

La visión por computador en la fabricación cero defectos. Tecnología al servicio de la eficacia

Silvia Satorres Martínez

Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática

Universidad de Jaén

Conferencias de Posgrado

Facultad de Informática

Universidad Complutense de Madrid

3 de junio de 2021



**Universidad
de Jaén**



**UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID**

Índice

1	Sobre mí
2	Visión por computador industrial
3	Visión especular
4	La fabricación cero defectos (ZDM)
5	Conclusiones

Sobre mí ...

- **Afiliación:** Profesora Titular de la Universidad de Jaén
- **Labor profesional:** 20 años de experiencia docente, investigadora y de gestión
- **Líneas de investigación:** Visión por computador aplicada a la inspección de la calidad, fusión sensorial en robótica manipuladora, aplicación del control automático a la elaiotecnia y olivicultura
- **Amplia experiencia en transferencia de tecnología**



Soluciones

Visión especular

- Inspección automática de la calidad estética de piezas y componentes con superficiales especulares (transparentes y reflectantes).



Automatización

- Desarrollo de soluciones complejas de sistemas automáticos y robóticos avanzados (inventariado automático, células robotizadas, medición en línea, etc.)



Smart-agro

- La línea de agricultura de precisión que cuenta con varios dispositivos Industria 4.0 englobados bajo la marca registrada Almazara 4.0 y Olivar 4.0 (Smart-NIR, Smart-Enose, Smart-Eye)



Integración sensorial y robótica

Clientes

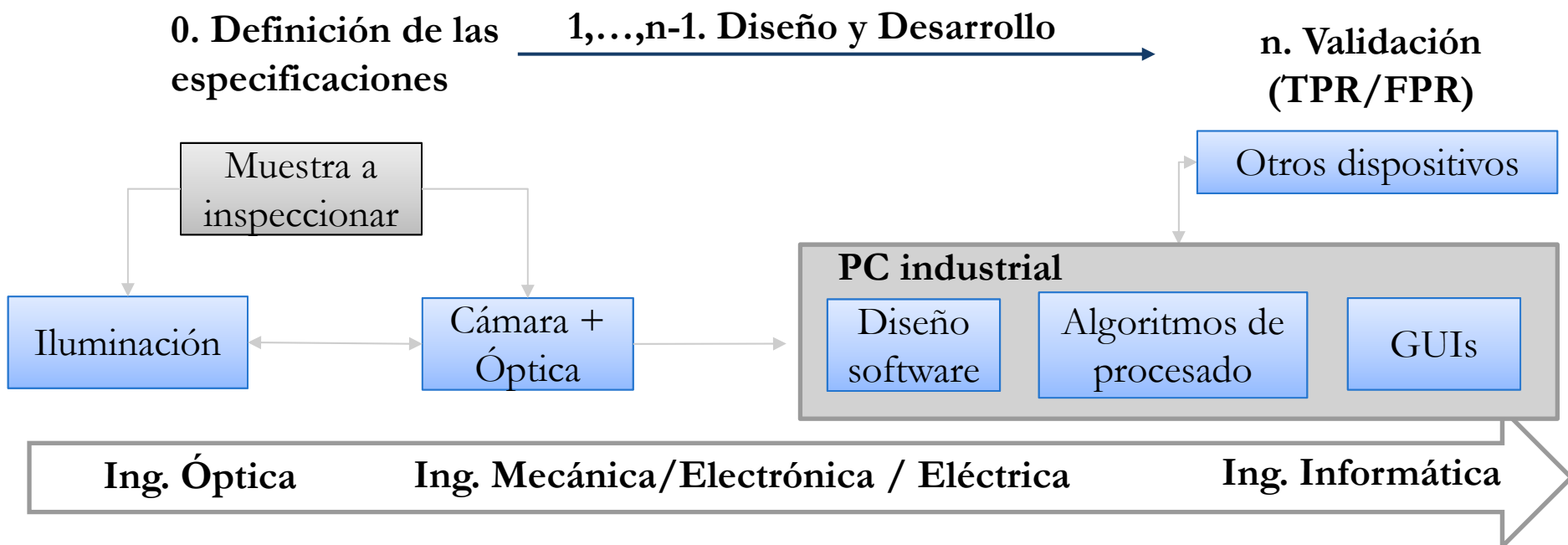


Índice

1	Sobre mí
2	Visión por computador industrial
3	Visión especular
4	La fabricación cero defectos (ZDM)
5	Conclusiones

Visión por computador industrial

- **Machine Vision:** Conjunto de dispositivos, procedimientos y métodos que permiten obtener, procesar y analizar imágenes del mundo real con objeto de automatizar una amplia gama de tareas en un entorno industrial.
- El **éxito** en el desarrollo de un sistema de visión por computador depende del entendimiento de todas las partes involucradas en el proceso de extracción de información de una imagen → **CONOCIMIENTO MULTIDISCIPLINAR**



[1] Handbook of Machine Vision. Alexander Hornberg. 2006 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. ISBN-10: 9783527405848.

7

[2] Handbook of Machine and Computer Vision. Alexander Hornberg. 2017 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. ISBN-10: 9783527413416.

Visión por computador industrial

Iluminación

¿Qué
necesitas ver?

¿Qué verá
el sistema
de visión?

¿Cómo resaltar
lo que es
necesario ver?

In the beginning there was light

¿Dónde
están los
límites?

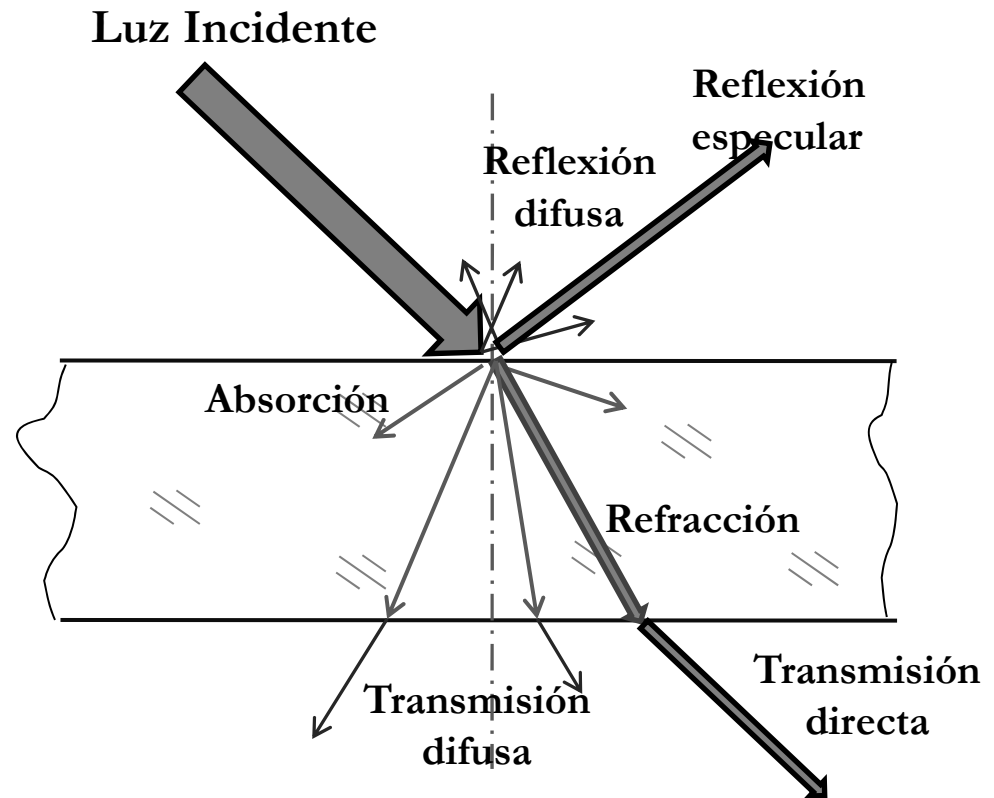
¿Es estable
en la
práctica?

Ventajas y
desventajas de la
fuente de
iluminación a
utilizar

Visión por computador industrial

Iluminación

Distribución de la luz al incidir sobre un objeto



- Propiedades reflexivas → materiales especulares, difusos, reflectores o selectivos o no al espectro
- Propiedades absorbentes → materiales selectivos o no selectivos al espectro
- Propiedades transmitivas → materiales transparentes, translúcidos y selectivos al espectro

Visión por computador industrial

Iluminación

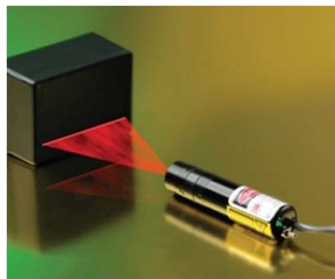
Tecnologías



Halógena



Fluorescentes



Láser

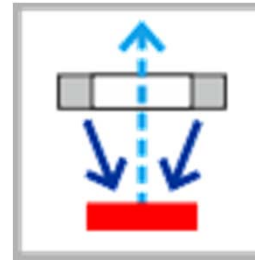


Fibra óptica

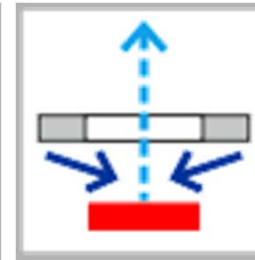


LEDs

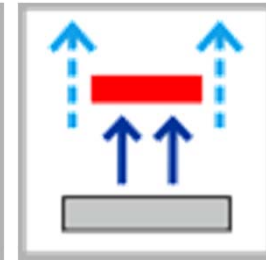
Técnicas



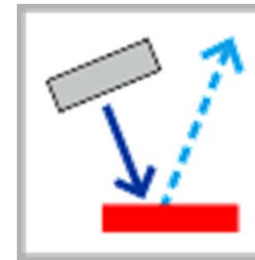
Radial



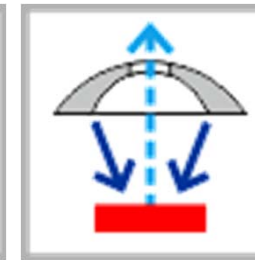
Darkfield



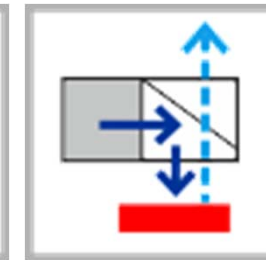
Backlight



Brightfield



Cloudy day

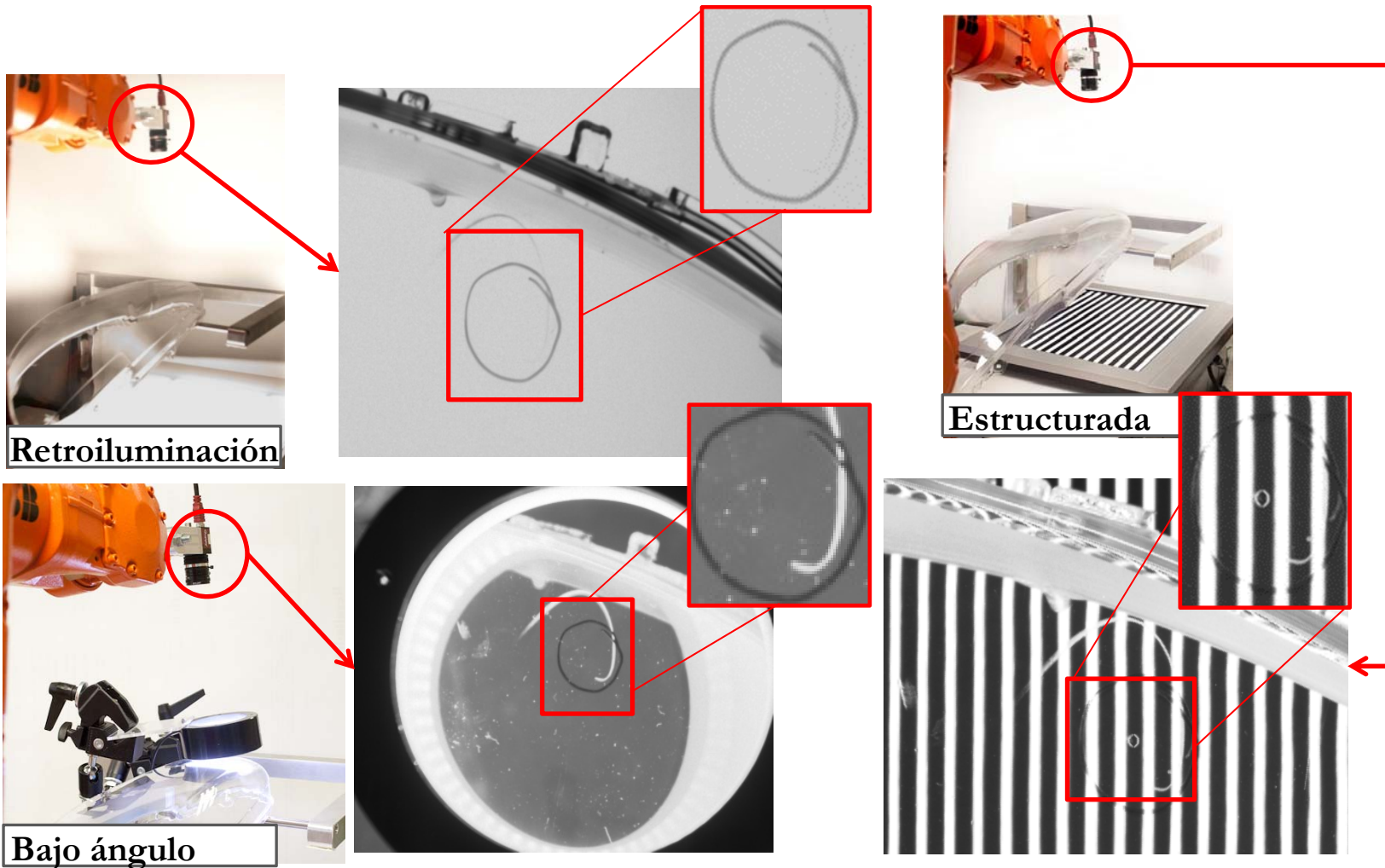


Coaxial

<https://www.opto-e.com/basics/lighting>

Visión por computador industrial

Ejemplo práctico de selección de sistema de iluminación



Visión por computador industrial

Ejemplo práctico de selección de sistema de iluminación



Estructurada

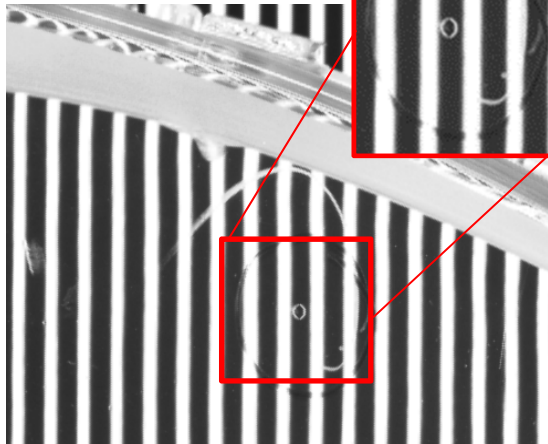
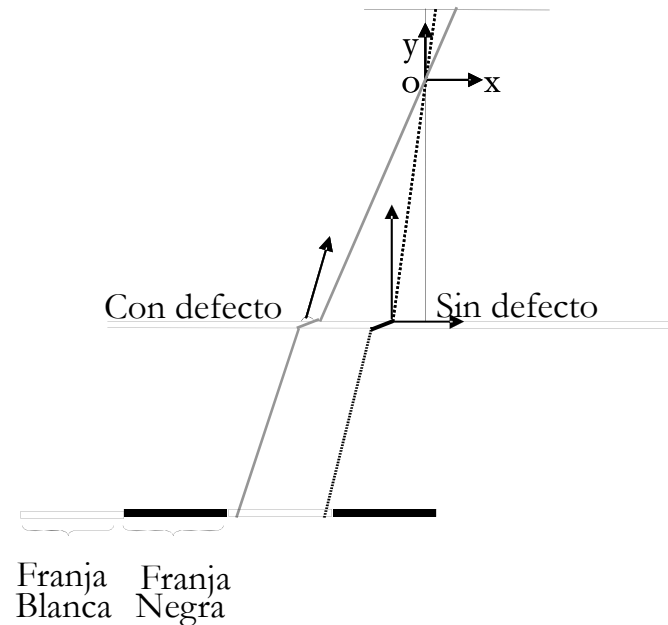


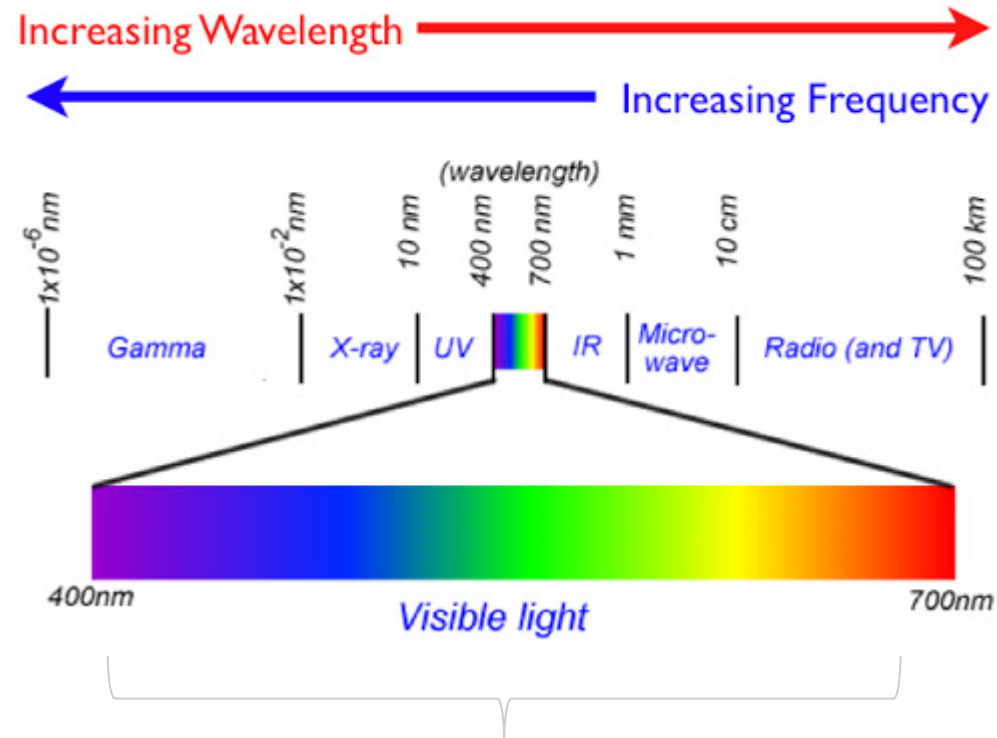
Imagen en el CCD  ← Defecto



- Los defectos aparecen contrastados del resto de la superficie en las transiciones entre franjas.
- Para asegurar la detección de cualquier defecto el patrón de franjas debe recorrer toda la superficie.
- Para maximizar el contraste entre de defectos y fondo debe saturarse el sensor visión.

Visión por computador industrial

Cámaras



LWIR (8.000-12.000nm)



MWIR (3.000-5.000nm)



SWIR (1.000-2.500nm)

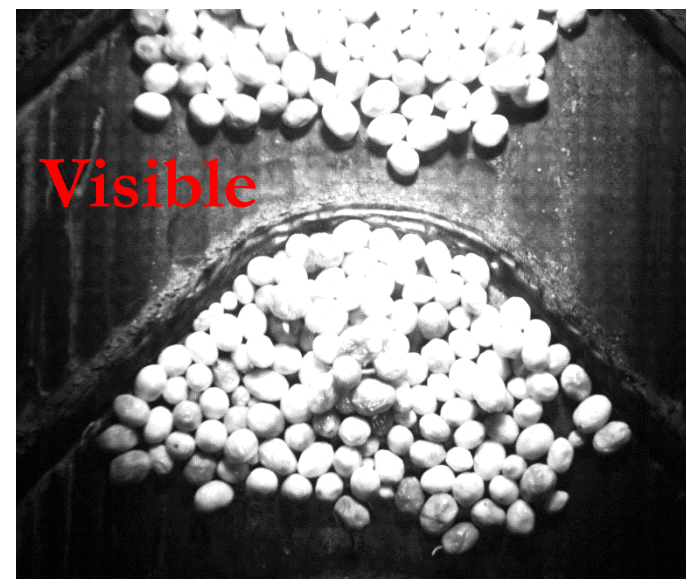
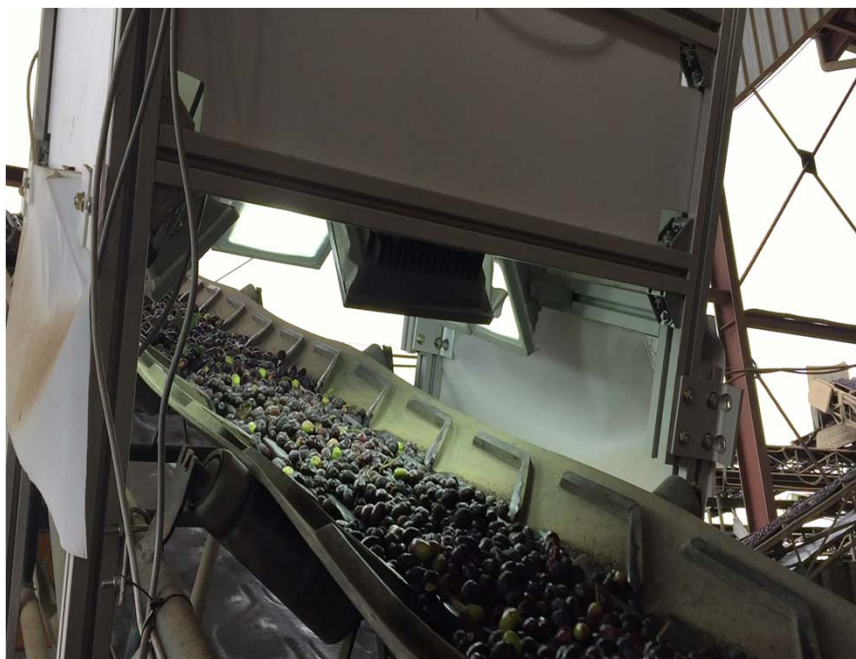
Visión por computador industrial

Ejemplos de aplicaciones. Cámaras espectro visible / NIR

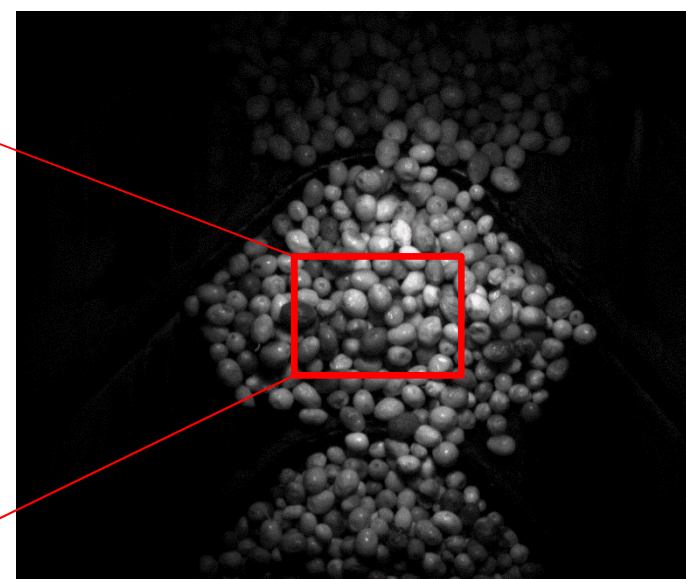


Visión por computador industrial

Ejemplos de aplicaciones. Cámara multispectral vs espectro visible



Multispectral

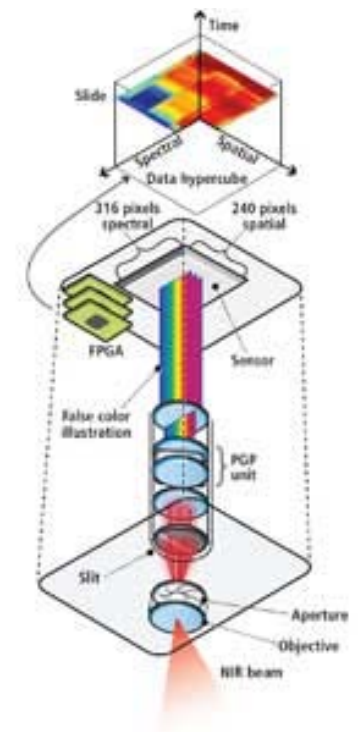
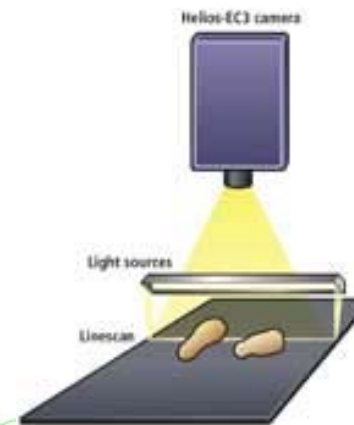
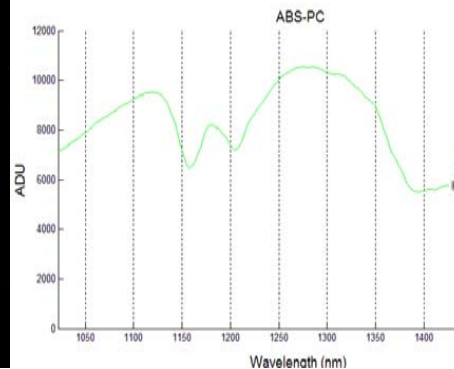
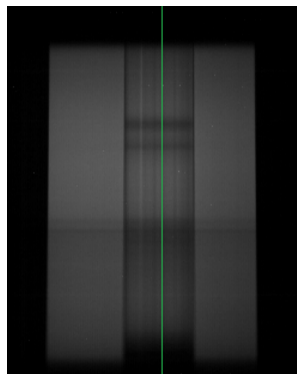
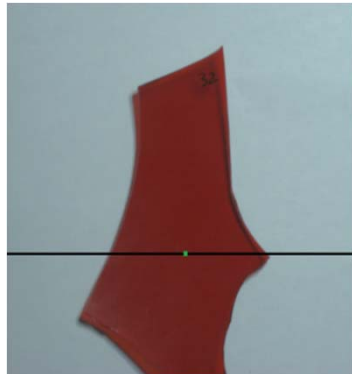


Visión por computador industrial

Ejemplos de aplicaciones. Cámara hiperespectral (SWIR)

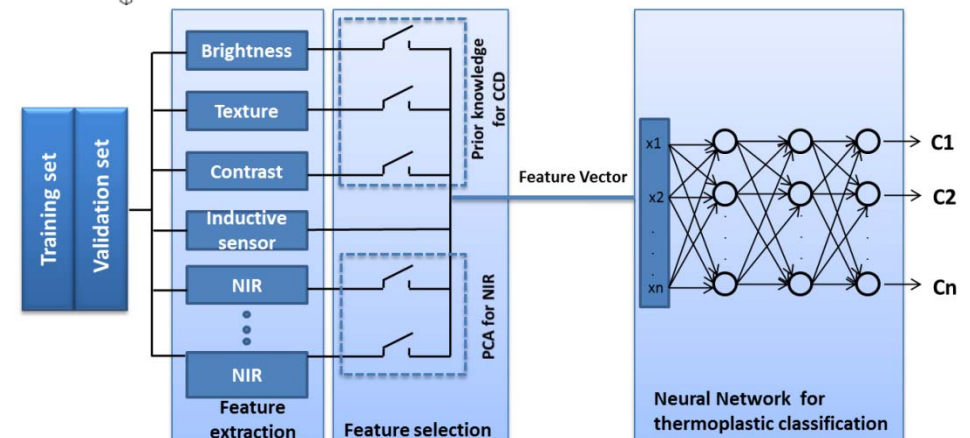
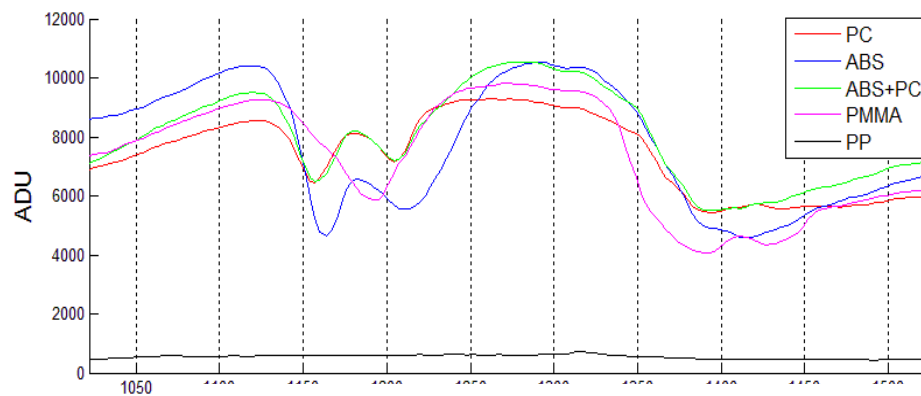
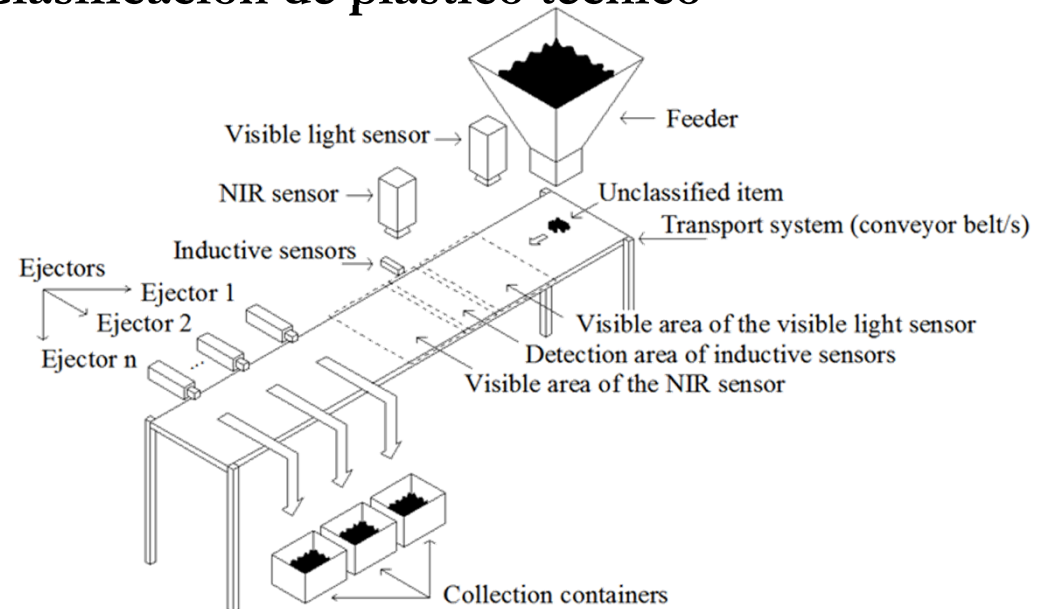


- Son la combinación de un espectrógrafo de imagen y una cámara monocromo matricial que genera una imagen hiperespectral
- A través del espectrógrafo se descompone una línea de la muestra en una imagen 2D compuesta por información espectral (eje Y) e información espacial (eje X)



Visión por computador industrial

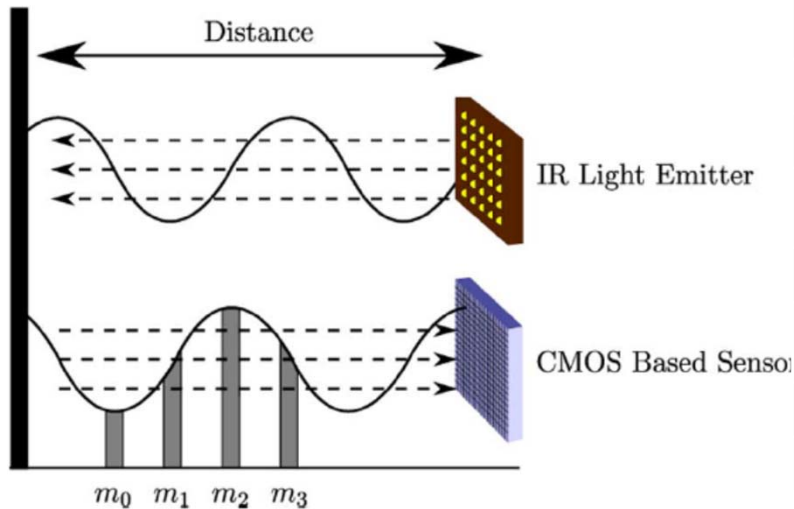
Cámara hiperespectral (SWIR). Clasificación de plástico técnico



[3] S. Satorres Martínez, J.M. López Paniza, M. Cobo Martínez, J. Gómez Ortega, J. Gámez García (2012). An artificial intelligent classification system for thermoplastic recycling using sensor fusion. Computational intelligence applications in industrial engineering, pp. 451-468. Atlantis Press & Springer. ISBN: 978-94-91216-76-3

Visión por computador industrial

Ejemplos de aplicaciones. Cámara ToF



Propiedad	Valor
Campo de visión angular	43° horizontal 34° vertical
Velocidad adquisición	50 fps
Rango espacial nominal	176x144
Frecuencia de modulación	14,5/15/15,5 MHz
Rango de profundidad	0,8m – 8m
Precisión absoluta	+/- 15 mm
Tipo de conexión	Fast ethernet
Recomendación: no usar con luz solar directa (sólo indoor)	

$$\varphi = \arctan \left(\frac{m_3 - m_1}{m_0 - m_2} \right)$$

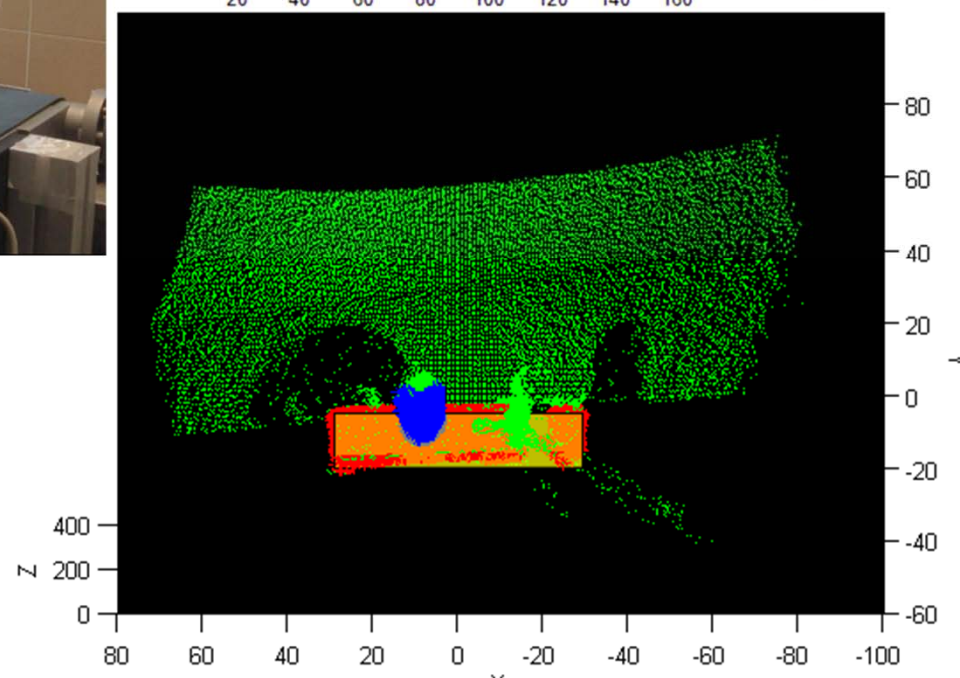
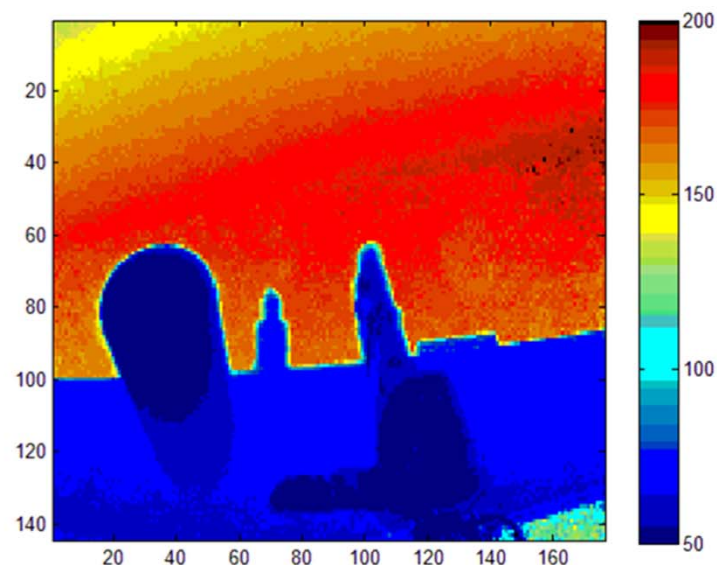
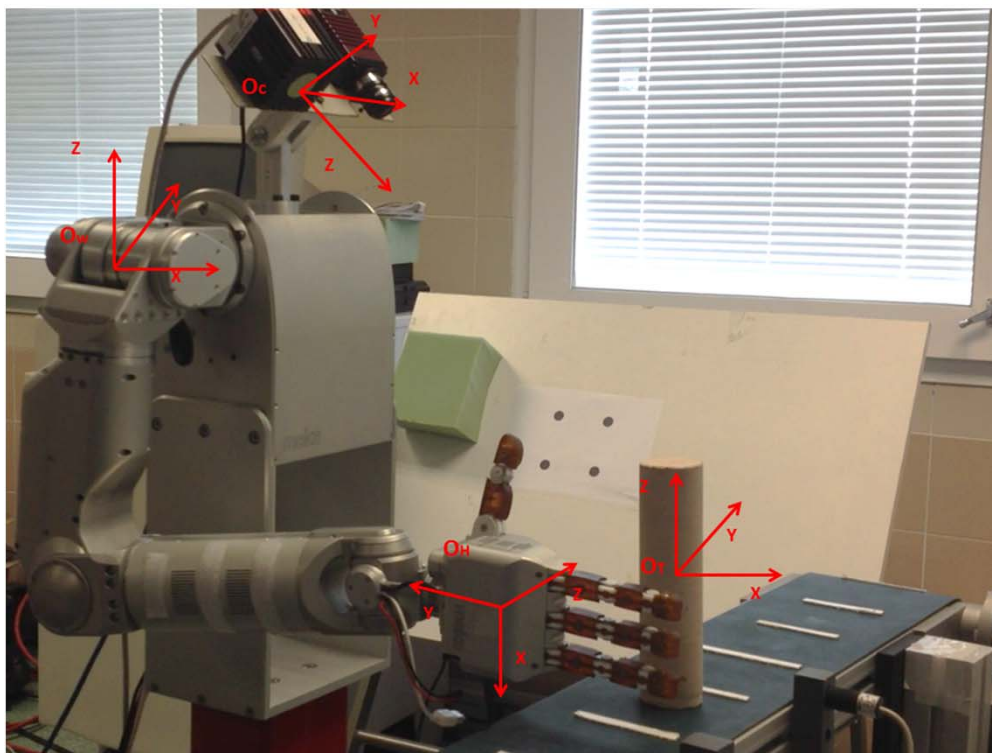
$$A = \frac{\sqrt{[m_3 - m_1]^2 + [m_0 - m_2]^2}}{2}, \quad \text{Amplitud}$$

$$D = L \frac{\varphi}{2\pi} \quad \leftarrow \text{Profundidad}$$

$$L = \frac{c}{2f_m} \quad \begin{array}{l} c: \text{velocidad de la luz} \\ f_m: \text{frecuencia de modulación} \end{array}$$

Visión por computador industrial

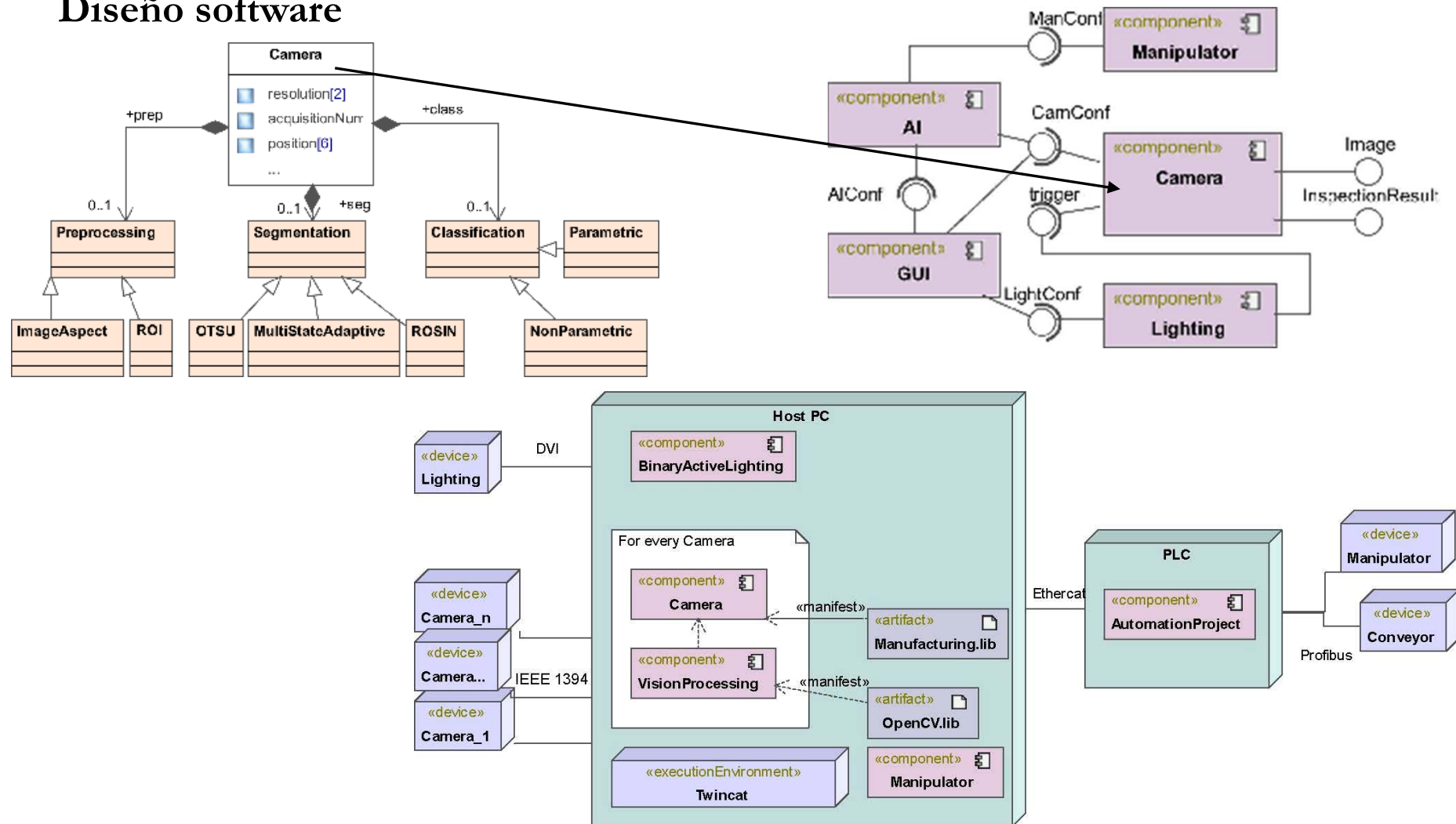
Cámara ToF. Visual servoing



[4] S. Satorres Martínez, A. Sánchez García, E. Estévez Estévez, J. Gómez Ortega, J. Gámez García (2019). 3D object recognition for anthropomorphic robots performing tracking tasks. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 104, pp. 1403–1412. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04058-6>

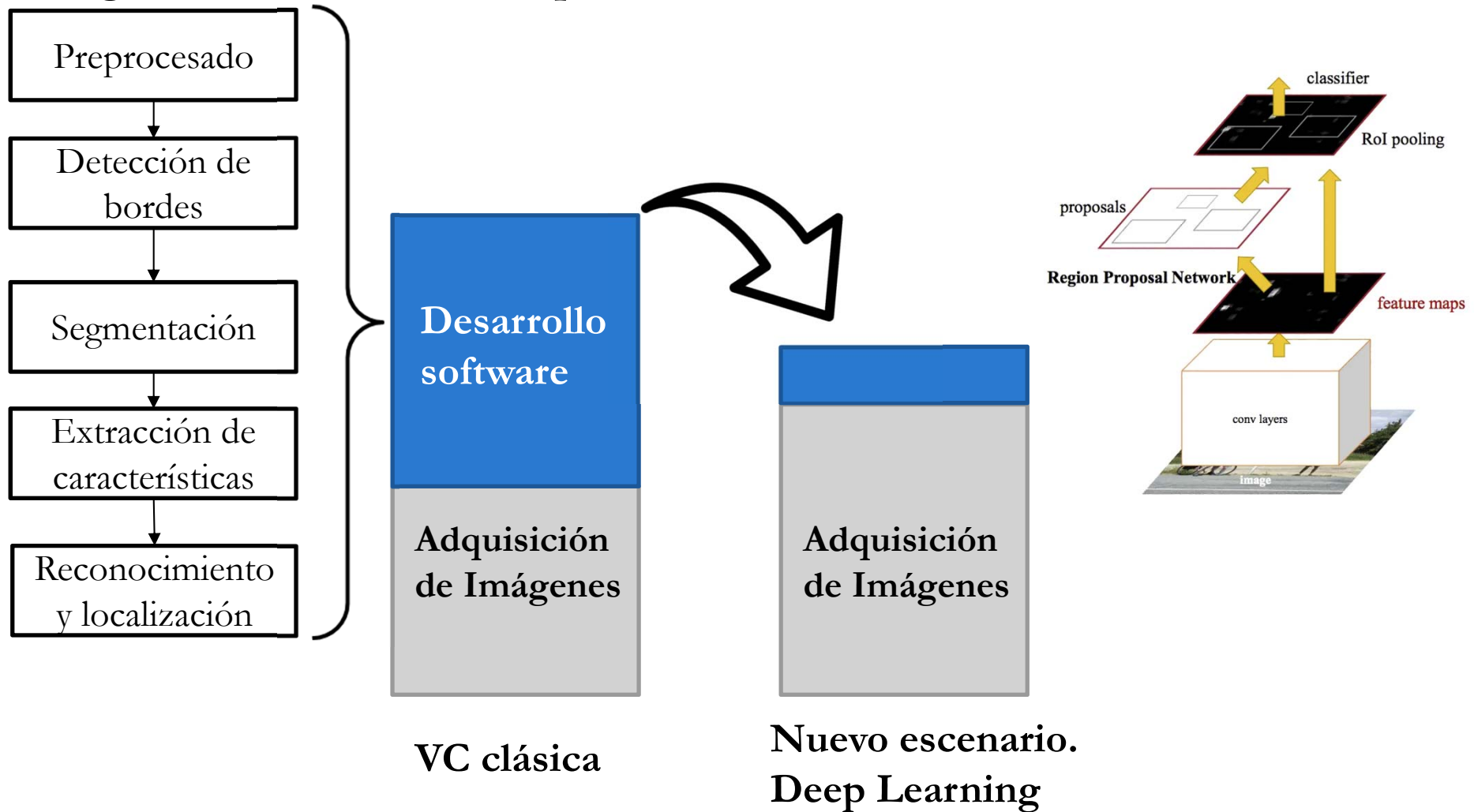
Visión por computador industrial

Diseño software



Visión por computador industrial

Algoritmos de procesamiento. Aplicación de detección de objetos

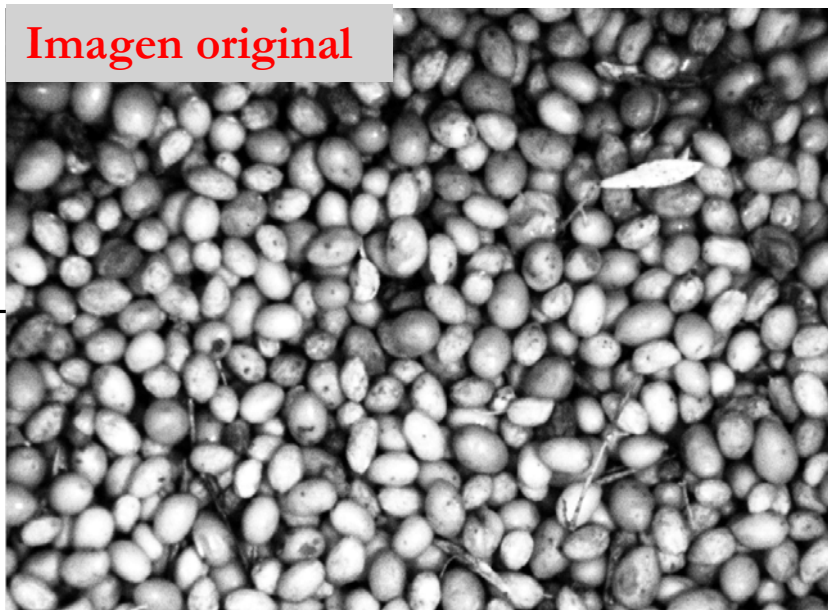


²¹ [6] Athanasios Voulodimos, Nikolaos Doulamis, Anastasios Doulamis, and Eftychios Protopapadakis (2018). Deep Learning for Computer Vision: A Brief Review. Computational Intelligence and Neuroscience 2018:1-13. DOI: 10.1155/2018/7068349

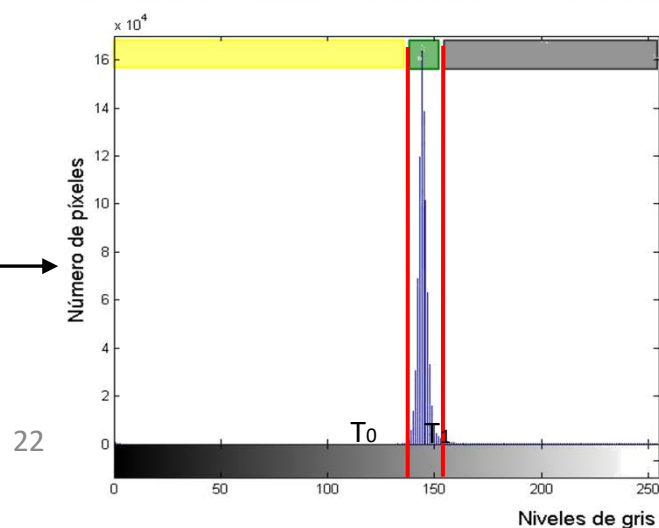
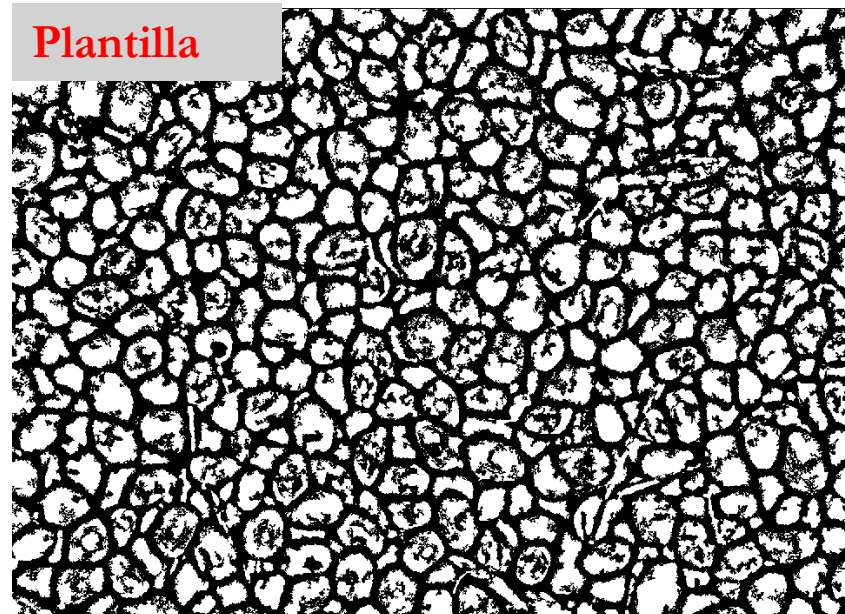
Visión por computador industrial

Algoritmos de procesamiento. Ejemplo de segmentación

Imagen original



Plantilla



$$U_{optmin} = 0.5 \cdot [\arg \max \{h(g)\} + \min \{k \mid h(k) \neq 0\}]_{0 \leq k < T_0}$$

$$U_{opt}(x, y) = 0.5 \cdot [\max \{F(x', y')\} + \min \{F(x', y')\}]$$

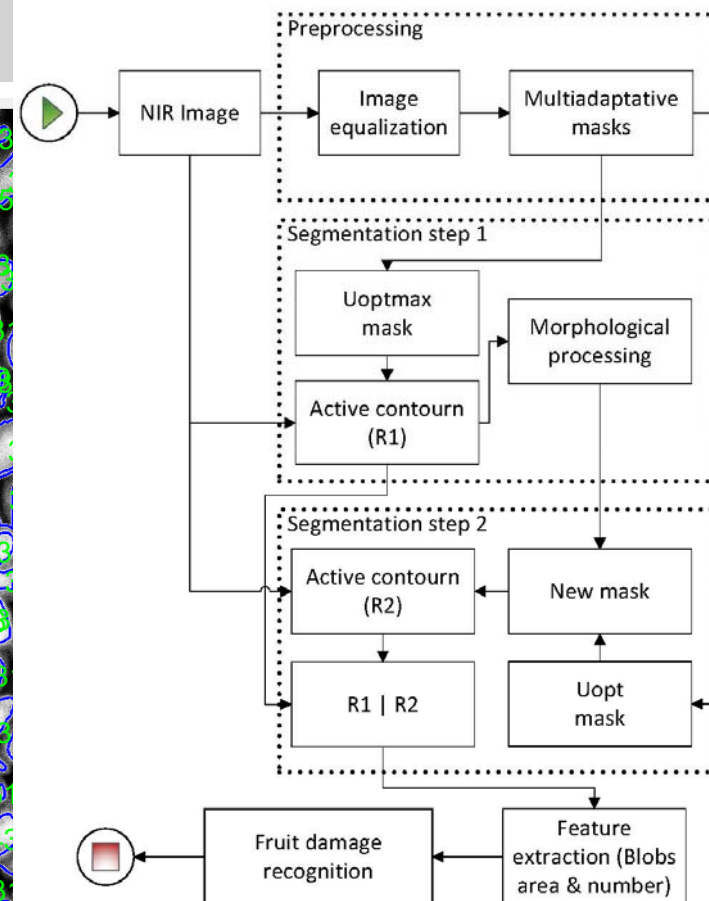
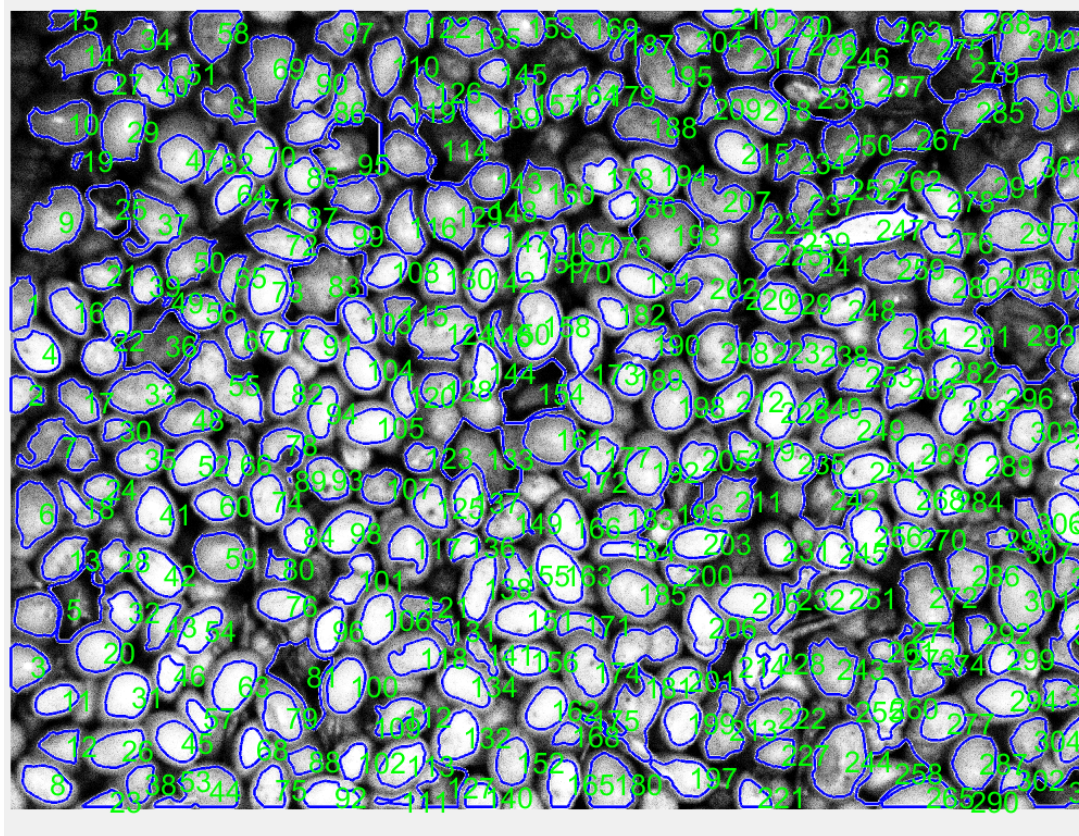
$$\text{con } (x', y') \in \text{Vecindad}(x, y)$$

$$U_{optmax} = 0.5 \cdot [\arg \max \{h(g)\} + \max \{k \mid h(k) \neq 0\}]_{T_1 < k \leq 255}$$

Visión por computador industrial

Algoritmos de procesamiento. Ejemplo de segmentación

Segmentación. Procedimiento iterativo basado en Contornos activos

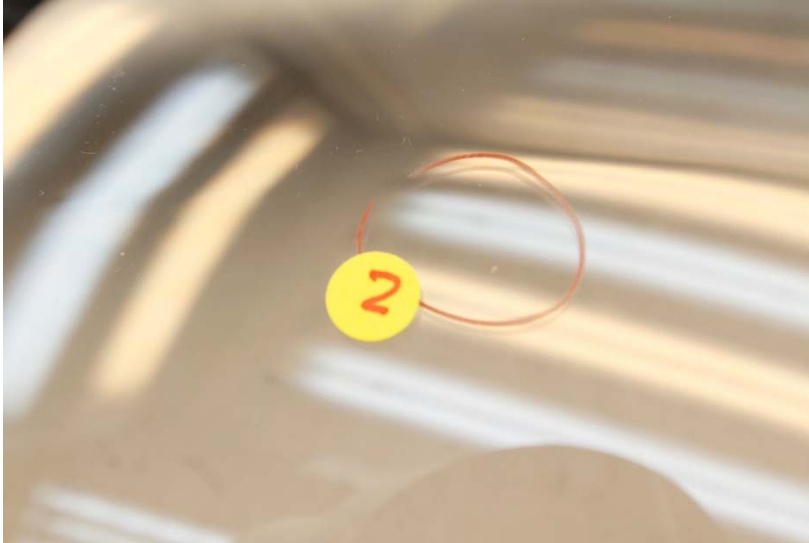


Índice

1	Sobre mí
2	Visión por computador industrial
3	Visión especular
4	La fabricación cero defectos (ZDM)
5	Conclusiones

Visión especular

Definición de especificaciones



- Se considera defecto cualquier imperfección de diámetro superior a 0,5mm
- Si es un defecto lineal debe ser superior a 1mm
- Hay defectos puntuales, lineales y superficiales. También hay transparentes y opacos.
- Reducido tiempo de ciclo → se establece por la inyección de la pieza

Visión especular

Evolución desde prototipos hasta máquina industrial

Desarrollo del primer prototipo de inspección automática de cristales Modelo huella izquierda del cristal **E8X de BMW**



GRAV desarrolla otra estación prototipo de inspección de la huella izquierda del modelo **GOLF A7**



ISR & GRAV desarrollan una **estación** reconfigurable para distintos modelos y huellas

2007

....

2010

2011

2012

2013

2014

2015

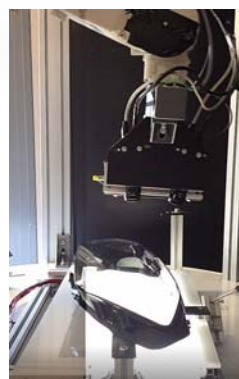
2016

2017

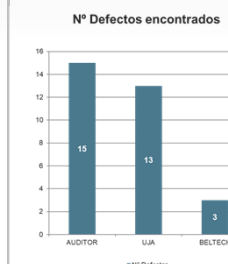
2020

GRAV colabora con **VALEO** analizando propuestas de empresas a nivel

Propuestas de tres empresas de los Países Bajos



La empresa **Beltech** desarrolla una estación prototipo para la inspección del **GOLF A7**



Evaluación de las estaciones prototipo

Nuevas **estaciones** adaptadas a la producción de Valeo Martos

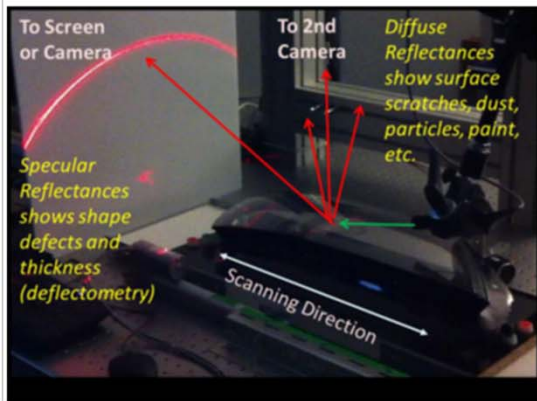


Visión especular

Sistema de iluminación. Propuestas empresas especializadas

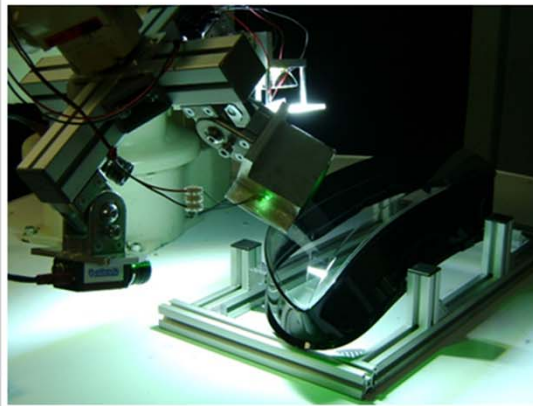
Company A

- Specular and diffuse reflections from a single laser line
- Drawbacks:
 - Requires expert algorithms and more computation
 - Multiple cameras and illumination sources were needed to inspect the whole part



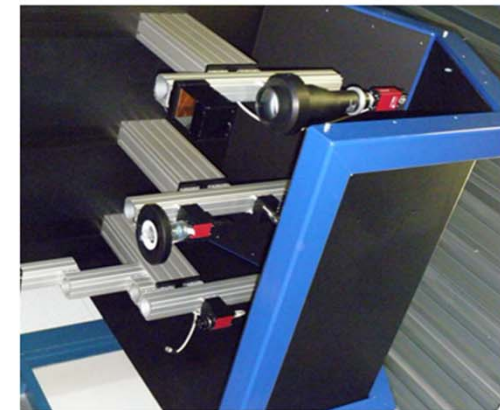
Company B

- Structured lighting system
 - Specular reflection
 - Transmittance dots pattern
 - Transmittance stripes pattern
- The selected company
 - Best results in the preliminary tests
 - More than 25 years of experience in MVS for transparent part inspection and robotics



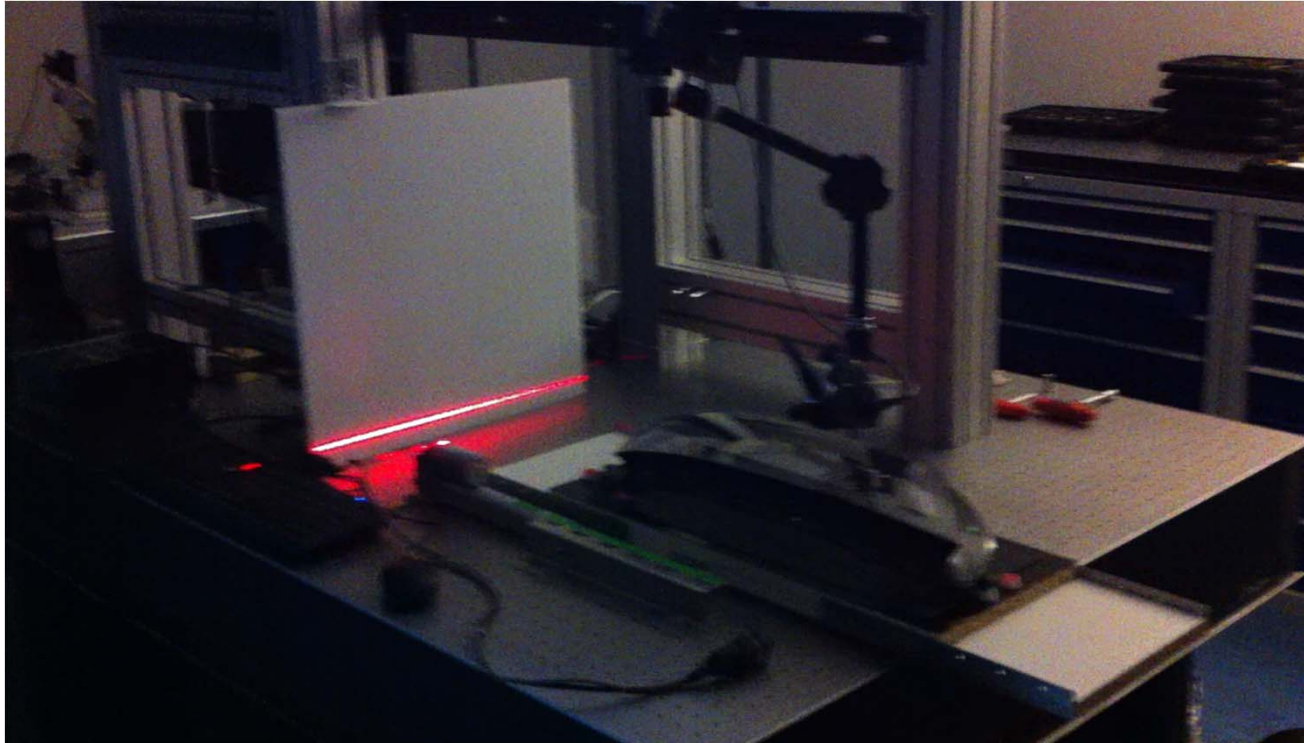
Company C

- Coaxial lighting system and tele centric lenses
- Drawbacks
 - Only feasible for flat surfaces
 - Offer withdrawal

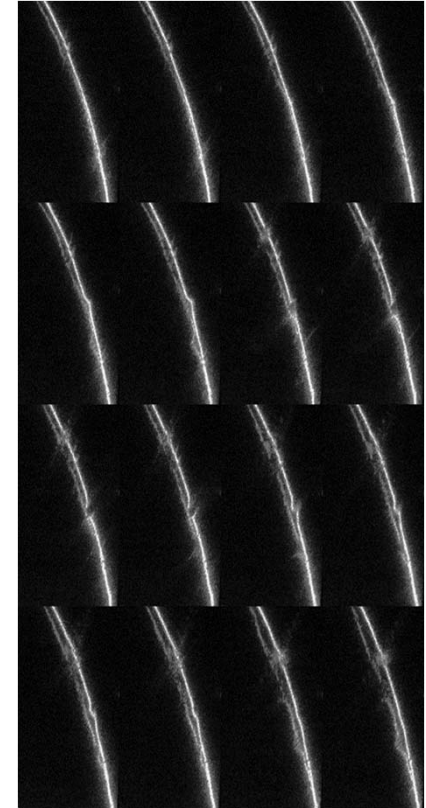


Visión especular

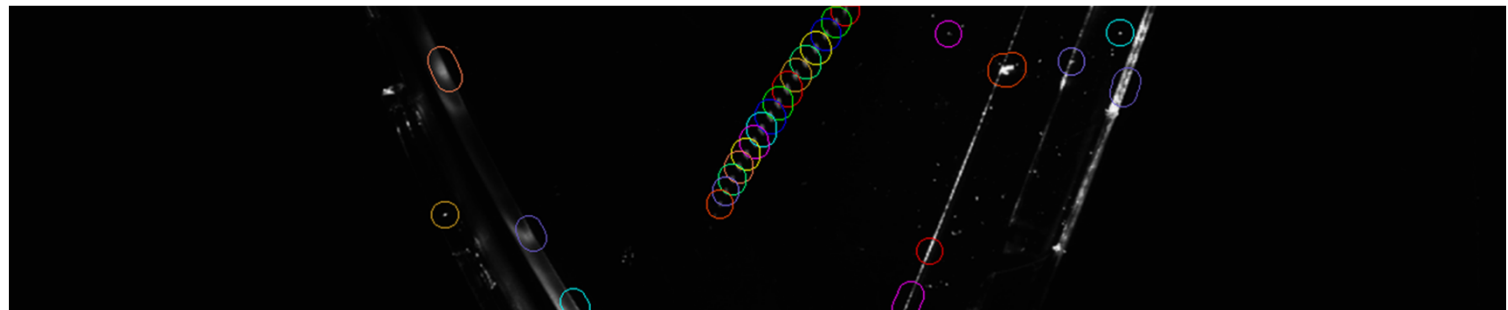
Propuesta empresa A



Deflectometría

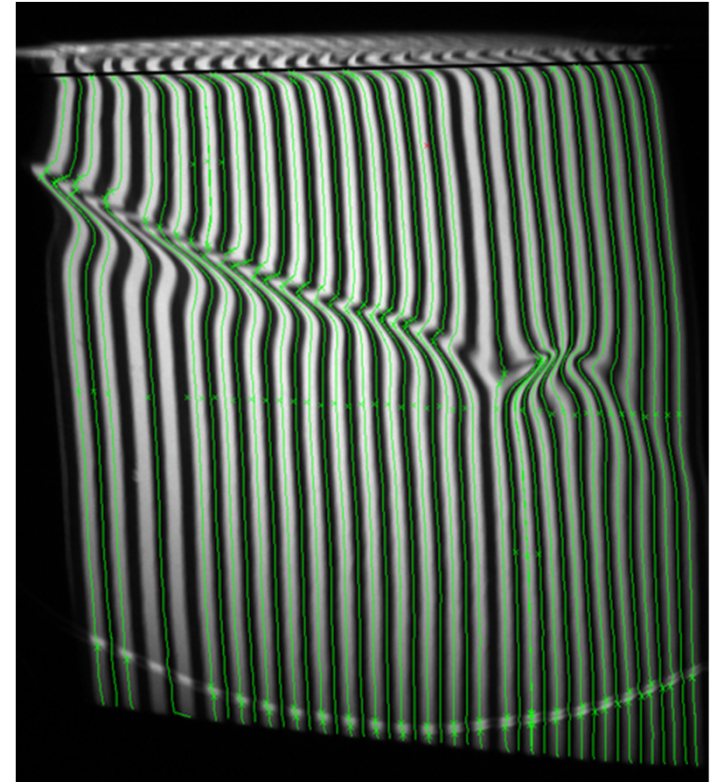
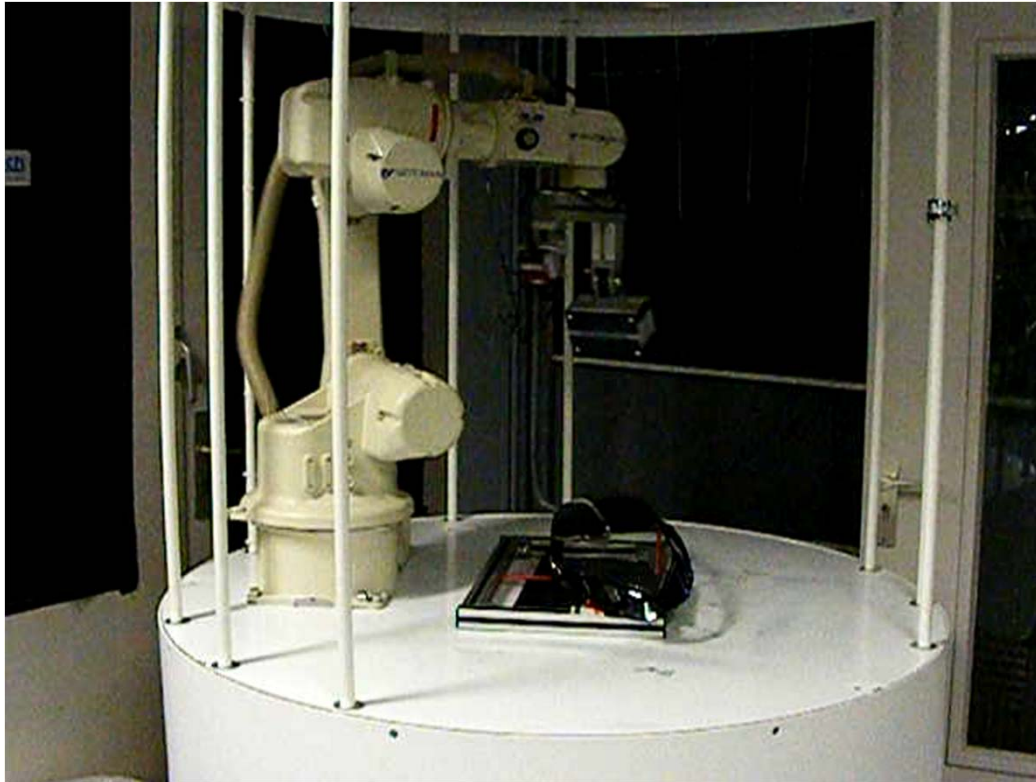


Scatering



Visión especular

Propuesta empresa B

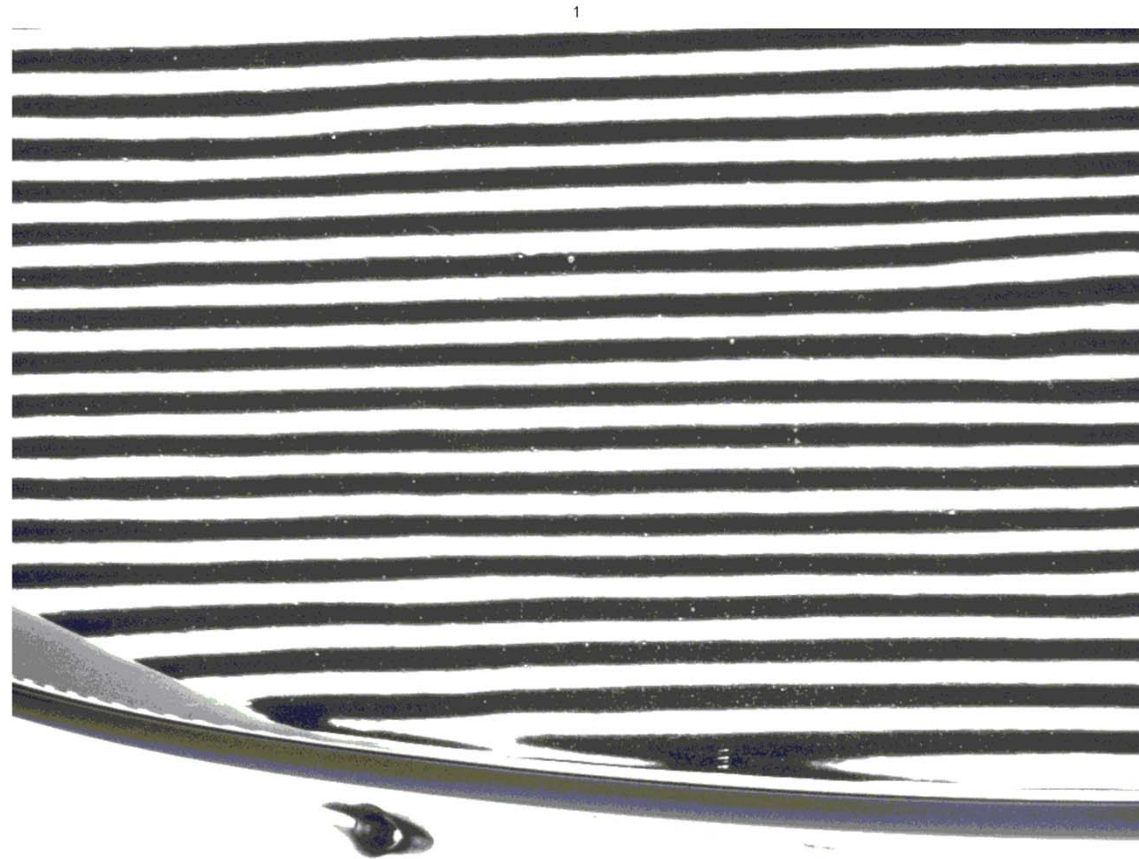
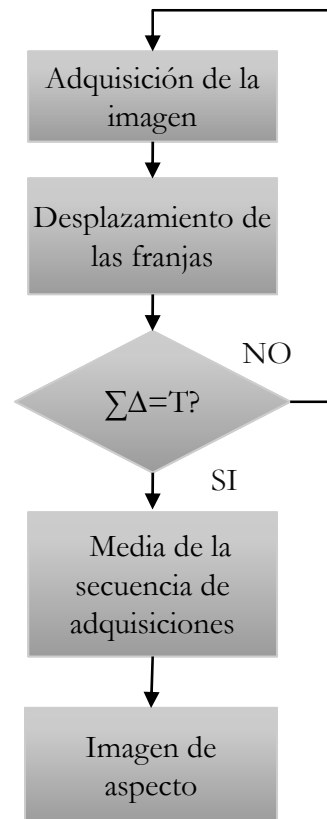


Visión especular

Sistema de iluminación patentado por GRAV en explotación por ISR

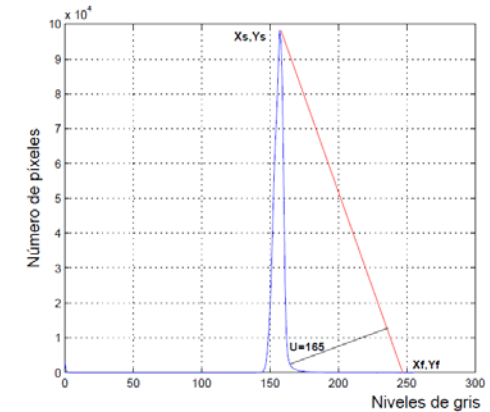
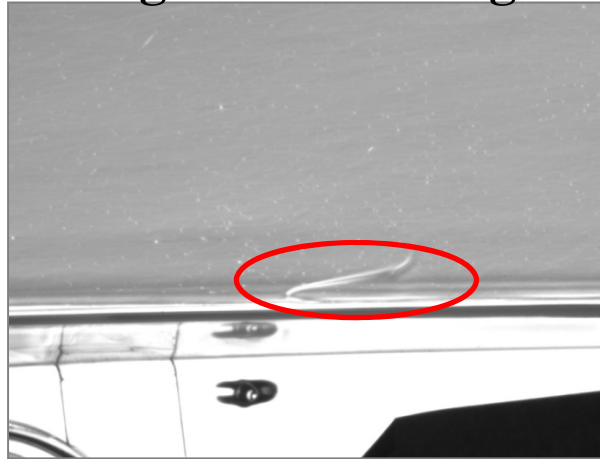
- **Objetivo:** Disponer de una imagen de fondo homogéneo en la que los defectos se muestren contrastados.

Procedimiento



Visión especular

Procesado. Segmentación de imágenes con histograma unimodal. Rosin



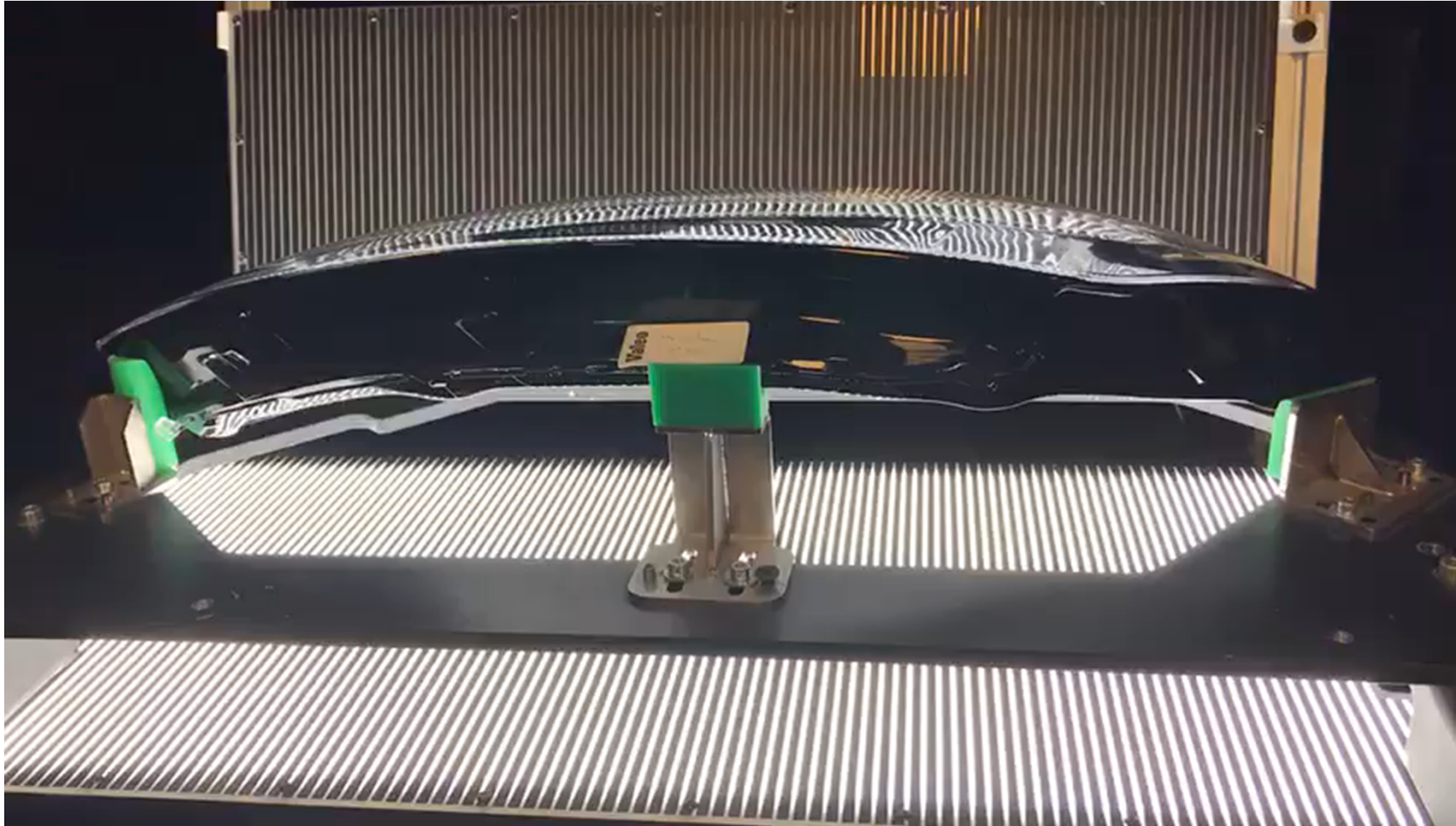
$$U_{opt} = \arg \max \left[\frac{|(x_f - x_s) \cdot (y_s - h(g)) - (x_s - g) \cdot (y_f - y_s)|}{\sqrt{(x_f - x_s)^2 + (y_f - y_s)^2}} \right]$$

[7] S. Satorres Martínez, J. Gómez Ortega, J. Gámez García, A. Sánchez García (2010). A machine vision system for defect characterization on transparent parts with non-plane surfaces. Machine Vision and Applications, vol. 23, núm.1, pp.1-13. DOI: 10.1007/s00138-010-0281-0

[8] S. Satorres Martínez, J. Gómez Ortega, J. Gámez García, A. Sánchez García (2010). Machine Vision for Automated Headlamp Lens Inspection. Vision Sensors and Edge Detector, pp. 63-80. SCIYO. ISBN: 978-953-307-098-8

Visión especular

Ejemplo de inspección automática de cristales



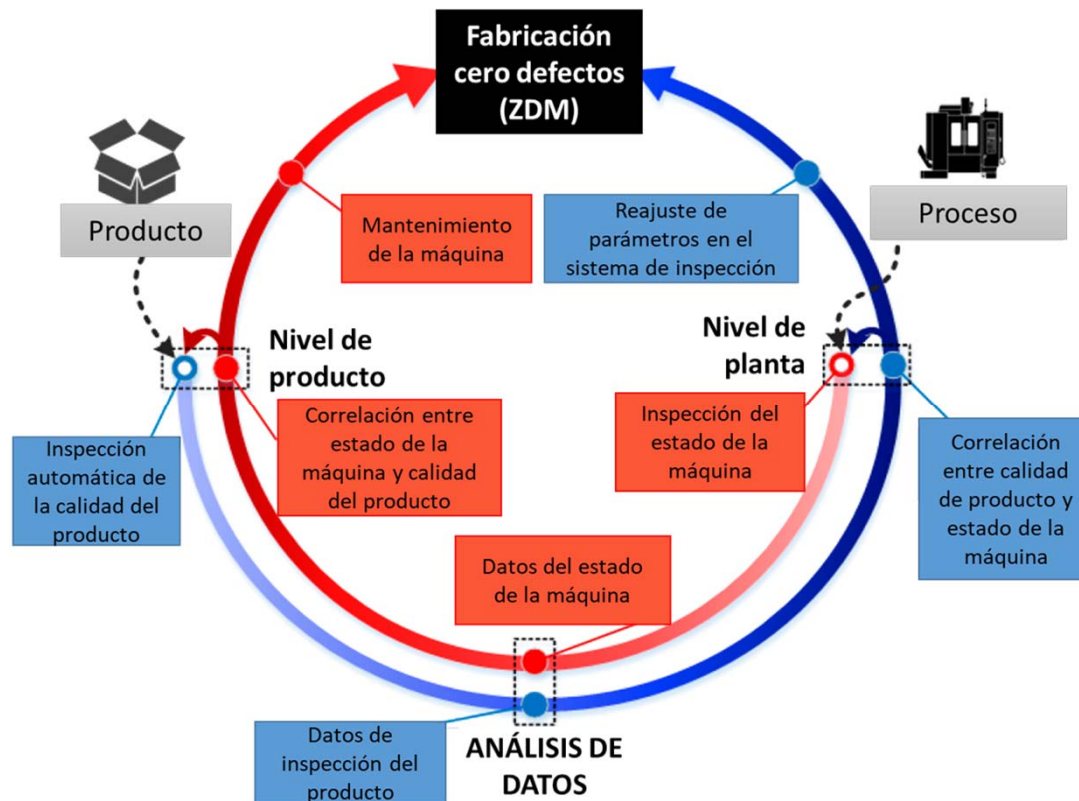
Índice

1	Sobre mí
2	Visión por computador industrial
3	Visión especular
4	La fabricación cero defectos (ZDM)
5	Conclusiones

Fabricación cero defectos (ZDM)



- **ZDM** → Paradigma que permite aumentar la fiabilidad de los procesos de fabricación industrial y alcanzar resultados de máxima exigencia en las piezas manufacturadas



Establecimiento de una **línea constante de información** que permite a la inspección detectar errores, pero a la vez que esta información sea utilizada para optimizar la producción e incluso poder **predecir** los errores que puedan ocurrir

Fabricación cero defectos (ZDM)



<https://qu4lity-project.eu/>

2019-2022

Dedicado a la calidad autónoma y ZDM en la Industria 4.0 mediante 14 líneas piloto (contribución EU 15M€, 45 socios de 13 países)



<https://www.forzdmproject.eu/>

2017-2020

<https://youtu.be/npOF6DKB5WU?list=PLA0D61AEED6A4BEF3>

Desarrollo y puesta en marcha de herramientas que aceleren la implementación de soluciones ZDM (13 socios)



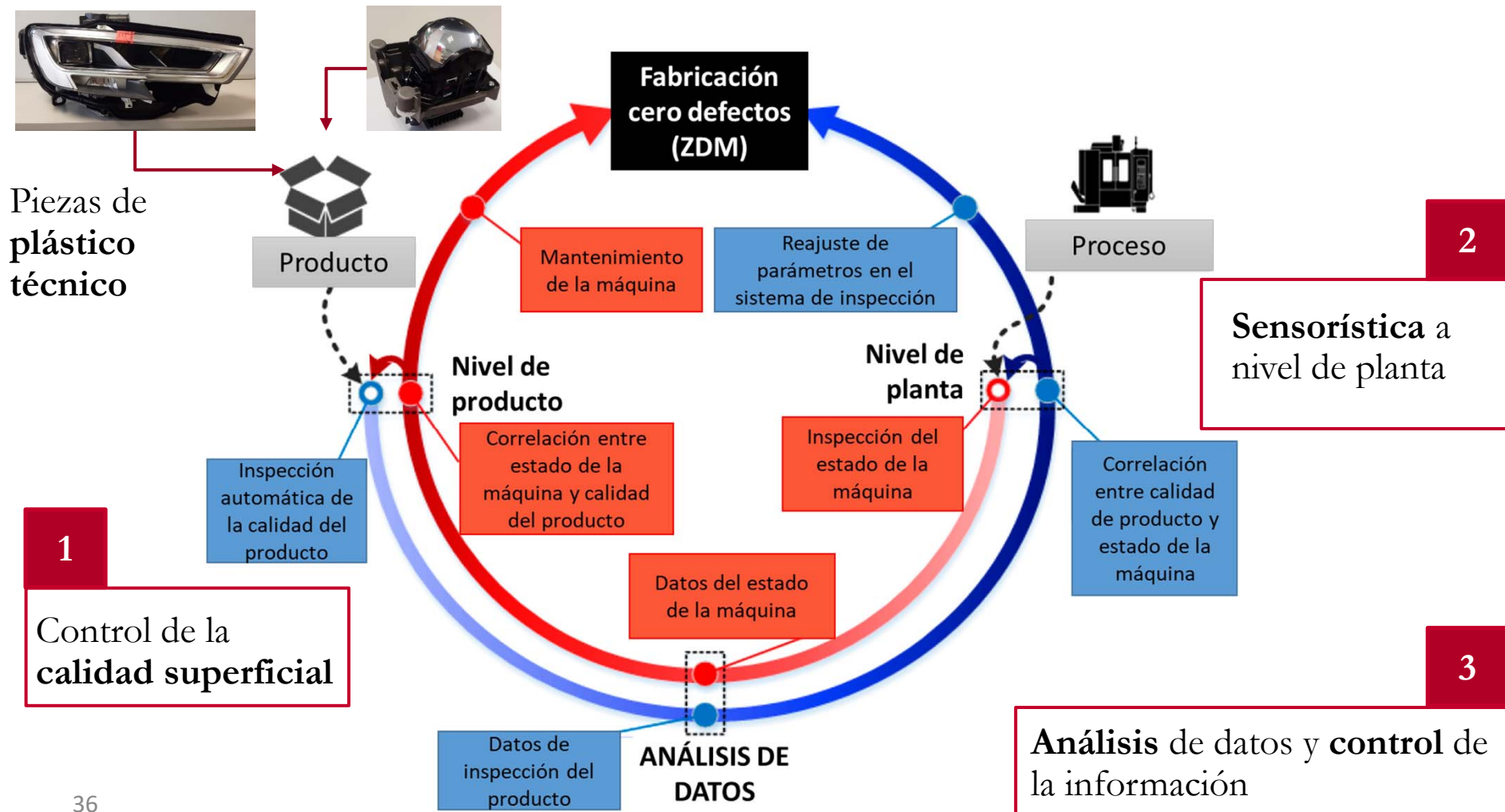
<http://go0dman-project.eu/>

2016-2019

Realización de soluciones totalmente funcionales y replicables utilizando sistemas multi-agentes, herramientas de inspección on-line y análisis de datos para implementar estrategias ZDM

Fabricación cero defectos (ZDM)

Caso de uso: Fabricación de piezas de plástico técnico en automoción



Fabricación cero defectos (ZDM)

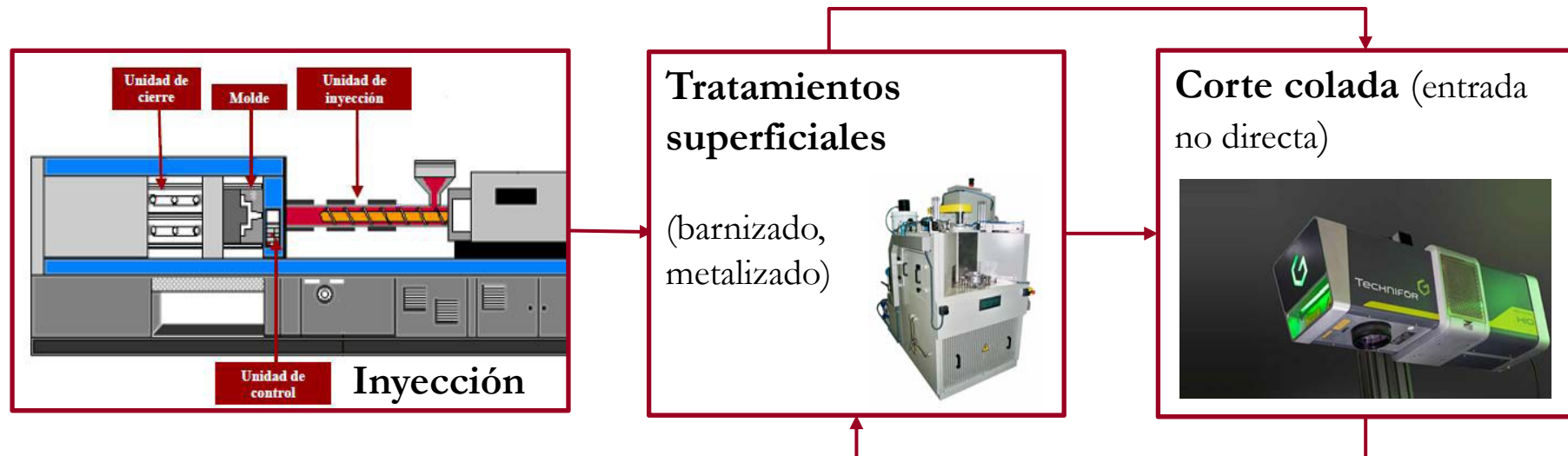


1. Control de la calidad superficial

ISR dispone de soluciones comerciales para control de defectos estéticos en cristales, lentes gruesas y estudios de viabilidad en transparencias de pilotos y Smart bars

2. Sensorística a nivel de planta

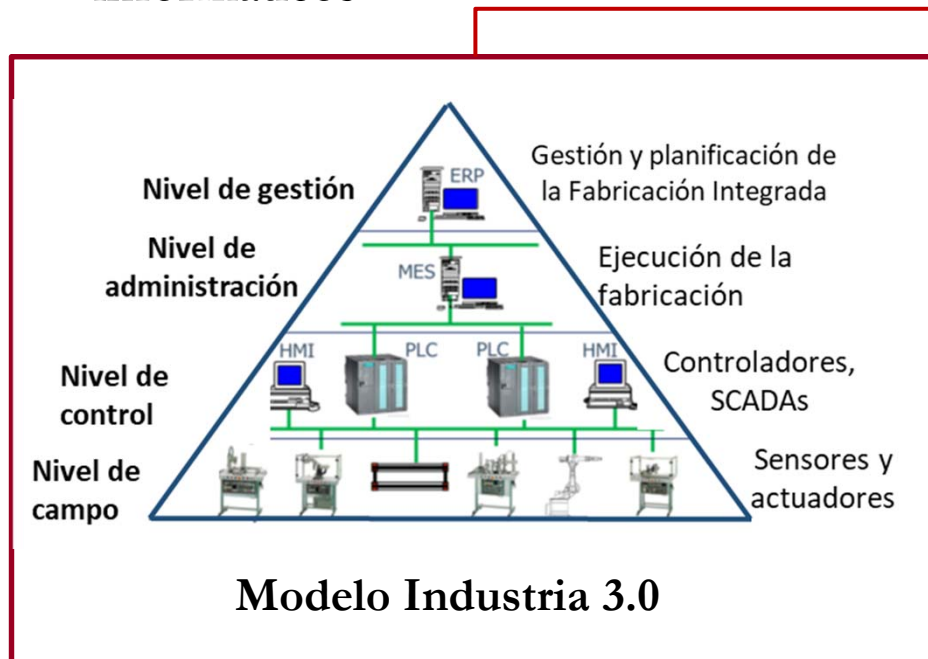
Conocimiento del proceso productivo. Equipos poco sensorizados.
Monitorización de fallos y paradas del proceso productivo.



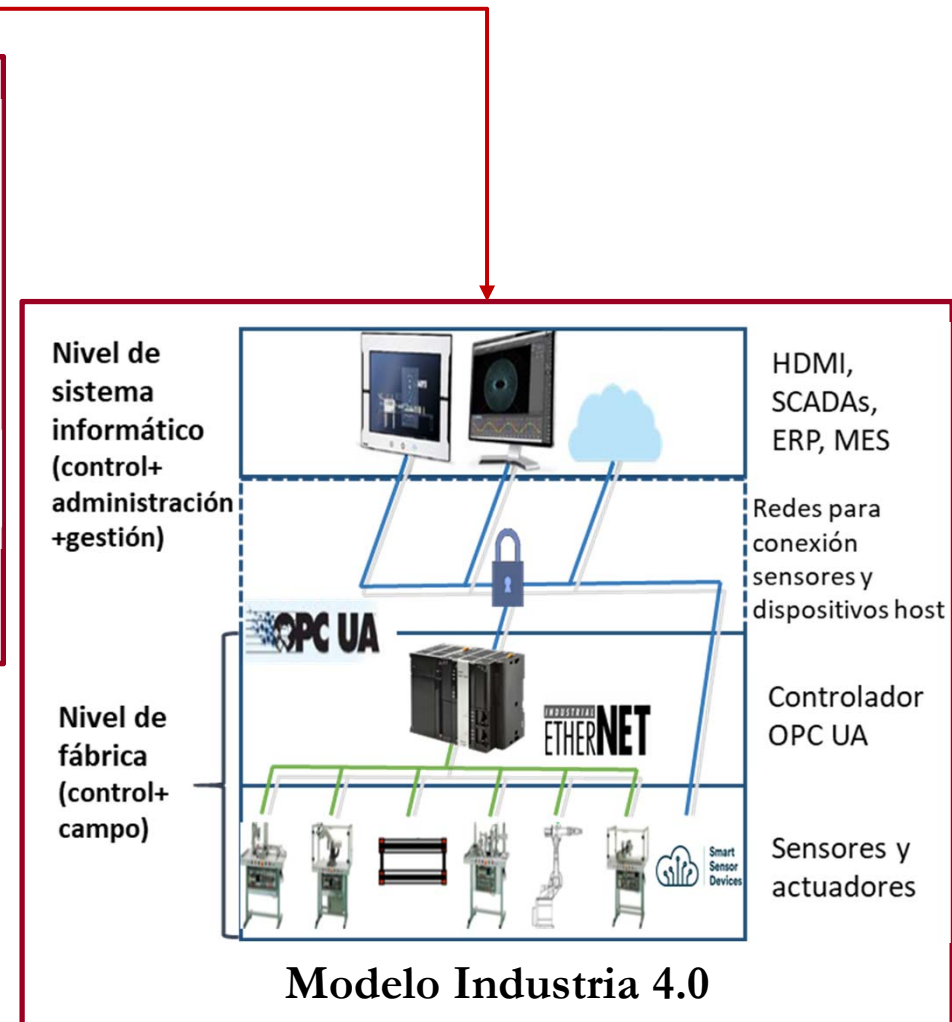
Fabricación cero defectos (ZDM)

3. Análisis de datos y control de la información

Incluyendo información de dispositivos de control y campo en los sistemas informáticos



[10] Nazarenko, A.A., Sarraipa, J., Camarinha-Matos, L.M., (...), Dorchain, M., Jardim-Goncalves, R. (2021). Analysis of relevant standards for industrial systems to support zero defects manufacturing process. Journal of Industrial Information Integration 23,100214



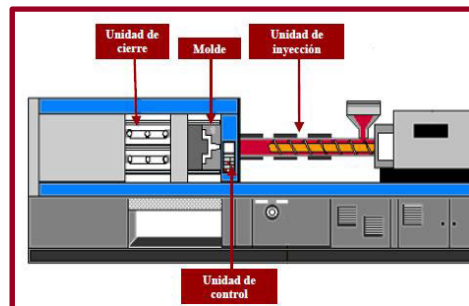
Fabricación cero defectos (ZDM)

Beneficios



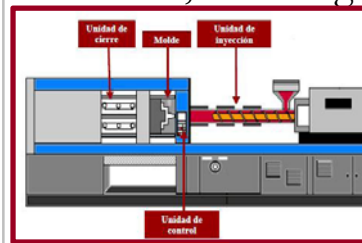
MVS → Equipo

- Fallos repetitivos en producto permiten detectar errores en equipos (Mantenimiento preventivo)



Equipo → MVS

- Un mayor conocimiento del estado de los equipos involucrados en el proceso permite un ajuste óptimo de los sistemas de inspección automática (predicción de errores, metrología virtual)



Detección fallos producto/proceso

- Mejora la calidad de productos manufacturados
- Mejora de eficiencia y capacidad de respuesta en sistemas productivos

RESULTADO de ZDM



Índice

1	Sobre mí
2	Visión por computador industrial
3	Visión especular
4	La fabricación cero defectos (ZDM)
5	Conclusiones

Conclusiones

- Para resolver una aplicación de **visión por computador industrial** se requiere de un **conocimiento multidisciplinar** y de unas detalladas **especificaciones** iniciales.
- La **iluminación** es uno de los aspectos más críticos en visión por computador industrial. **Claves** en cuanto a la selección de la tecnología - técnica:

TECNOLOGÍA	TÉCNICA
■ La iluminación LED es la más utilizada en aplicaciones industriales. ■ Cuando se trabaja con sistemas hiperespectrales hay que utilizar iluminación halógena. ■ La iluminación mediante fibraóptica se emplea cuando se requiere un foco frío.	■ Requiere de un estudio de viabilidad ■ La iluminación estructurada es una buena opción para contrastar defectos con las mismas propiedades ópticas que la superficie que los contiene. ■ Backlight para contornos y defectos con distintas propiedades ópticas a las superficies que lo contienen.

- La longitud de onda de la fuente de iluminación está relacionada con el tipo de características a resaltar y la superficie a inspeccionar y condicionará la posterior selección del sensor (cámara).

Conclusiones

- La selección del tipo de cámara viene condicionada por la aplicación. Algunas claves:
 - Las cámaras lineales suelen utilizarse cuando se requiere elevadas velocidades y mucha resolución.
 - Cuando no hay que inspeccionar color es mejor utilizar una cámara monocromo → se tiene una menor pérdida de información.
 - Normalmente, si se requiere de imágenes de calidad se emplea sensores CCD y si se prima la velocidad se utilizan sensores CMOS.
 - Visión 3D mediante triangulación activa o pasiva o sensores de tiempo de vuelo son muy utilizadas en el ámbito industrial → aplicaciones de Bin-picking
 - Tecnología hiperespectral está en auge a nivel industrial y científico → aplicaciones más allá del espectro visible.
- Un buen diseño software facilita la estandarización y desarrollo de nuevos productos
- El procesamiento de la imagen en aplicaciones industriales suelen seguir el método tradicional

Conclusiones

- La fabricación cero defectos, zero defect manufacturing, es un paradigma que surge con la Industria 4.0.
- Es una línea de investigación en la que están realizando aportaciones diversos proyectos europeos recientes.
- ZDM consiste en el establecimiento de un flujo constante de información entre el estado del producto y equipos del sistema productivo con objeto de minimizar, o reducir a cero, el número de piezas defectuosas manufacturadas.
- La implantación de ZDM implica la automatización del control de calidad de productos y la visión por computador industrial juega un papel muy importante.
- La implantación de ZDM también requiere del desarrollo de aplicaciones de recogida de datos de producto y proceso y transformación de datos en información relevante para la mejora del proceso productivo en su globalidad.
- Cuando los sistemas productivos siguen el paradigma ZDM consiguen aumentar la calidad de sus productos, disminuir costes y generar menos residuos.