

Jornadas de Automática

Gemelo Digital para control de calidad proactivo en sistemas de visión industrial

Sergio Illana Rico^{1,*}, Silvia Satorres Martínez¹, Elisabet Estévez Estévez¹, Alejandro Sánchez García¹, Diego M. Martínez Gila¹, Javier Gámez García¹

Dpto. de Ingeniería Electrónica y Automática, Campus "Las Lagunillas" s/n, 23071, Jaén, España.

To cite this article: Illana Rico, S., Satorres Martínez, S., Estévez Estévez, E., Sánchez García, A., Martínez Gila, D.M., Gámez García, J.. 2026. Digital Twin for proactive quality control in industrial vision systems. Jornadas de Automática, 47. <https://doi.org/10.17979/ja-cea.2026.47.13716>

Resumen

Este trabajo presenta un Gemelo Digital que incorpora capacidades de control de calidad proactivo en sistemas de visión industrial aplicados a fabricación de componentes de automoción. La propuesta combina un sistema de inspección industrial existente con una plataforma multiagente desarrollada mediante SPADE y modelos basados en aprendizaje profundo para la identificación automática de defectos superficiales. El Gemelo Digital permite sincronizar la información generada por el sistema físico de inspección con una representación digital orientada al análisis de defectos y trazabilidad del proceso productivo. Para la identificación automática se emplean modelos basados en la arquitectura YOLO entrenados utilizando imágenes obtenidas del entorno industrial. Asimismo, se plantea un mecanismo de análisis de trazabilidad capaz de relacionar determinados defectos con distintas etapas del proceso de fabricación. La arquitectura propuesta ha sido definida y validada funcionalmente sobre un entorno industrial de inspección de lentes de faros, proporcionando una base para futuras estrategias de supervisión y control de calidad proactivo en fabricación.

Palabras clave: Sistemas inteligentes de fabricación, supervisión de procesos, sistemas multiagente aplicados a sistemas industriales, aseguramiento de la calidad y mantenimiento .

Digital Twin for proactive quality control in industrial vision systems

Abstract

This work presents a Digital Twin aimed at incorporating proactive quality control capabilities into industrial vision systems applied to the manufacturing of automotive components. The proposed approach combines an existing industrial inspection system with a multi-agent platform developed using SPADE and deep learning-based models for the automatic identification of surface defects. The Digital Twin enables the synchronization of information generated by the physical inspection system with a digital representation oriented toward defect analysis and production-process traceability. For automatic defect identification, models based on the YOLO architecture are trained using images acquired from the industrial environment. In addition, a traceability analysis mechanism is proposed to associate specific defects with different stages of the manufacturing process. The proposed architecture has been defined and functionally validated in an industrial environment for headlamp lens inspection, providing a basis for future supervision and proactive quality control strategies in manufacturing.

Keywords: Intelligent manufacturing systems, process supervision, multi-agent systems applied to industrial systems, quality assurance and maintenance.

*Autor para correspondencia: sillana@ujaen.es

1. Introducción

La digitalización de los procesos industriales ha impulsado la incorporación de tecnologías avanzadas orientadas a mejorar la eficiencia, flexibilidad y calidad en los entornos de fabricación. En este contexto, los sistemas de visión industrial se han consolidado como una de las soluciones más utilizadas para la inspección automática de productos, especialmente en sectores como la automoción, donde los requisitos de calidad y trazabilidad son cada vez más exigentes. Estos sistemas permiten realizar inspecciones en línea con elevados niveles de precisión y repetibilidad, reduciendo la dependencia de las inspecciones manuales y facilitando la automatización de los procesos de control de calidad Tzampazaki et al. (2024).

Tradicionalmente, los sistemas de inspección industrial han operado bajo un enfoque reactivo, centrado en detectar defectos una vez finalizado el proceso de fabricación. Aunque este enfoque permite identificar productos no conformes, presenta limitaciones para determinar el origen de los defectos y actuar de forma temprana sobre el proceso productivo. Como consecuencia, los defectos detectados suelen derivar en reprocesados, incremento de costes y generación de desperdicio. En los últimos años, las estrategias de fabricación inteligente han impulsado el desarrollo de soluciones orientadas al control de calidad proactivo, capaces no solo de detectar defectos, sino también de analizar las causas que los originan y facilitar mecanismos de intervención temprana Frick and Grudowski (2023). En esta línea, el paradigma Zero Defect Manufacturing (ZDM) propone minimizar la aparición de defectos mediante estrategias predictivas, preventivas y correctivas apoyadas en tecnologías basadas en datos Psarommatis et al. (2020).

En este ámbito, diferentes trabajos han explorado el uso de técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje profundo para la detección automática de defectos en entornos industriales. En el sector de la automoción, Saadallah et al. (2022) desarrollaron un sistema basado en redes neuronales convolucionales para la predicción temprana de defectos en placas electrónicas. Asimismo, Shahin et al. (2020) propusieron una estrategia de inspección basada en aprendizaje automático y computación en el borde para líneas de producción de PCB. Otros estudios han abordado el control de calidad proactivo en procesos de pintura industrial mediante algoritmos jerárquicos de decisión Lou and Huang (2003), así como aplicaciones industriales de inteligencia artificial orientadas a entornos ZDM Leberruyer et al. (2023).

Paralelamente, la evolución de los Gemelos Digitales ha permitido incorporar capacidades avanzadas de monitorización y sincronización entre el sistema físico y su representación digital. En el ámbito industrial, los Gemelos Digitales facilitan el análisis contextual del proceso productivo y proporcionan soporte para tareas de supervisión, trazabilidad y toma de decisiones.

En este trabajo se presenta un Gemelo Digital orientado al control de calidad proactivo en sistemas de visión industrial aplicados a la fabricación de componentes de automoción. La propuesta combina técnicas de visión artificial, modelos de aprendizaje profundo basados en YOLO Redmon et al. (2016) y una arquitectura multiagente desarrollada con SPADE para sincronizar el sistema físico con su representación digital y realizar análisis de causa raíz sobre los defectos detectados

durante la inspección final. La metodología se valida en un entorno industrial de inspección de lentes de faros, permitiendo relacionar los defectos identificados con las diferentes etapas del proceso de fabricación y facilitando mecanismos de intervención temprana sobre el proceso productivo.

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera. La Sección 2 describe el proceso de fabricación y el sistema de inspección industrial empleado como caso de estudio. La Sección 3 aborda la identificación automática de defectos mediante modelos basados en aprendizaje profundo y el análisis de trazabilidad asociado al proceso de fabricación. La Sección 4 presenta la arquitectura propuesta del Gemelo Digital y la plataforma multiagente desarrollada para la sincronización entre el sistema físico y su representación digital. La Sección 5 describe la integración industrial del sistema propuesto y su funcionamiento dentro del entorno de supervisión desarrollado. Finalmente, la Sección 6 recoge las conclusiones y las líneas futuras de trabajo.

2. Descripción del problema: la inspección industrial de lentes de faros

La fabricación de lentes de faros para automoción incluye diferentes etapas de producción en las que pueden aparecer defectos superficiales que afectan a la calidad final del producto. Debido a los elevados requisitos estéticos y funcionales exigidos en el sector, la detección temprana y la trazabilidad de defectos representan aspectos críticos dentro de las estrategias de aseguramiento de la calidad.

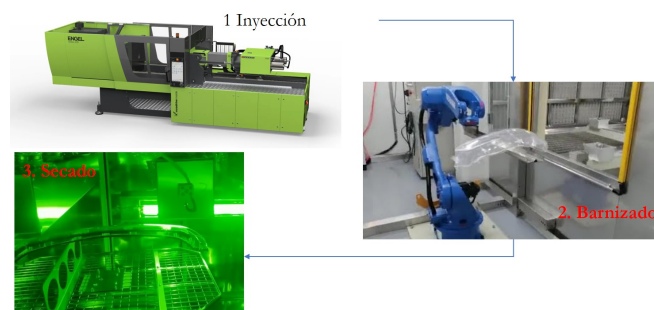


Figura 1: Principales etapas del proceso de fabricación de lentes de faros consideradas en la descripción del problema.

El proceso de fabricación se compone principalmente de las etapas de inyección, barnizado y secado (Figura 1). Durante la fase de inyección pueden aparecer defectos asociados al moldeo del material, como rebabas, marcas de expulsión, puntos negros o defectos producidos por contaminación. Posteriormente, en la etapa de barnizado, se aplica una capa protectora de barniz sobre la superficie de la lente, pudiendo originarse defectos relacionados con problemas de aplicación o deposición del material, tales como descuelgues, gotas o acumulaciones de partículas. Finalmente, durante el proceso de secado pueden producirse defectos superficiales asociados a problemas de evaporación o contaminación ambiental.

La inspección de defectos superficiales en lentes de faros constituye una tarea compleja debido a las características ópticas de las piezas transparentes y a la presencia de geometrías no planas. Tradicionalmente, este tipo de inspecciones se ha

realizado de forma manual, aunque actualmente diferentes sistemas de visión industrial utilizados en entornos de fabricación se basan en desarrollos previos orientados a la inspección automática de defectos superficiales sobre piezas transparentes Martínez et al. (2012).

El sistema empleado en este trabajo se basa en una arquitectura multicámara sincronizada con iluminación dinámica para resaltar irregularidades superficiales presentes en la lente. Durante el proceso de inspección se adquiere una secuencia de imágenes sobre las que posteriormente se aplican diferentes etapas de procesamiento para detectar regiones defectuosas y determinar si la pieza cumple los criterios de calidad establecidos Martínez et al. (2013).

Actualmente, este tipo de sistemas opera principalmente bajo un enfoque reactivo, centrado en la detección automática de defectos durante la inspección final. En este contexto, el trabajo propone complementar el sistema existente mediante un Gemelo Digital orientado a incorporar capacidades de sincronización, análisis de defectos y trazabilidad asociada al proceso de fabricación.

3. Identificación automática y trazabilidad de defectos

En esta sección se aborda la identificación automática de defectos y análisis de trazabilidad con el propósito de extender las capacidades del sistema de inspección industrial. Su integración dentro del Gemelo Digital permite enriquecer la representación digital del proceso productivo y proporcionar información contextualizada sobre el origen de los defectos detectados durante la inspección final.

3.1. Identificación automática de tipos de defectos mediante aprendizaje profundo

La identificación automática de defectos se realiza a partir de las imágenes generadas por el sistema de visión industrial durante el proceso de inspección. Para ello, se emplean modelos basados en aprendizaje profundo capaces de detectar y clasificar automáticamente diferentes tipos de defectos superficiales presentes en las piezas inspeccionadas.

Como etapa previa al entrenamiento de los modelos, se construyó un conjunto de datos, que actúan como verdad absoluta, utilizando la herramienta Label Studio. Esta aplicación permite realizar el etiquetado manual de defectos mediante regiones delimitadoras asociadas a cada categoría, facilitando la generación de información de referencia para el entrenamiento y validación de los modelos desarrollados.

El conjunto de datos incluye diferentes tipos de defectos asociados a las distintas etapas del proceso de fabricación, tales como rebabas, puntos negros, contaminación superficial, descuelgues o defectos relacionados con el recubrimiento y secado de las lentes. La utilización de imágenes obtenidas directamente del entorno industrial permite adaptar el modelo a las condiciones reales de operación del sistema de inspección.

Para la detección y clasificación automática se ha empleado la arquitectura YOLO (*You Only Look Once*) Redmon et al. (2016), ampliamente utilizada en aplicaciones de detección de objetos en tiempo real. Este tipo de arquitecturas permite realizar simultáneamente la localización y clasificación de defectos sobre una misma imagen, proporcionando tiempos de infe-

rencia compatibles con los requisitos temporales del proceso industrial.

El modelo desarrollado procesa las imágenes generadas por el sistema de inspección, donde los defectos aparecen resaltados respecto al fondo homogéneo de la lente. Como resultado, el sistema identifica automáticamente las regiones defectuosas y asigna una categoría asociada al tipo de defecto detectado. Esta información es posteriormente incorporada al Gemelo Digital como parte de la representación virtual de cada pieza inspeccionada.

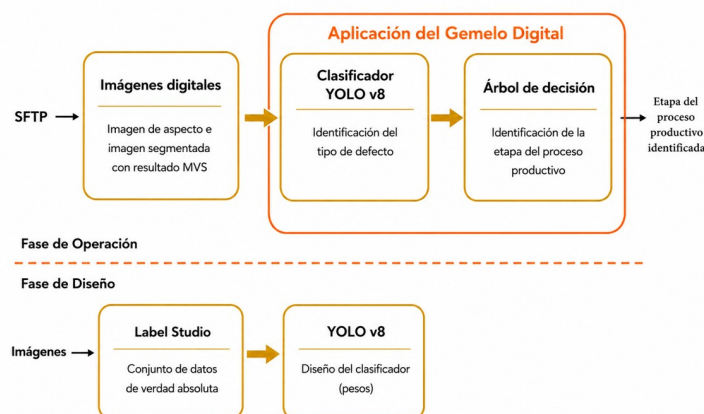


Figura 2: Esquema para la identificación automática de defectos y la etapa del proceso productivo en la que se originó.

3.2. Trazabilidad y análisis de causa raíz

Este apartado define el proceso de análisis orientado a determinar la etapa del proceso productivo donde probablemente se originó dicho defecto. Este mecanismo permite incorporar capacidades de trazabilidad industrial dentro del sistema de inspección y extender el análisis más allá de la simple clasificación de piezas conformes o defectuosas.

El análisis de trazabilidad se basa en el conocimiento asociado al proceso de fabricación de las lentes de faros y en la relación existente entre determinados defectos superficiales y las diferentes etapas productivas. De este modo, defectos asociados al moldeado del material, como rebabas o puntos negros, pueden relacionarse con la fase de inyección, mientras que defectos como descuelgues o acumulaciones superficiales suelen estar vinculados al proceso de barnizado. Del mismo modo, determinadas alteraciones superficiales pueden asociarse a anomalías producidas durante la etapa de secado.

Posteriormente, la integración de esta información dentro del Gemelo Digital permite contextualizar los resultados generados por el sistema de inspección y facilitar tareas de supervisión industrial y soporte a la toma de decisiones. Así, el sistema no solo identifica defectos sobre las piezas inspeccionadas, sino que proporciona información adicional sobre el posible origen del problema dentro del proceso productivo.

La Figura 2 muestra el flujo de integración del modelo basado en YOLO dentro de la aplicación del Gemelo Digital para la identificación automática de defectos superficiales y el análisis de la etapa del proceso productivo asociada. Se incluye la fase de diseño y entrenamiento del clasificador y su posterior utilización durante la operación del sistema de inspección industrial.

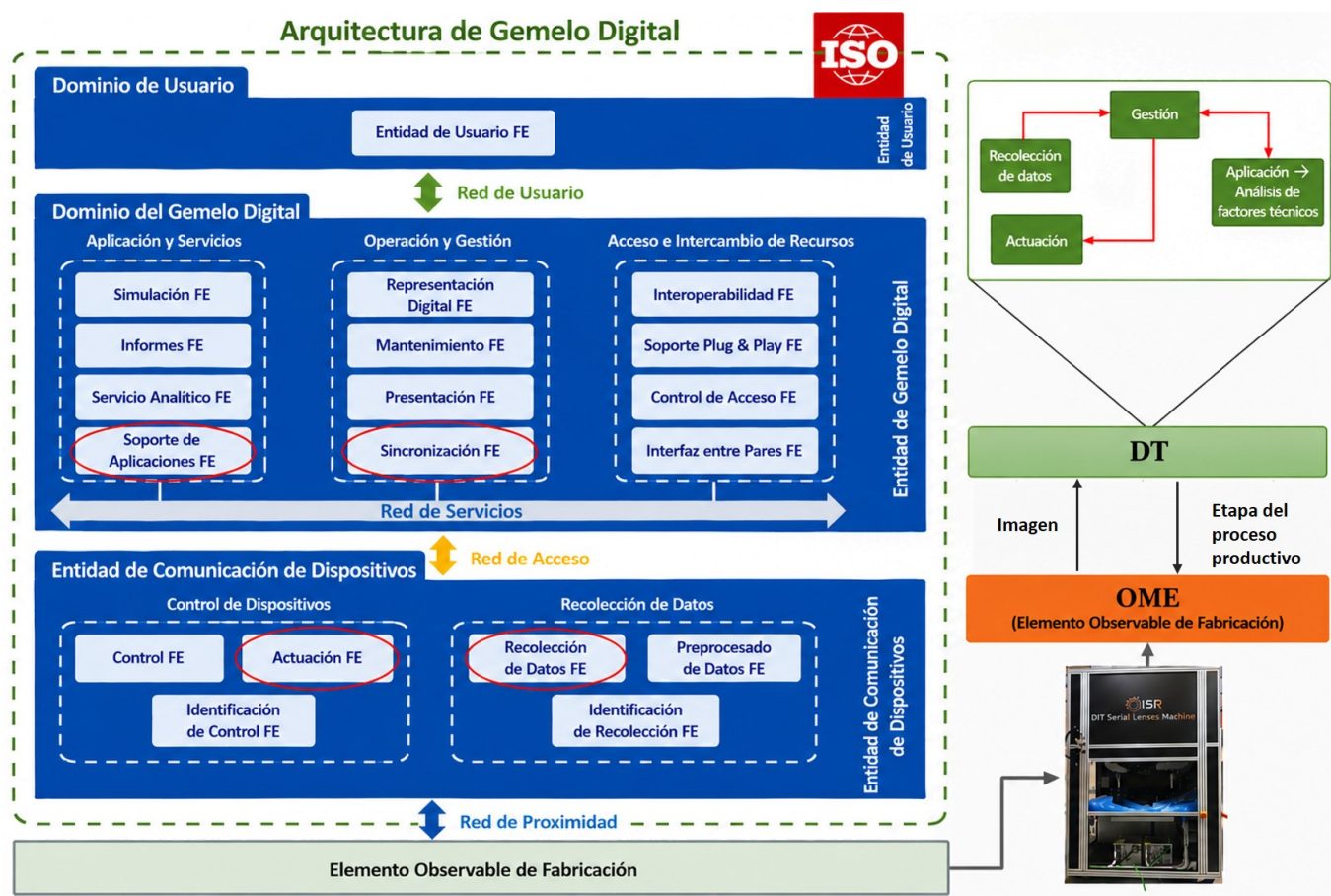


Figura 3: Marco conceptual del Gemelo Digital basado en ISO 23247 para el sistema de inspección industrial.

4. Arquitectura del Gemelo Digital

La arquitectura propuesta se apoya en un modelo de Gemelo Digital y una plataforma multiagente para gestionar el intercambio de información entre el sistema de inspección industrial y los módulos de análisis desarrollados. Esta integración permite organizar los procesos de adquisición de datos, supervisión y análisis automático de defectos dentro de un entorno distribuido y modular.

4.1. Marco conceptual del Gemelo Digital

El Gemelo Digital desarrollado busca extender las capacidades del sistema de inspección industrial tradicional, evolucionando desde un enfoque reactivo hacia una arquitectura capaz de analizar el origen de los defectos detectados durante el proceso de fabricación. Para ello, se propone un entorno sincronizado entre el sistema físico de inspección y una representación digital orientada al análisis contextual de la información generada durante cada ciclo de inspección.

La arquitectura propuesta se encuentra alineada con los principios definidos en la norma ISO 23247 para la implementación de Gemelos Digitales en entornos de fabricación International Organization for Standardization (2021). En este contexto, el sistema de visión industrial actúa como el elemento físico observable del proceso productivo, mientras que el Gemelo Digital constituye su representación virtual sincronizada. Esta sincronización permite disponer de información

contextualizada sobre el estado del sistema de inspección y sobre los defectos detectados durante el proceso de fabricación.

El flujo de información comienza con la adquisición de imágenes y resultados generados por el sistema de inspección industrial. Estos datos permiten actualizar la representación digital asociada a cada pieza inspeccionada e incorporar información relacionada con defectos y resultados de inspección.

La Fig. 3 muestra el marco conceptual del Gemelo Digital y el flujo de información establecido entre el sistema físico de inspección y su representación digital.

4.2. Plataforma multiagente desarrollada

Para implementar la arquitectura propuesta se ha desarrollado una plataforma distribuida basada en sistemas multiagente. Este enfoque permite desacoplar las diferentes funcionalidades del sistema y facilita la integración de nuevos módulos de análisis, supervisión o comunicación dentro del Gemelo Digital. Además, las arquitecturas multiagente proporcionan modularidad, escalabilidad y capacidades de interoperabilidad especialmente adecuadas para entornos industriales distribuidos.

La plataforma ha sido desarrollada utilizando SPADE (*Smart Python Agent Development Environment*), un entorno orientado al desarrollo de sistemas multiagente sobre protocolos de comunicación distribuidos. Cada agente implementado dentro de la arquitectura es responsable de una funcionalidad específica relacionada con la adquisición, sincronización,

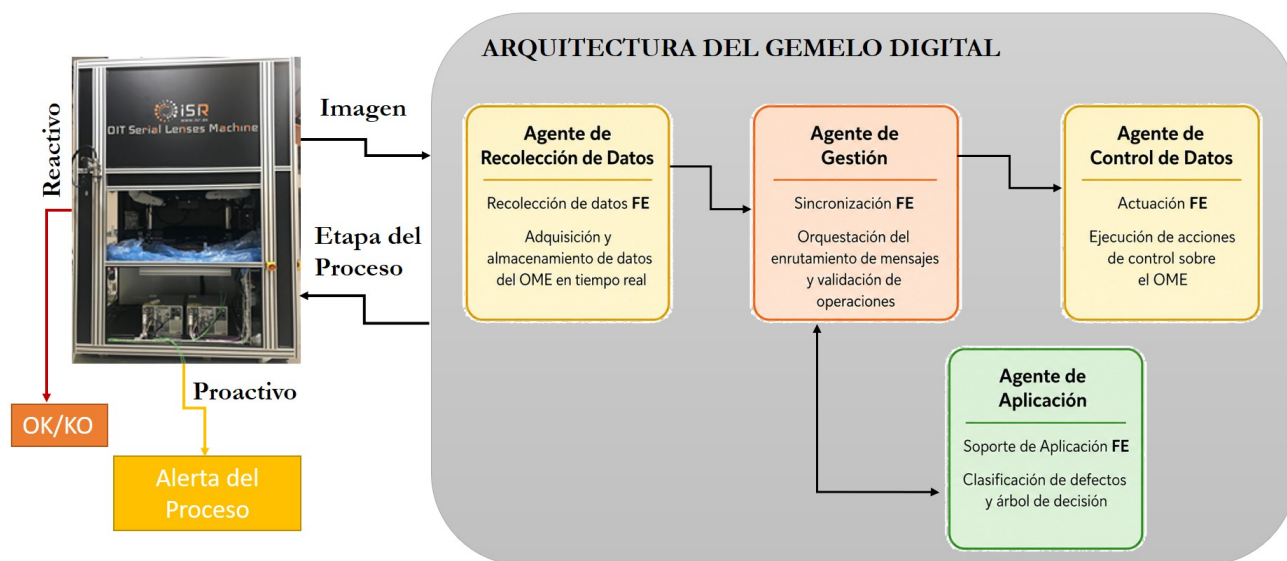


Figura 4: Arquitectura multiagente desarrollada para la sincronización entre el sistema físico y el Gemelo Digital.

análisis o supervisión de la información generada por el sistema de inspección.

El agente de adquisición de datos se encarga de recopilar la información generada durante el ciclo de inspección industrial, incluyendo resultados de inspección, imágenes procesadas y metadatos asociados al proceso. Esta información es distribuida al resto de agentes mediante mecanismos internos de comunicación, permitiendo mantener sincronizada la representación digital del sistema físico.

El agente de representación digital mantiene actualizado el estado virtual asociado a cada inspección realizada. Sobre esta representación se almacenan tanto los resultados generados por el sistema de visión industrial como la información derivada de los procesos de análisis implementados en el Gemelo Digital.

Por otra parte, el agente de gestión coordina el flujo global de información dentro de la plataforma multiagente, supervisando las comunicaciones entre agentes y gestionando las diferentes tareas ejecutadas durante el proceso de análisis y trazabilidad.

La plataforma incorpora además un agente de aplicación encargado de ejecutar los algoritmos de inteligencia artificial utilizados para la identificación automática de defectos superficiales. Para ello, se emplean modelos de aprendizaje profundo basados en la arquitectura YOLO Redmon et al. (2016), capaces de detectar y clasificar defectos sobre las imágenes generadas por el sistema de visión industrial. Una vez identificado el tipo de defecto, el sistema realiza un análisis de causa raíz utilizando el conocimiento asociado al proceso de fabricación, permitiendo inferir automáticamente la etapa productiva donde probablemente se originó el defecto detectado.

La comunicación entre el sistema físico de inspección y el Gemelo Digital permite cerrar el ciclo entre detección, análisis y supervisión del proceso productivo. De esta forma, la plataforma proporciona información contextualizada para tareas de supervisión industrial, trazabilidad de defectos y soporte a la

toma de decisiones.

La Figura 4 muestra la arquitectura de la plataforma multiagente desarrollada y las interacciones existentes entre los diferentes agentes que componen el sistema.

5. Integración industrial del sistema propuesto

La arquitectura desarrollada ha sido concebida para su integración sobre el sistema de inspección industrial actualmente utilizado en la fabricación de lentes de faros de automoción. En el momento actual, el sistema de visión industrial continúa operando en modo reactivo dentro del entorno de producción, mientras que el Gemelo Digital y la plataforma multiagente se encuentran en fase de validación funcional. Asimismo, se han realizado pruebas preliminares de identificación automática de defectos mediante modelos basados en aprendizaje profundo utilizando imágenes obtenidas del sistema de inspección industrial. Estas pruebas han permitido evaluar la viabilidad de incorporar capacidades de trazabilidad y análisis de defectos dentro del entorno de supervisión desarrollado.

5.1. Flujo de funcionamiento

La arquitectura propuesta establece un flujo de información entre el sistema físico de inspección y el Gemelo Digital desarrollado. Durante el ciclo de inspección, el sistema de visión industrial adquiere las imágenes de la lente y genera la información asociada al resultado de inspección. Estos datos pueden ser posteriormente utilizados por la plataforma multiagente para actualizar la representación digital asociada a cada pieza inspeccionada.

Sobre esta representación digital se ejecutan los mecanismos de identificación automática de defectos y análisis de trazabilidad planteados en este trabajo. A partir de las imágenes procesadas por el sistema de visión industrial, los modelos basados en aprendizaje profundo permiten identificar diferentes

tipologías de defectos superficiales presentes en las lentes inspeccionadas.

5.2. *Análisis de trazabilidad de defectos*

Las pruebas realizadas han permitido evaluar la capacidad del sistema para asociar determinados defectos detectados durante la inspección con distintas etapas del proceso de fabricación. Para ello, se ha utilizado el conocimiento asociado a la tipología de defectos presentes en las lentes de faros y su relación con procesos como inyección, recubrimiento o secado.

La información generada por el sistema de identificación automática constituye la base para incorporar capacidades de análisis contextual dentro del Gemelo Digital. De este modo, la arquitectura desarrollada permite plantear mecanismos de trazabilidad orientados a facilitar tareas de supervisión industrial y análisis de incidencias en planta.

Aunque actualmente el sistema no actúa directamente sobre el proceso productivo, la información obtenida podría utilizarse en futuras etapas para facilitar la identificación temprana de anomalías y mejorar el análisis del origen de determinados defectos detectados durante la inspección final.

5.3. *Aplicabilidad industrial*

El enfoque basado en Gemelo Digital y sistemas multiagente permite incorporar nuevas capacidades de análisis y supervisión sin modificar el funcionamiento principal del sistema de visión industrial.

Las pruebas realizadas muestran que la plataforma desarrollada proporciona una base adecuada para evolucionar sistemas de inspección convencionales hacia entornos de supervisión más avanzados, incorporando capacidades de trazabilidad y análisis de defectos dentro del proceso productivo. Asimismo, la modularidad de la arquitectura facilita la incorporación futura de nuevos modelos de análisis y su posible extensión a otros procesos de fabricación industrial.

6. Conclusiones

Este trabajo presenta un Gemelo Digital orientado a extender las capacidades de los sistemas de visión industrial tradicionales hacia entornos de control de calidad proactivo. La propuesta combina un sistema de inspección industrial ya existente con una plataforma multiagente y mecanismos de identificación automática de defectos basados en aprendizaje profundo.

La arquitectura desarrollada permite establecer una representación digital del sistema de inspección y proporciona una base para incorporar capacidades de análisis y trazabilidad de defectos dentro del entorno industrial. Asimismo, el uso de una plataforma multiagente facilita la modularidad e interoperabilidad entre los diferentes componentes que integran el Gemelo Digital.

Las pruebas preliminares realizadas sobre imágenes obtenidas del sistema de inspección industrial muestran la viabilidad de utilizar modelos basados en aprendizaje profundo para la identificación automática de defectos superficiales presentes en lentes de faros de automoción. Del mismo modo, la información generada permite plantear mecanismos de análisis

de trazabilidad orientados a relacionar determinados defectos con las distintas etapas del proceso de fabricación.

Como líneas futuras de trabajo, se plantea completar la integración de los modelos de identificación automática dentro del entorno industrial y ampliar las capacidades del Gemelo Digital mediante la incorporación de nuevos mecanismos de supervisión y análisis del proceso productivo. Asimismo, se estudiará la incorporación de estrategias predictivas orientadas a facilitar la detección temprana de anomalías en fabricación y extender la aplicación de la arquitectura propuesta a otros procesos industriales.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada parcialmente por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España a través del proyecto del Plan Nacional PID2023-150832OB-I00 y por el proyecto DGP-PIDI-2024-01419 de la Junta de Andalucía.

Referencias

- Frick, J., Grudowski, P., 6 2023. Quality 5.0: A paradigm shift towards proactive quality control in industry 5.0. *International Journal of Business Administration* 14, 51.
DOI: 10.5430/ijba.v14n2p51
- International Organization for Standardization, 2021. ISO 23247-1:2021 Automation systems and integration – Digital twin framework for manufacturing – Part 1: Overview and general principles.
URL: <https://www.iso.org/standard/75066.html>
- Leberruyer, N., Bruch, J., Ahlskog, M., Afshar, S., 5 2023. Toward zero defect manufacturing with the support of artificial intelligence—insights from an industrial application. *Computers in Industry* 147.
DOI: 10.1016/j.compind.2023.103877
- Lou, H. H., Huang, Y. L., 2003. Hierarchical decision making for proactive quality control: System development for defect reduction in automotive coating operations. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 16, 237–250.
DOI: 10.1016/S0952-1976(03)00060-5
- Martínez, S., Ortega, J., García, J., García, A., Estévez, E., 2013. An industrial vision system for surface quality inspection of transparent parts. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 68.
DOI: 10.1007/s00170-013-4904-2
- Martínez, S. S., Ortega, J. G., García, J. G., García, A. S., 2012. A machine vision system for defect characterization on transparent parts with non-plane surfaces. *Machine Vision and Applications* 23.
DOI: 10.1007/s00138-010-0281-0
- Psarommatis, F., May, G., Dreyfus, P. A., Kiritsis, D., 2020. Zero defect manufacturing: state-of-the-art review, shortcomings and future directions in research. *International Journal of Production Research* 58, 1–17.
DOI: 10.1080/00207543.2019.1605228
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., Farhadi, A., 5 2016. You only look once: Unified, real-time object detection. *arXiv preprint arXiv:1506.02640*.
URL: <http://arxiv.org/abs/1506.02640>
- Saadallah, A., Abdulaaty, O., Büscher, J., Panusch, T., Morik, K., Deuse, J., 2022. Early quality prediction using deep learning on time series sensor data. In: *Procedia CIRP*. Vol. 107. Elsevier B.V., pp. 611–616.
DOI: 10.1016/j.procir.2022.05.034
- Shahin, M., Chen, F. F., Bouzary, H., Krishnaiyer, K., 3 2020. Integration of lean practices and industry 4.0 technologies: smart manufacturing for next-generation enterprises. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 107, 2927–2936.
DOI: 10.1007/s00170-020-05124-0
- Tzampazaki, M., Zografos, C., Vrochidou, E., Papakostas, G. A., 2 2024. Machine vision—moving from industry 4.0 to industry 5.0. *Applied Sciences (Switzerland)* 14.
DOI: 10.3390/app14041471