos del gramaje excepto por rotura de un alveolo del producto. En este último caso, no se puede asegurar que el producto proporcione la información imprescindible, por lo que debería ser descartado.

Se concluye que para el producto nº 2 el sistema de visión realiza correctamente la inspección del producto.

Producto 3: Blíster pastillas Fortasec

En el siguiente procesado se analiza y cuenta la cantidad de cápsulas presentes en un blíster con las pastillas orientadas de forma diagonal.

Debido a su orientación, el presente producto requiere unas condiciones especiales de procesado ya que se producen mayor cantidad de reflejos, sombras y otros efectos que perjudican a la calidad de la imagen capturada.

Para llevar a cabo dicho procesado, se comenzará con la aplicación de la herramienta “Threshold” ya nombrada anteriormente en el procesado del producto nº 1, con la que se consigue obtener la imagen en escala de grises.

En esta ocasión, se aplica el “Auto Threshold – Inter variance” el cual calcula el valor óptimo de umbral en el que se debe binarizar cada imagen dependiendo de su contenido en la escala de grises.

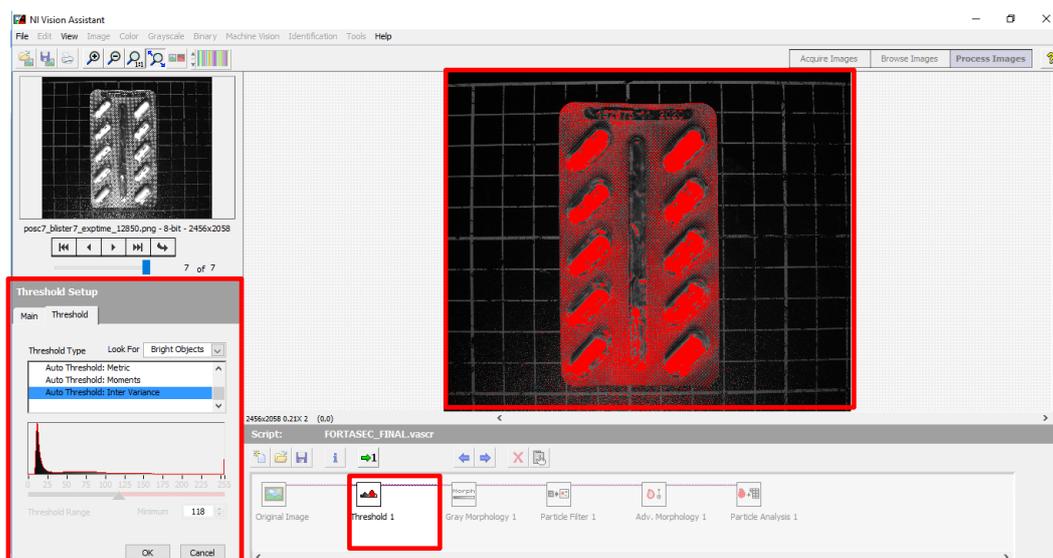


Figura nº 41 Auto threshold – Inter variance.

Posteriormente y con el fin de reducir los elementos conectados que no son pastillas aplicaremos la herramienta “Erode” perteneciente a “Gray Morphology”. De esta manera, se

logra reducir considerablemente la información de fondo que se produce por la reflexión en la propia superficie del blíster.

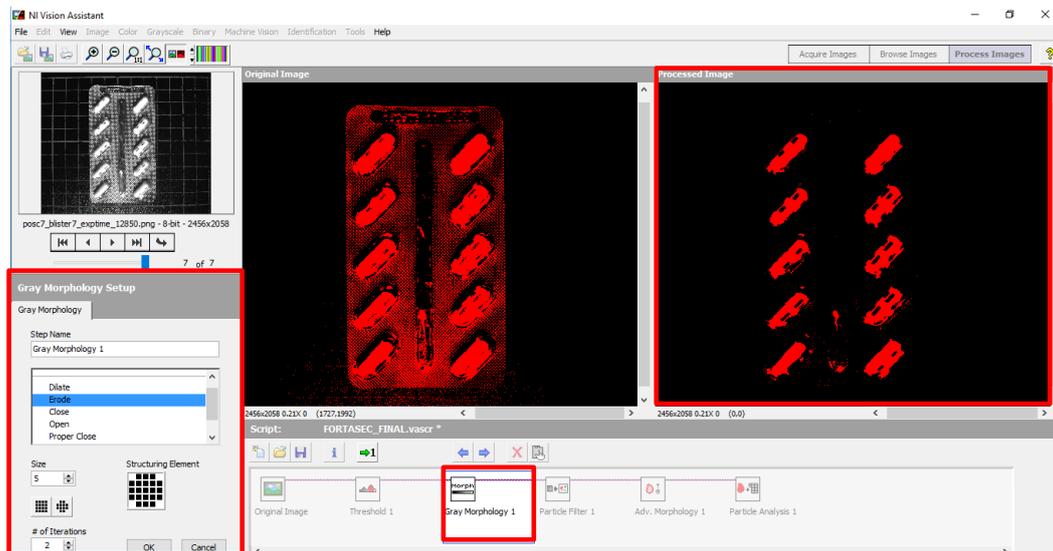


Figura nº 16. Aplicación herramienta Erode.

Seguidamente, se hará uso de la herramienta "Particle Filter" la cual posee una lista de parámetros a configurar para lograr reducir o eliminar todas aquellas partículas que aún pueden quedar en la imagen y obstaculicen o no sean de interés durante el análisis de la imagen.

En este caso se hace uso del parámetro "Área", donde se definen los valores máximos y mínimos de área que se desea eliminar o filtrar. Al introducir los valores de área pertenecientes a las pastillas, se eliminan todos aquellos elementos conectados que no cumplen dichas condiciones obteniendo así la imagen deseada.

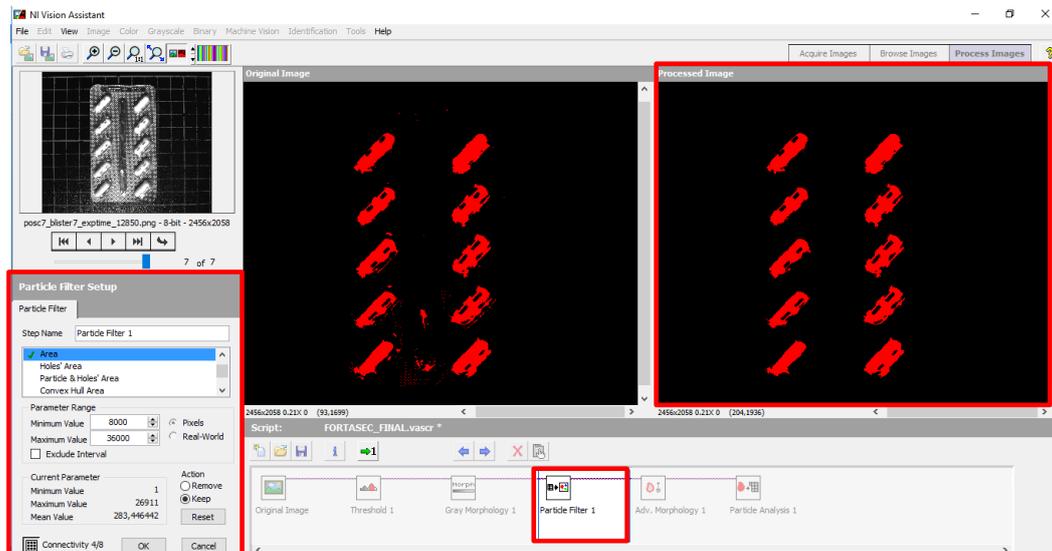


Figura nº 43. Aplicación de "Particle Filter"

Como se observa en la imagen de la figura nº 43, en la imagen procesada existen ciertas áreas dentro de la representación de la pastilla formando huecos dentro de ella. Estos son los píxeles pertenecientes al nombre del producto impreso en cada cápsula.

Con el fin de eliminar dichos huecos y lograr una representación de la cápsula lo más similar a la realidad, se aplica el filtro llamado "Advanced Morphology".

Una de las herramientas pertenecientes a este algoritmo, es la función "Fill holes" la cual resulta muy útil en este caso, ya que rellena las pequeñas áreas de píxeles dentro de los elementos conectas que podrían llevar a confusión al algoritmo.

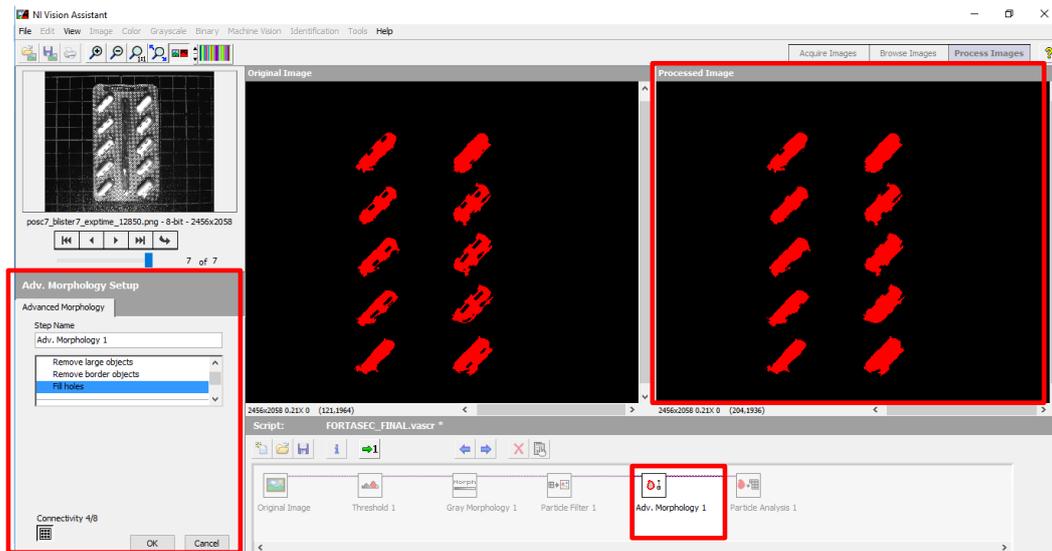


Figura nº 17. Herramienta "Fill holes".

Tras esta mejora en la visualización de las cápsulas, se procede al conteo de las mismas mediante la detección de partículas. Para ello se hace uso de la herramienta "Particle analysis", la cual determinará, condicionada al parámetro "área", el número de elementos existentes en la imagen con sus respectivos valores de superficie.

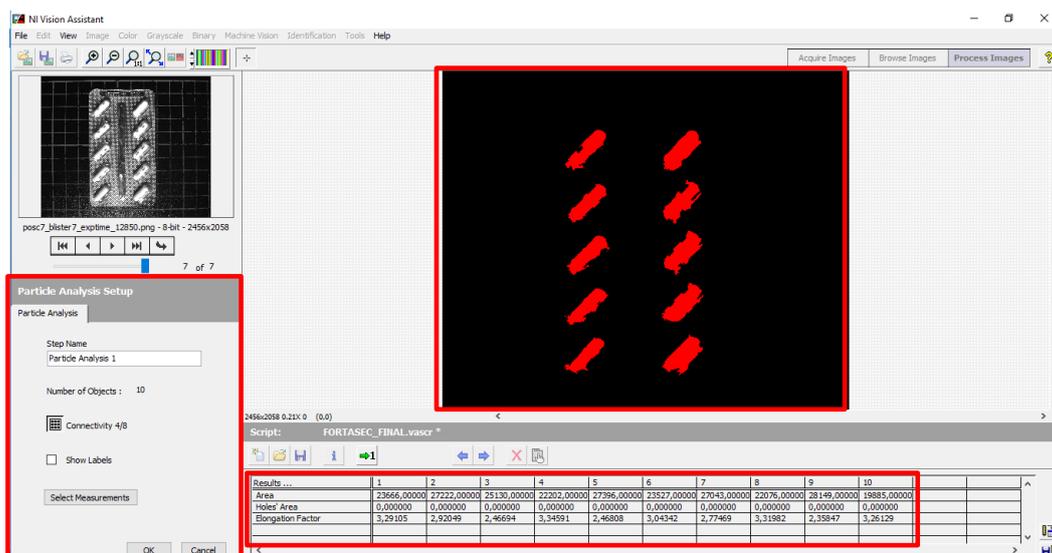
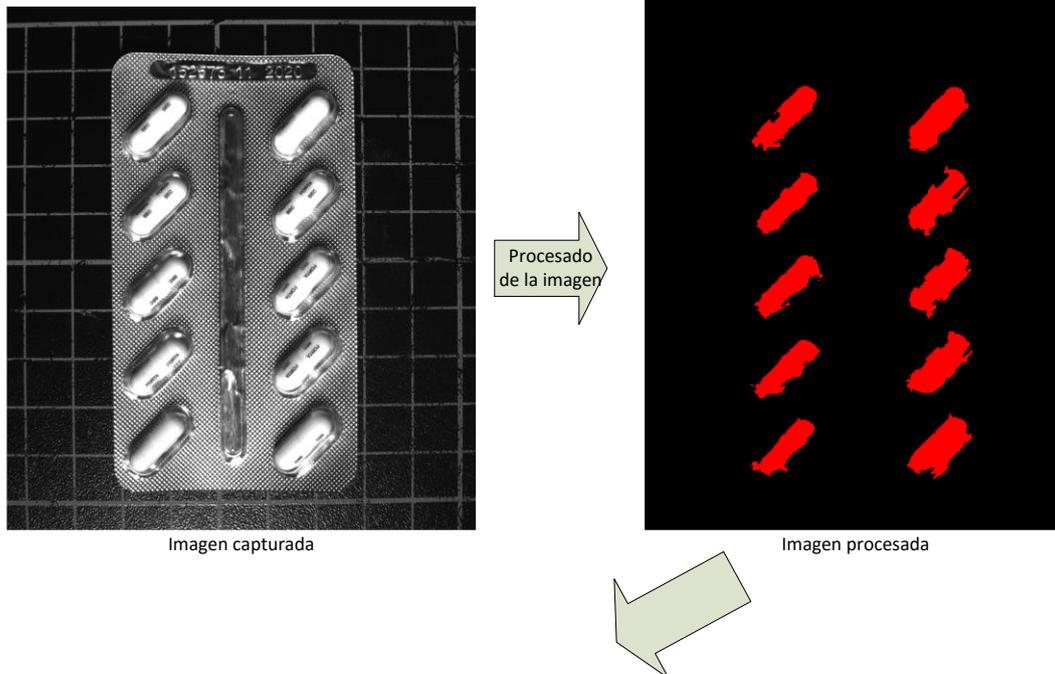


Figura nº 18. Particle Analysis.

El resultado de esta aplicación, es una tabla con el número de cápsulas encontradas en el blíster analizado.

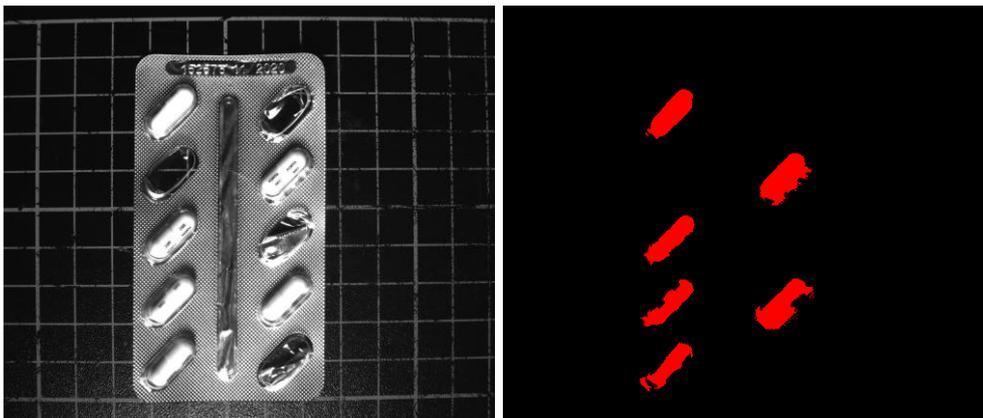


	Area	Hdes' Area	ElongationF
1	2084	0	35199
2	2561	0	30178
3	2806	0	25805
4	2085	0	34501
5	2888	0	25215
6	2082	0	32088
7	2334	0	27888
8	2087	0	36462
9	2655	0	24678
10	1857	0	33198

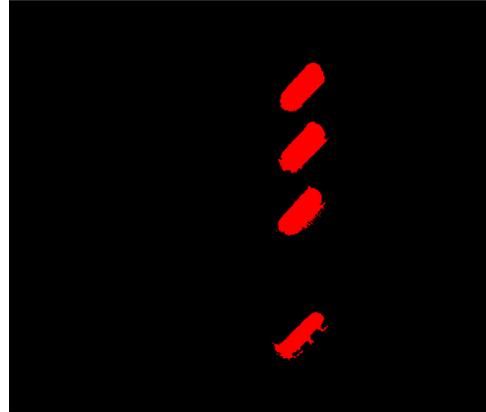
A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las imágenes capturadas.



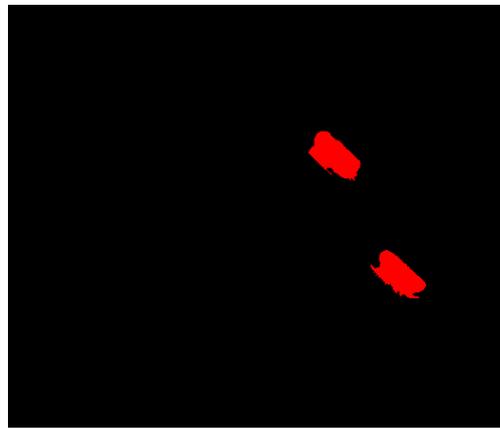
Blíster posición vertical y detección de 8 cápsulas



Blíster posición vertical y detección de 6 cápsulas



Blíster posición vertical y detección de 4 cápsulas



Blíster posición horizontal y detección de 2 cápsulas

Como se puede observar en las imágenes analizadas, el sistema detecta cada una de las cápsulas presentes en el blíster y no los alveolos que no contienen producto.

Producto 4: Blíster pastillas Franagar

Por último se desarrolla el análisis del producto nº 4. Puesto que las pastillas son circulares, el procesado de la imagen será similar al del [producto nº 1](#). La mayor diferencia reside en el tamaño de la pastilla y el fondo que produce el blíster en la imagen.

En el procesado de esta imagen, se ha preparado un caso simulando un problema poco frecuente pero posible, en el que se detecta una cantidad de pastillas superior a las que puede albergar un blíster. En este caso, la pastilla se sitúa fuera del blíster y se comprobará que el sistema es capaz de detectarla y dar la señal correspondiente para su expulsión de la línea de producción.

Las herramientas utilizadas para el procesado, son las mismas que en el producto nº 1, pero con la particularidad de que los valores de cada parámetro son distintos ya que las características también lo son.

Para empezar ajustaremos los niveles de brillo, saturación y corrección gamma, para lograr la mejor imagen posible del producto.

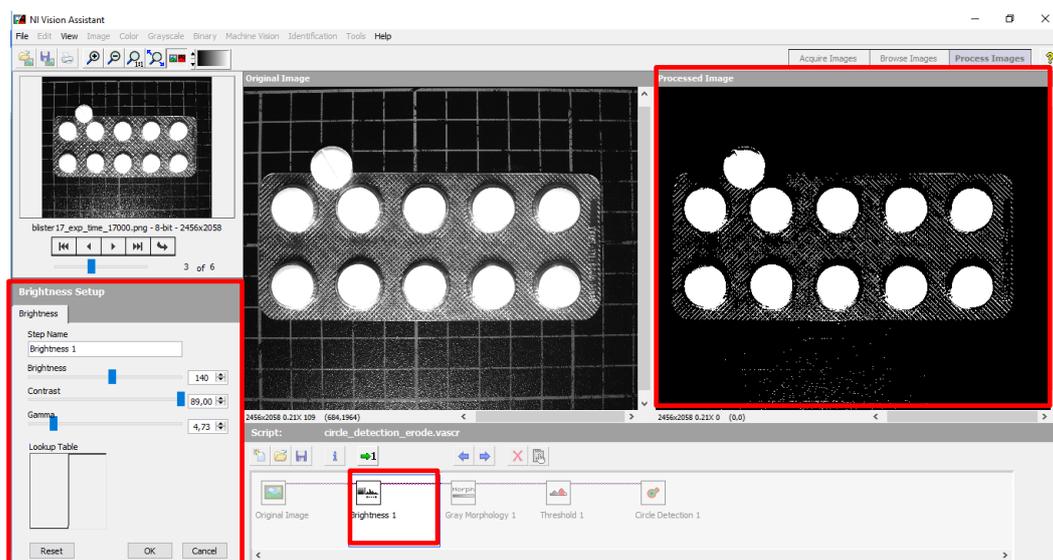


Figura nº 19. Herramienta Brightness.

Tras esto, se accederá al parámetro “Erode” de la herramienta Gray Morphology con la que se eliminará aquellos píxeles vecinos que poseen menos intensidad y obstaculizan el detectado de las pastillas.

Como se observa en la figura nº 47, tras la aplicación de esta herramienta se visualizan de forma clara las pastillas presentes en la imagen.

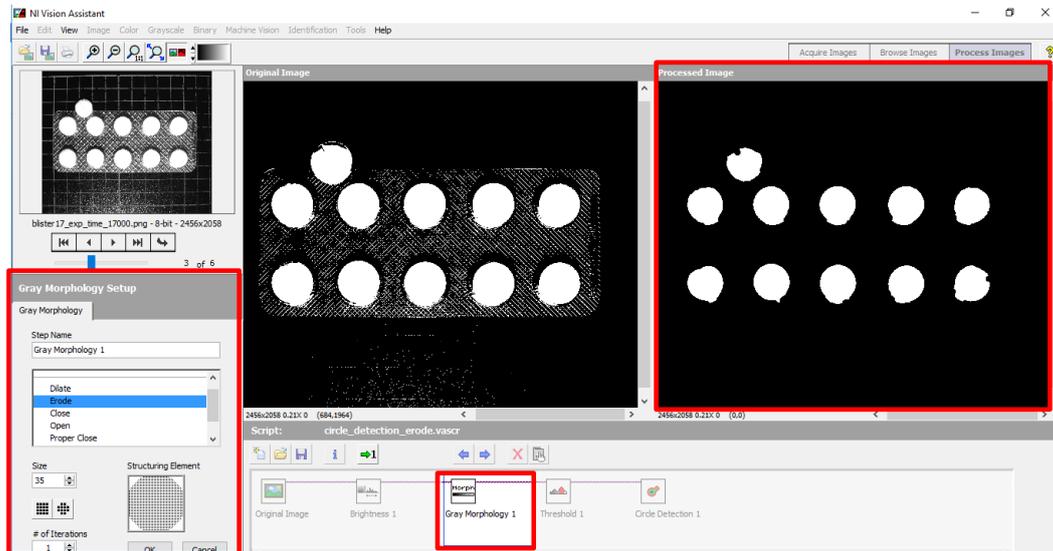


Figura nº 20. Herramienta Gray Morphology.

Para obtener la imagen en formato binario, se accederá a la herramienta "Threshold" en la que obtendremos la imagen en valores de escala de grises. Esta vez, se utiliza el "Manual Threshold" con el que se ajusta manualmente el rango de valores que se desea tener, en este caso se escoge un valor mínimo de 71.

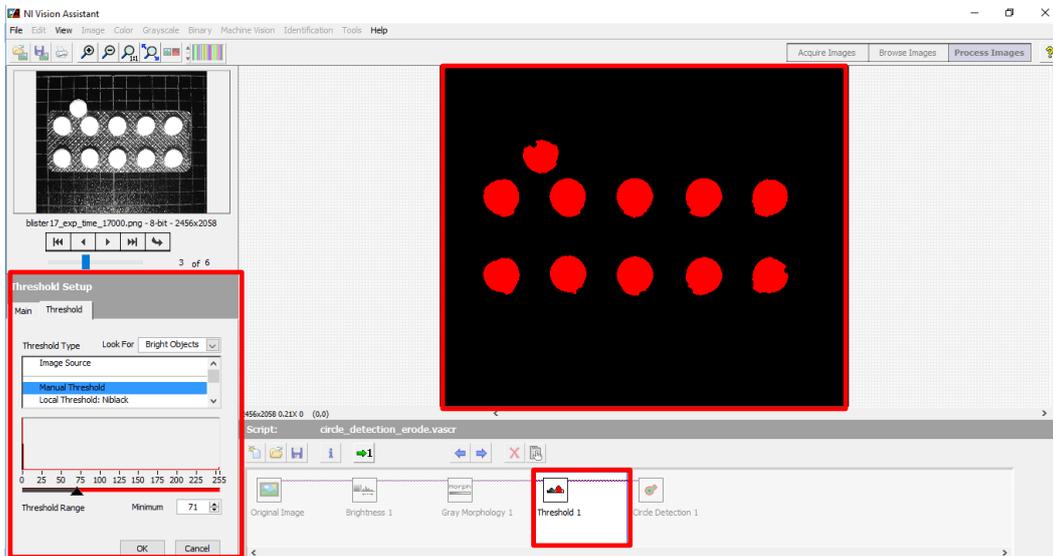


Figura nº 21. Herramienta "Threshold"

Finalmente, se aplicará la herramienta "Circle detection" con la que se llevará a cabo el conteo de cada una de las pastillas presentes en la imagen, devolviendo el número total de ellas y alguna de las características de las mismas como son el centro X, centro Y y el radio.

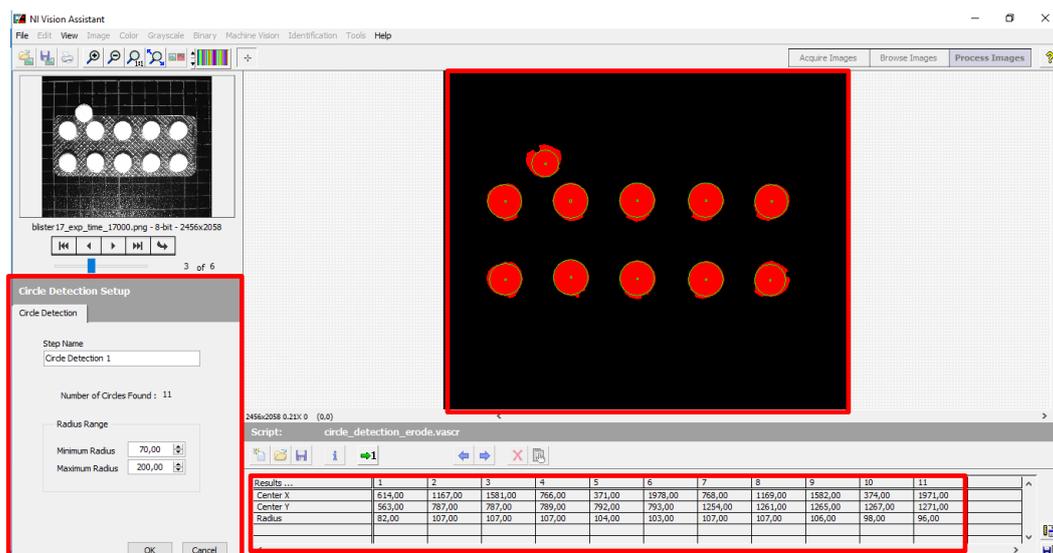
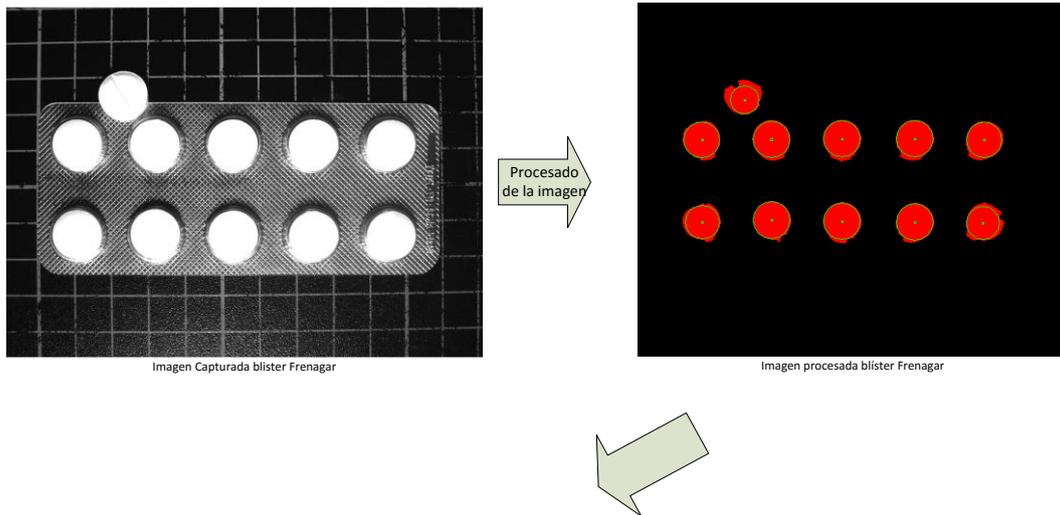
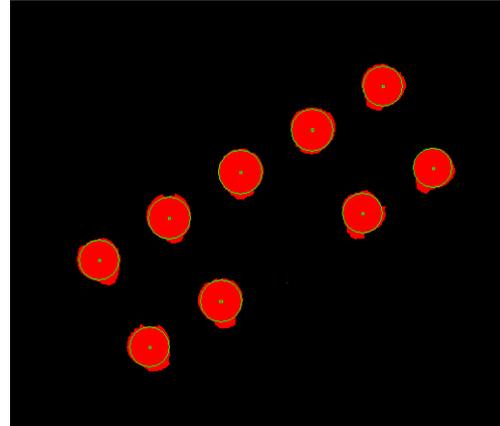


Figura nº 22. Circle detection.

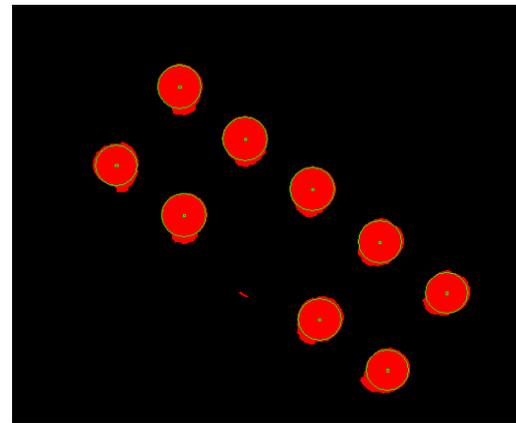
Finalmente, se presentan los resultados del análisis de cada una de las imágenes tomadas, confirmando la capacidad del sistema para detectar cada una de las pastillas presentes en el blíster.



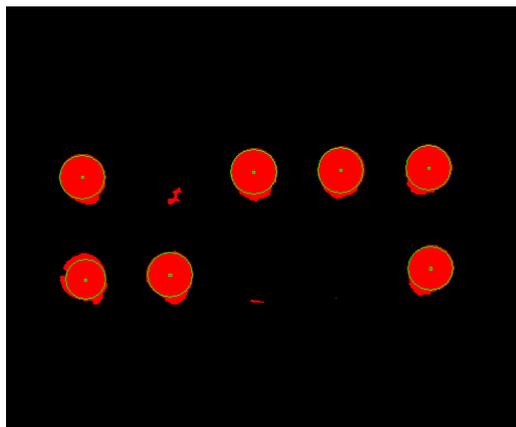
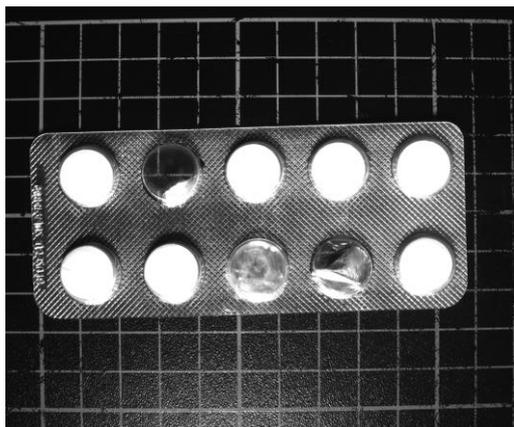
Circle #	Center X	Center Y	Radius
1	614	563	82
2	1167	787	107
3	1581	787	107
4	766	789	107
5	371	792	104
6	1978	793	103
7	768	1254	107
8	1169	1261	107
9	1582	1265	106
10	374	1267	98
11	1971	1271	96



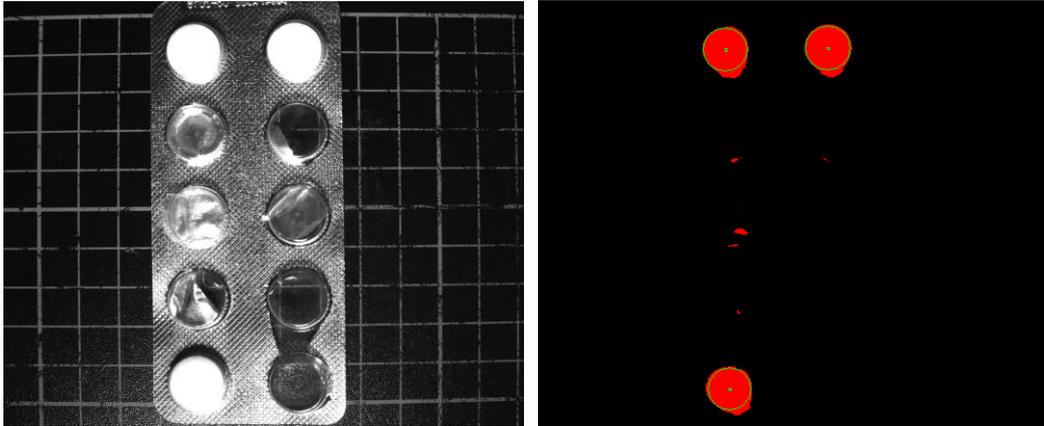
Blíster de 9 pastillas detectadas.



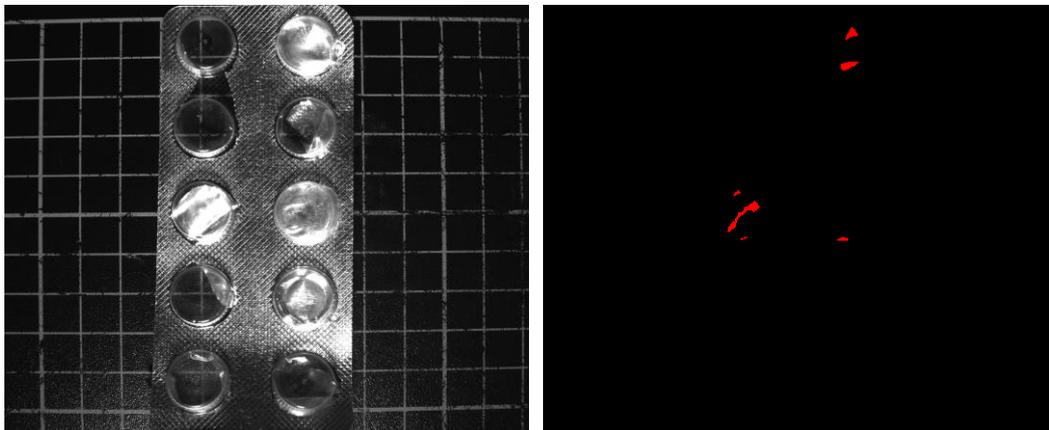
Blíster de 9 pastillas detectadas.



Blíster de 7 pastillas detectadas.



Blíster de 3 pastillas detectadas.



Blíster sin pastillas detectadas.

Como se puede observar, el procesado y detección de producto apto y no apto para el tipo nº 4 se realiza correctamente sobre todas las muestras obtenidas.

8. Conclusiones

8.1. Académicas.

A lo largo de la realización del presente proyecto, se ha demostrado la capacidad de análisis y control de calidad del sistema, debido a su amplia y eficaz respuesta ante los diferentes tipos de productos farmacéuticos. La utilidad de esta clase de sistemas, en determinados sectores industriales es notable debido a su amplio rango de aplicación.

En el presente proyecto, se ha podido comprobar la efectividad del sistema para detectar pastillas o caracteres en un producto con diferentes características de forma, posición, orientación, o incluso formato de embalaje.

8.2. Personales.

Durante la realización del proyecto, he adquirido diversos conocimientos en el área de la visión artificial. Con la ayuda de estos conocimientos, he desarrollado una aplicación básica enfocada a la detección de falta de producto en blísteres para el sector farmacéutico. Durante el mismo, he podido comprobar la eficiencia de este tipo de sistemas, especialmente debido a su rápido y efectivo análisis de producto.

Los sistemas de control de calidad mediante visión artificial aplicados a procesos productivos están actualmente en auge y es difícil no encontrar estos sistemas en las grandes empresas. Es por esto que este proyecto me resultaba de gran interés, esperando que pueda ser de utilidad.

9. Agradecimientos

Quisiera agradecer a D. José Bohigues, director general de AUTIS Ingenieros, por haberme ofrecido y puesto a mi disposición todos los recursos necesarios para la realización de este proyecto.

Especialmente, quisiera agradecer a D.^a Lorena Rausell Curbelo, Director técnico del departamento de Sistemas de Visión Artificial y Diseño Industrial en AUTIS Ingenieros, por su tiempo, interés y atención ofrecida, dándome todo el soporte que he necesitado y sin el cual no habría sido posible llevar a cabo este proyecto.

También a mi tutor D. Manuel Llorca Alcón, Profesor Titular del Departamento de Informática de Sistemas y Computadores adscrito al Campus de Alcoy de la Universidad Politécnica de Valencia, por su disponibilidad y atención en todo momento.

10. Bibliografía

- Adept electronic solutions 2010, *Camera JAI BM-500 GE*.
- Asesor en visión artificial, Infaimon 2015, *Catálogo*.
- Czeranowsky, D.C. 2016, "What lenses are available and how do you select the right lens for a camera?".
- Czeranowsky, D.C. & Schwär, M. 2015, "How do you asses Image Quality?".
- Jefatura del Estado 2006, "Ley de garantías y uso racional de los medicamentos y productos sanitarios."
- Komoto 2011, *Ultra High Power Illuminator*, Datasheet edn, Taiwan.
- MIDOTP midwest optical systems 2012, *Machine vision filters*, USA.
- Ministerio industria, energía y turismo. 2012, PRESCRIPCIONES PARTICULARES PARA LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE LOS LOCALES CON RIESGO DE INCENDIO O EXPLOSIÓN.
- NI Vision Manual software Vision Assitant.
- Niederjohann, D.B. 2014, "Fundamentals of image precessing system".
- Schwär, M. & Toth, D. 2014, "Camera selection".
- Siemens 2015, Simatic s7-1200 basic controller.
- Ulrich Druzella 2011, *Visión artificial, una tecnología industrial*.
- Universidad Nacional de Quilmes 2005, "Aspectos de un sistema de visión artificial".

11. Anexos