

Aplicación de sensores de visión para un sistema de clasificación inteligente para la industria agrícola.

Application of vision sensors for an intelligent classification system in the agricultural industry.

Luis Enrique Castro Mendoza (1).
Estudiante Tecnológico Nacional de México/I. T. de Tuxtla Gutiérrez.
L20270577@tuxtla.tecnm.mx.

Aldo Esteban Aguilar Castillejos* (2). Tecnológico Nacional de México/ I. T. de Tuxtla Gutiérrez,
aldo.ac@tuxtla.tecnm.mx.

Osbaldo Ysaac García Ramos (3). Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
ogarcia@tuxtla.tecnm.mx.

Álvaro Hernández Sol (4). Tecnológico Nacional de México/I. T. de Tuxtla Gutiérrez, alvaro.hs@tuxtla.tecnm.mx.

Vicente León Orozco (5). Tecnológico Nacional de México/I. T. de Tuxtla Gutiérrez, vicente.lo@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en noviembre 18, 2024; aceptado en diciembre 20, 2024.

Resumen.

En el presente artículo se presenta el desarrollo de un sistema de clasificación agrícola, enfocado en la optimización del proceso de selección de productos como limones, uvas y granos de café. Se implementaron mejoras al diseño existente, incluyendo la adición de un perfilómetro y el peinado de cables para optimizar el funcionamiento del sistema. Además, se desarrolló un algoritmo de procesamiento de imágenes a través de Efector Dualis, que permitirá clasificar los productos en función de características como color, textura y tamaño. Finalmente, se generó un manual de operación para facilitar la implementación del sistema en instituciones de nivel superior, contribuyendo así a la formación académica y a la innovación en el campo de la clasificación agrícola.

Palabras claves: Efector Dualis, optimización, perfilómetro.

Abstract.

This article presents the development of an agricultural classification system, focused on optimizing the selection process for products such as lemons, grapes, and coffee beans. Improvements were made to the existing design, including the addition of a profilometer and cable grooming to optimize the system's functionality. Additionally, an image processing algorithm was developed using Efector Dualis, which will enable the classification of products based on characteristics such as color, texture, and size. Finally, an operation manual was created to facilitate the

implementation of the system in higher education institutions, thereby contributing to academic training and innovation in the field of agricultural classification.

Keywords: Efector Dualis, optimization, profilometer.

1. Introducción.

México es el segundo mayor productor agrícola de América Latina, solo detrás de Brasil, y se ha consolidado como uno de los principales exportadores agroalimentarios de la región (OCDE-FAO, 2023).

Productos como el aguacate, el tomate y el tequila han impulsado un crecimiento significativo en las exportaciones, las cuales registraron un aumento del 5.82% en los primeros meses de 2024 respecto al año anterior (Líder Empresarial, 2024; SADER, 2024).

La creciente importancia del sector agrícola mexicano ha fomentado la incorporación de tecnologías emergentes para mejorar su eficiencia y competitividad. En este contexto, la implementación de un sistema de clasificación inteligente basado en visión artificial busca optimizar la selección de productos agrícolas, los cuales en este caso lo serían productos de la agricultura en Chiapas.

Esta innovación no solo permitirá agilizar los procesos de selección, sino también garantizar el cumplimiento de estándares internacionales y adaptarse a las particularidades de cada cultivo (OCDE-FAO, 2023). Además, fomentará la competitividad del sector y reducirá pérdidas durante la postcosecha al asegurar una evaluación precisa y consistente de la calidad (FieldPro, 2024).

En este artículo, exploraremos cómo la visión artificial se integra en la agricultura, los beneficios que ofrece y los desafíos que enfrenta su adopción en el sector. A medida que el mundo busca soluciones sostenibles y efectivas para alimentar a una población en crecimiento, la innovación en la clasificación de productos se convierte en una herramienta clave para el futuro de la agricultura.

En este contexto se utilizó una cámara IFM modelo O2D225 y un perfilómetro OPD101 para llevar a cabo la clasificación automática de limones, chiles habaneros, etc., optimizando la precisión y eficiencia en la selección de los frutos y verduras a utilizar.

La cámara O2D225 es un sensor de visión inteligente que permite la captura de imágenes en tiempo real y la detección de características específicas, como el tamaño, color y posibles defectos en la superficie de la fruta que nosotros vayamos a clasificar. Todo esto a través de Efector Dualis (IFM Electronic, 2024a).

Esta herramienta facilita la automatización del proceso, eliminando variaciones humanas y asegurando mayor consistencia en los resultados.

Por otro lado, el perfilómetro OPD101 se utilizó para medir las características volumétricas de los frutos, como textura y forma. Esta tecnología es fundamental para identificar imperfecciones físicas, como deformaciones o irregularidades en la cáscara, que pueden afectar la calidad del producto (IFM Electronic, 2024b). La combinación de estos dispositivos permite un análisis más completo, integrando datos visuales y estructurales.

2. Métodos.

El proyecto se enfocó en la implementación de sistemas de visión en la industria agrícola, la forma ideal que se encontró para llegar al resultado deseado, fueron las siguientes etapas:

- Investigación de sensores de visión: análisis exhaustivo de tecnologías adecuadas para la selección de sensores, considerando los requisitos habituales en procesos agrícolas.
- Selección de dispositivos de visión: a partir de la investigación, se realizó la adquisición de sistemas de visión capaces de analizar características como tamaño, forma, textura y color, asegurando compatibilidad con el PLC.
- Diseño del sistema de clasificación: con los elementos seleccionados se implementa un sistema con banda transportadora y actuadores electroneumáticos para la selección automática de productos.
- Configuración de sensores: Los sensores se ajustarán según patrones de referencia para identificar productos agrícolas (limones, uvas, granos de café) basándose en criterios específicos.
- Pruebas de calidad: Con el diseño del sistema y la configuración de sensores, se realizará la verificación de la funcionalidad del sistema de visión mediante ajustes finos y pruebas con PLC y software especializado.

3. Desarrollo.

Se llevó a cabo una investigación exhaustiva sobre la implementación de sistemas de visión en el ámbito de la industria agrícola. Este análisis detallado permitió identificar distintas aplicaciones de sensores 2D equipados con tecnologías de visión y láser, destacando su efectividad y versatilidad en entornos de producción agrícola. Como resultado de este estudio, se optó por la tecnología de la marca ifm, junto con sus sensores avanzados, por su capacidad para satisfacer las demandas específicas de precisión y confiabilidad en este sector industrial.

Se eligió el sensor O2D225 de ifm ya que es un sistema de visión compacto que combina detección de imágenes en 2D y análisis de patrones. Utiliza tecnología de procesamiento avanzado para reconocer y verificar la presencia, posición y orientación de objetos con alta precisión. En la industria agrícola, lo podemos emplear para tareas como clasificación de productos, control de calidad y monitoreo en procesos de cosecha y empaque, ayudando a automatizar y mejorar la eficiencia en operaciones agrícolas al reducir errores y optimizar el uso de recursos (ifm electronic, s.f.).



Figura 1. Sensor O2D225.

En cuanto a su compatibilidad con el PLC S7-1200 de Siemens, este sensor se puede integrar fácilmente debido a su capacidad de comunicación a través de protocolos industriales comunes como Ethernet/IP o Profinet. Esto permite que el PLC reciba los datos procesados del sensor para su uso en sistemas de automatización, permitiendo una comunicación fluida y coordinada en entornos industriales.

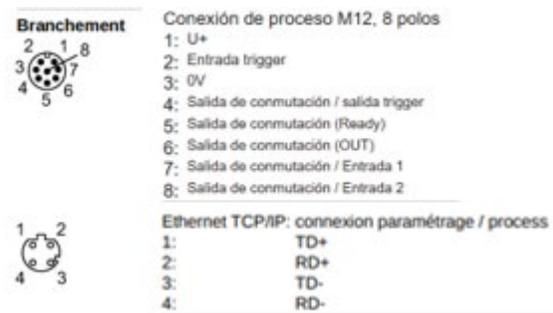


Figura 2. Conexión de la O2D225.

También se seleccionó el sensor OPD101 de ifm, ya que es un sistema de visión 3D que utiliza tecnología de tiempo de vuelo (ToF) para medir la distancia y forma de los objetos en su campo de visión. Esta capacidad le permite detectar volúmenes, formas y posiciones en aplicaciones agrícolas, como la clasificación de productos en nuestro caso en una cinta transportadora para poder tener un mejor control de calidad para frutas y verduras, así como también en otros usos como llenado de contenedores (ifm electronic, s.f.).



Figura 3. Sensor OPD101.

En cuanto a su compatibilidad con el PLC S7-1200 de Siemens, el OPD101 se integra mediante protocolos de comunicación estándar como Profinet. Esto permite que los datos de imágenes y mediciones del sensor se transmitan al PLC, facilitando la automatización y control de procesos en sistemas agrícolas.

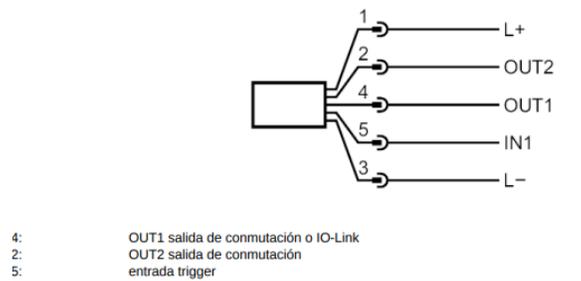


Figura 4. Conexión del OPD101.

Para la integración de todo el sistema, se utilizará el maestro IO-Link del modelo AL1300 con el sensor ifm OPD101 ya que nos da varias ventajas en términos de comunicación, control y flexibilidad, especialmente en esta aplicación industrial que requiere precisión y eficiencia en el intercambio de datos.



Figura 5. Maestro IO Link IFM AL 1300.

Para el control se optó por el uso del PLC modelo S7-1200 de la marca Siemens, un sistema de control altamente flexible y eficiente que se adapta perfectamente a las necesidades específicas de los procesos industriales. Este PLC destaca por su capacidad de expansión y personalización gracias a la integración de módulos de señal enchufables, los cuales permiten una configuración modular que facilita la adaptación a diferentes requerimientos de entrada y salida en función de las características del proceso a controlar.

Además de su flexibilidad en términos de señalización, el S7-1200 ofrece una amplia gama de módulos de comunicación que permiten una integración sencilla y efectiva con otros sistemas, dispositivos o en este caso sensores de visión, tanto a nivel local como remoto. Esto incluye la posibilidad de utilizar protocolos estándar de comunicación industrial como Profinet, Ethernet, y otros, lo que facilita su conexión con otros PLCs, estaciones HMI, y sistemas SCADA, asegurando la interoperabilidad y optimizando la gestión de datos en tiempo real.



Figura 6. PLC S7-1200.

Diseño del sistema de clasificación.

Una banda transportadora equipada con seleccionadores neumáticos tiene la capacidad de procesar grandes volúmenes de producto en un tiempo considerablemente menor en comparación con la selección manual. Este sistema permite transportar continuamente los productos mientras los clasificadores neumáticos identifican y eliminan aquellos que no

cumplen con los estándares de calidad, todo esto mediante los pulsos que nos manda nuestro PLC con la información que nos manda nuestro perfilómetro y cámara.

El proceso de diseño mecánico en 3D se realizó utilizando el software SolidWorks, el cual permitió llevar a cabo cada una de las fases del proyecto de manera precisa. El desarrollo comenzó con el diseño de los elementos que conformarían la base de la cámara y el perfilómetro. En primer lugar, se optó por un perfil de aluminio de 4x4 cm y una altura de 60 cm para la estructura principal. Este perfil fue fijado a una base de soporte hecha de una placa de aluminio con dimensiones de 28x91 cm. Para asegurar una sujeción adecuada, la placa se fijó a la estructura utilizando tornillos, garantizando estabilidad.

Para reforzar, se agregó un perfil adicional de 3x3 cm con una longitud de 15 cm. Este perfil se colocó en la parte superior del perfil principal, permitiendo así sujetar la cámara de manera segura en esa zona superior. Este diseño fue pensado cuidadosamente para asegurar que todos los elementos estuvieran bien sujetos y distribuidos de forma equilibrada, proporcionando estabilidad y seguridad a la cámara y al perfilómetro durante su funcionamiento.

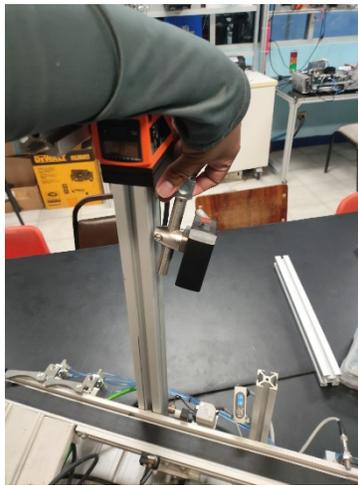


Figura 7. Incorporación de sensores al sistema de banda transportadora.

Esto con el fin de que la cámara tenga mucha estabilidad, tenga un mejor ángulo en el cual pueda enfocar mucho mejor nuestras frutas y no nos afectara al momento de colocar en un costado nuestro perfilómetro. La cámara se fijó con unos tornillos y unas tuercas que van incrustadas en las ranuras del perfil más pequeño, en el caso del perfilómetro se usaron los accesorios que en el manual nos indica para así se hiciera aún más sencillo el montaje de este.

A continuación, se detalla su proceso de instalación utilizando los componentes que nos detalla en la página de ifm.

Para garantizar un montaje seguro y eficiente, se utilizaron los siguientes accesorios:

Soporte de fijación (E20952): Este soporte proporciona una base robusta para la instalación del sensor. Se fija a una estructura estable, en este caso un perfil de aluminio, permitiendo un anclaje sólido. Su diseño facilita el posicionamiento inicial del sensor en la zona de trabajo.

Adaptador giratorio (E3D301): Este accesorio permite inclinar y rotar el sensor, logrando darle diferentes ángulos de visión. El adaptador se conecta directamente al soporte de fijación y, posteriormente, se monta el sensor OPD101 sobre él. Esta característica es especialmente útil para ajustar el sensor según las necesidades específicas del entorno.

Placa de montaje (E20939): La placa se utiliza para incrementar la estabilidad de la instalación. Se fija al soporte principal y actúa como una base adicional, ideal para aplicaciones en las que las vibraciones o movimientos podrían afectar el rendimiento del sensor.



Figura 8. Accesorios del OPD101.

Para la conexión eléctrica de el sensor OPD101 requiere una alimentación de 24 VDC. Para ello, se utiliza un cable M12 de 5 pines compatible con los puertos del sensor, para este caso también se usó un conector para ese cable de la marca ifm y modelo EVC706. Es fundamental asegurarse de que la fuente de alimentación esté protegida contra sobrecargas y que cumpla con las especificaciones del sensor para evitar fallos en el funcionamiento.



Figura 9. Cable de alimentación EVC706.

Para la banda transportadora se usaron unas soleras en forma de L, las cuales van fijadas a nuestra base de aluminio y a cada esquina de la estructura de la banda. Esto se hace con el propósito de elevar la banda a una altura de 20 cm, de modo que no obstruya el paso del motor de corriente directa que está conectado a la banda transportadora. La altura también garantiza una correcta alineación y un funcionamiento eficiente del sistema, se usaron 4 de estas soleras para una banda con un largo de 70cm y un ancho 4cm.



Figura 10. Solera en tipo L.

Este motor, de 24 volts, es el encargado de proporcionar la movilidad a la banda, permitiendo el desplazamiento de las frutas a lo largo de su recorrido. El control de la banda transportadora está integrado en un sistema automatizado mediante un PLC 1200, que es el cerebro del proceso. El PLC recibe las señales de los botones pulsadores ubicados en el panel de control, los cuales permiten al operador iniciar, detener o reiniciar el funcionamiento de la banda según sea necesario.



Figura 11. Panel de control.

El panel de control consta de tres botones pulsadores que facilitan el manejo del sistema. Además, se ha instalado un sensor óptico de la marca FESTO, modelo SOE6-L-Q30-P. A-K-21, en uno de los costados de la banda transportadora. Este sensor detecta la presencia de material en el recorrido de la banda y, en cuanto lo hace, envía un pulso al PLC para detener la banda automáticamente.



Figura 12. Sensor optico FESTO.

Una vez que el sensor envía el pulso, la cámara O2D225 toma una foto del material que está pasando por la banda. Esta imagen es monitoreada para asegurar que el material esté siendo transportado correctamente y para realizar un control de calidad visual en tiempo real. La cámara proporciona una herramienta adicional de monitoreo que permite verificar la integridad del material o detectar posibles fallos en el proceso, lo que mejora la eficiencia y reduce el riesgo de errores o daños.

Al final de la banda transportadora se instalaron cilindros neumáticos de la marca Festo, modelo ADVU-16-10-P-A 156508 P858, con una presión máxima de 10 bar, para seleccionar los productos. Estos cilindros están controlados por un controlador neumático de la misma marca. Los cilindros neumáticos están conectados a rampas clasificadoras, que permiten clasificar y redirigir los productos según los criterios establecidos. Esta parte del sistema garantiza que los productos sean segregados de manera eficiente y precisa, contribuyendo a una clasificación automatizada basada en características predefinidas.



Figura 13. Cilindros neumáticos.

En cuanto a la parte eléctrica, se utilizaron clemas, en estas clemas van a ir conectados la alimentación de nuestro PLC, cámara, IO link, motor y sensor óptico. Todo esto conectado a una fuente de 24 volts, la cual alimenta todo el sistema. Esta fuente de 24 voltios es alimentada con corriente alterna y cuenta con un interruptor termomagnético para protección. Además, tiene una clavija que permite conectarse a la red doméstica, asegurando la correcta alimentación del sistema y facilitando su integración en un entorno estándar.

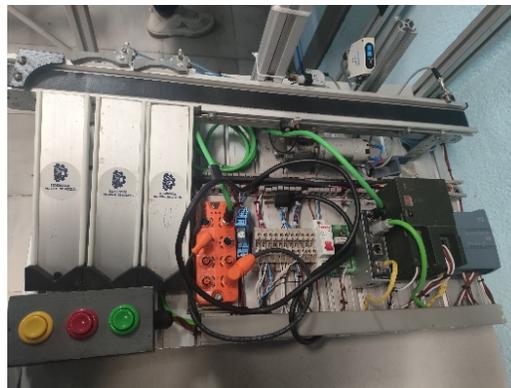


Figura 14. Parte eléctrica.

Todo este sistema es especialmente beneficioso en la industria de frutas y verduras, donde las demandas de producción y distribución son altas. Para limones, uvas y granos de café, que requieren una clasificación precisa y constante, un sistema automatizado garantiza que el proceso sea rápido, lo cual reduce los tiempos de inactividad y aumenta la productividad.

En nuestro sistema de selección neumática se utilizan sensores de alta precisión y tecnología de visión para identificar rápidamente defectos y clasificar productos. En el caso de los limones, el sistema puede detectar imperfecciones en la cáscara o la madurez, mientras que para las uvas y los granos de café puede identificar tamaño, color y textura. Este nivel de precisión reduce el riesgo de error humano y garantiza que cada lote tenga una calidad uniforme.



Figura 15. Sistema completo.

Los productos que llegan al consumidor final tienen, en general, una mayor probabilidad de cumplir con los estándares de apariencia y sabor, lo que puede resultar en una mayor satisfacción y lealtad del cliente.

Nuestro sistema utiliza una red PROFINET para garantizar una comunicación rápida y eficiente entre los diferentes dispositivos. Todo está interconectado a través de un Switch Ethernet, que actúa como un nodo central. A este switch se conectan la cámara, el módulo IO-Link y el PLC, permitiendo el intercambio de datos en tiempo real.

El perfilómetro se conecta directamente al módulo IO-Link, que actúa como intermediario, enviando los datos capturados por el perfilómetro al Switch Ethernet. Desde allí, estos datos son distribuidos a los demás dispositivos del sistema, asegurando una comunicación fluida y coordinada. La cámara transmite imágenes capturadas para su procesamiento y monitoreo, mientras que el PLC coordina todas las señales y ejecuta las lógicas de control necesarias para el funcionamiento del sistema.

Gracias a esta infraestructura basada en PROFINET, y con el soporte del Switch Ethernet y el módulo IO-Link, se logra una integración robusta y confiable, optimizando la sincronización y el desempeño de todo el sistema.

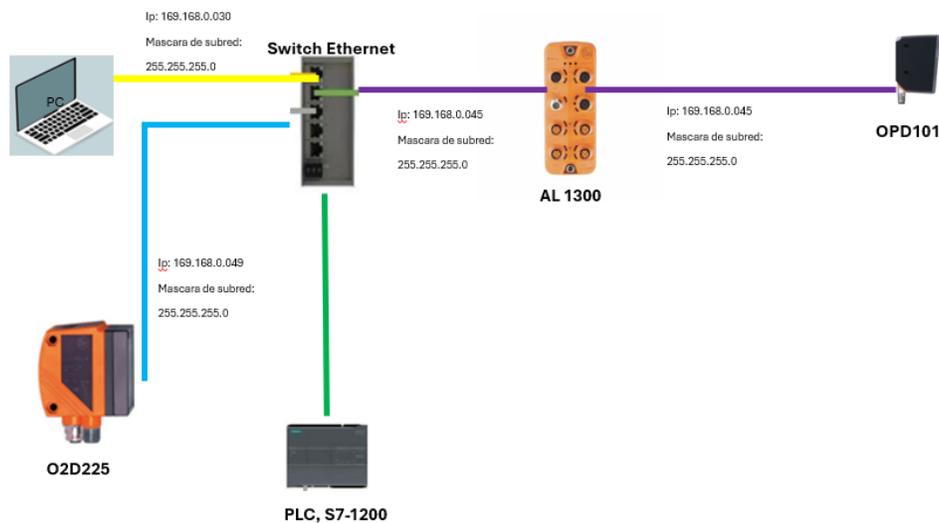


Figura 16. Diseño general del sistema.

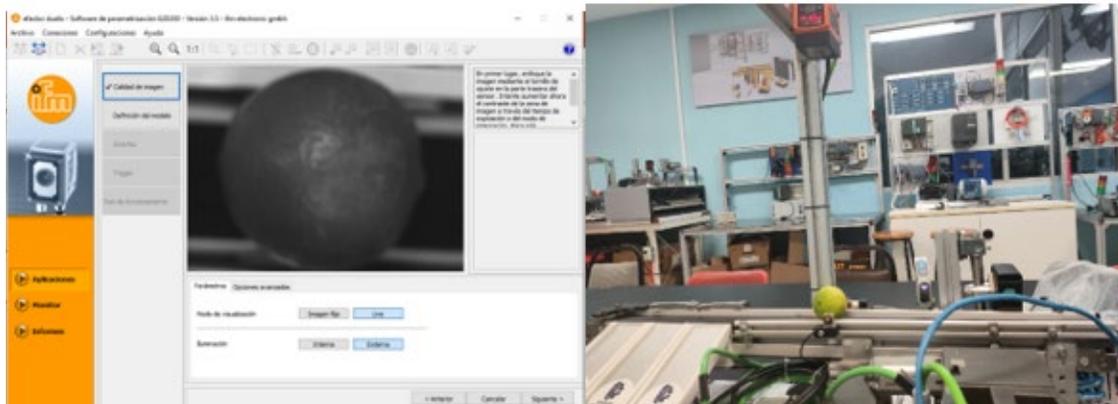
Tabla 1. Direcciones de los dispositivos.

Dispositivo	Dirección IP.	Mascara de subred
Pc	169.168.0.030	255.255.255.0
Máster IO link	169.168.0.045	255.255.255.0
O2D225	169.168.0.049	255.255.255.0
OPD101	169.168.0.045	255.255.255.0

Configuración de sensores.

Se utilizó el software efector dualis de ifm, una herramienta específica para la parametrización y configuración de sensores de visión.

Se empleó el software Efector Dualis de IFM, una herramienta especializada en la parametrización y configuración de sensores de visión. Este software permite ajustar de manera precisa y eficiente los parámetros de los sensores, garantizando una integración óptima con el sistema. Con Efector Dualis, se facilita la calibración y personalización de los sensores de visión, lo que asegura un control más preciso de las imágenes capturadas y una detección de defectos o características específicas en los materiales transportados.

**Figura 17.** Comparación de la visualización de la cámara.

Se efectuó el ajuste de enfoque y en nuestro caso fue necesario aumentar la altura considerablemente para así poder tener una mejor visualización en nuestras imágenes. Algunos modelos de sensores de ifm incluyen enfoque automático o herramientas en el software para guiar este ajuste, en el caso del O2D225 tiene un tornillo en la parte superior para poder ajustare el enfoque de la cámara.

Este es uno de los puntos más importantes, debemos de ajustar la iluminación externa o activar el modo de compensación de luz en el software para adaptarse a las condiciones ambientales, ya que muchas veces tuvimos problemas que a medida se fuera acercando la noche nuestro sensor se iba desenfocando. La iluminación adecuada es fundamental para la calidad de imagen; debemos de evitar reflejos y sombras fuertes que puedan interferir en la precisión del sensor.

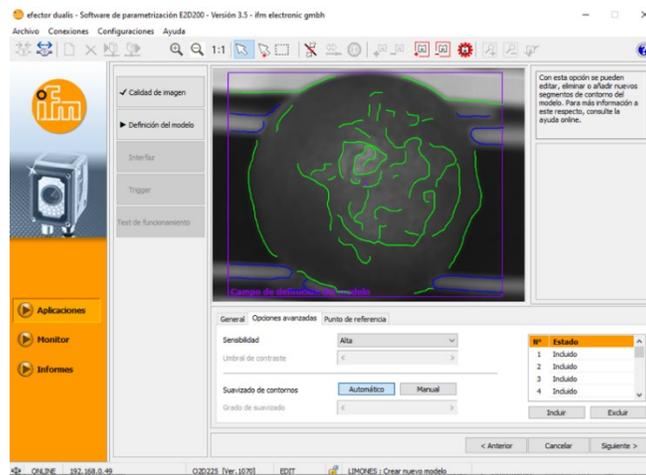


Figura 18. Definición del modelo.

Para finalizar la configuración, se corroboró el funcionamiento con patrones de prueba, es decir diferentes limones para verificar la concordancia.

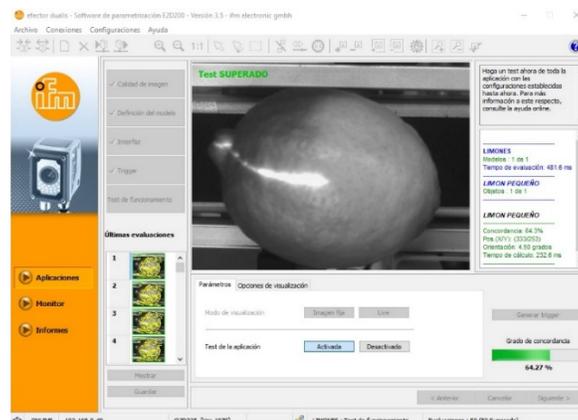


Figura 19. Prueba de aplicación.

Una vez asignada correctamente la dirección IP (192.168.0.45) y la máscara de subred (255.255.255.0), se procede a conectar el Master IO Link a la segunda aplicación, IFM Visión. Si IFM Visión no detecta automáticamente el dispositivo, se puede conectar manualmente ingresando la dirección IP asignada previamente. Además, se debe especificar el modelo del Master IO Link, y el software detectará automáticamente el puerto al que está conectado el sensor.

Buscamos la opción para añadir o configurar un nuevo perfil para así poder parametrizar. Esta opción suele estar etiquetada como “Nuevo perfil” o igual con un signo más.

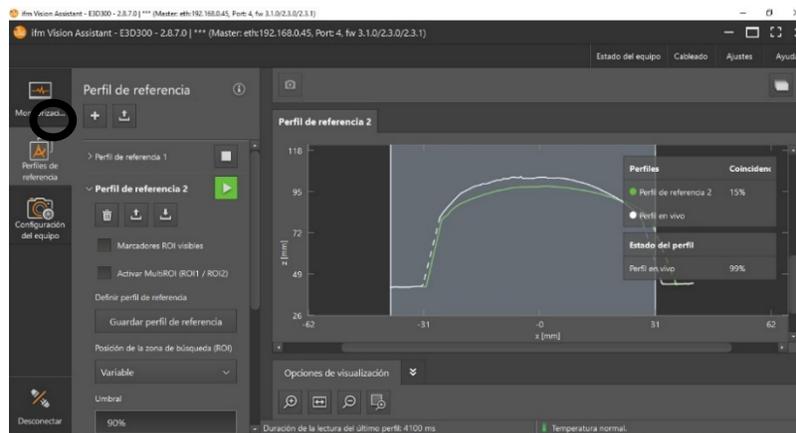


Figura 20. Agregar perfil.

Como siguiente paso tenemos que preparar nuestro objeto y posicionarlo de forma que le llegue el haz de luz para así poder tomar ese perfil como nuestro perfil modelo, luego este usarlo en nuestro caso para seleccionar nuestros productos con los estándares que estamos seleccionando.

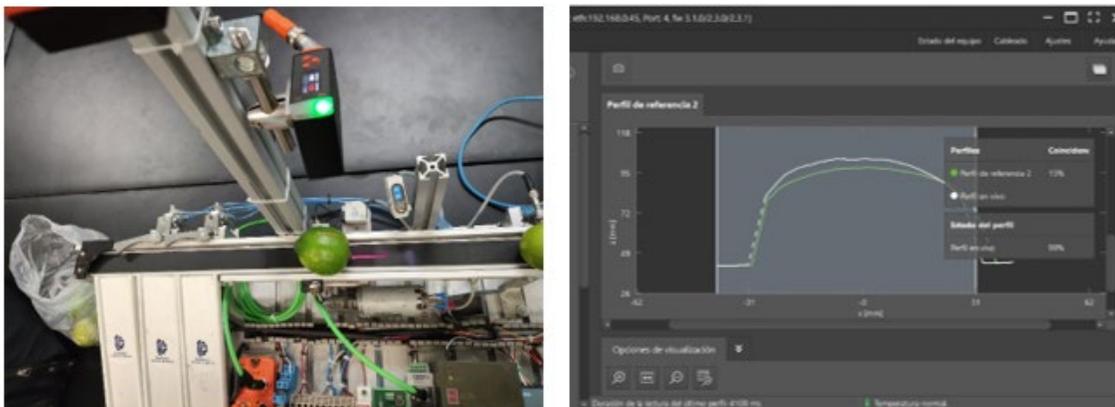


Figura 21. Haz de luz al producto y visualización en el software.

Se realizó el ajuste del haz de luz hacia el limón y se configuró el área ROI y el área de búsqueda de fidelidad al perfil modelo, en este punto también se define la fidelidad de la fruta con respecto al perfil modelo, esta análisis también muestra de manera visual la concordancia en el display del sensor.

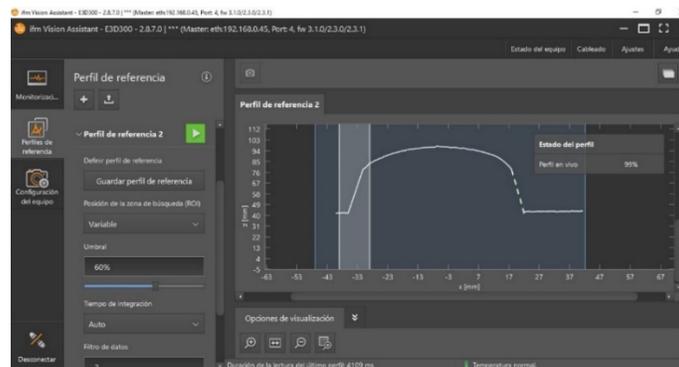


Figura 22. Área ROI y área de búsqueda.

Resultados.

Una vez que se finalizaron las implementaciones del prototipo, como el master IO-Link y ambos sensores, se realizaron pruebas exhaustivas que demostraron un funcionamiento perfecto con concordancias de hasta el 95%. Además, se realizaron dos pruebas adicionales utilizando limones y chile habanero como materiales de prueba. Los resultados fueron exitosos en ambos casos, confirmando la precisión y eficiencia del sistema tanto en la detección como en la clasificación de los productos. Estos resultados validan la capacidad del prototipo para adaptarse a diferentes aplicaciones de manera fiable y efectiva, lo cual puede constatare en la siguiente figura:



Figura 23. Pruebas de funcionamiento.

Sin embargo, la detección del chile habanero resultó ser un poco más complicada de parametrizar debido a la gran variabilidad en sus formas. A menudo, los chiles habaneros presentan tamaños y formas muy diferentes entre sí, lo que dificultó su identificación precisa en ciertas ocasiones. A pesar de esta complejidad, el sistema logró adaptarse y clasificar correctamente la mayoría de los chiles, lo que resalta la robustez y flexibilidad del prototipo frente a desafíos en la variabilidad de los productos.



Figura 24. Pruebas con habanero.

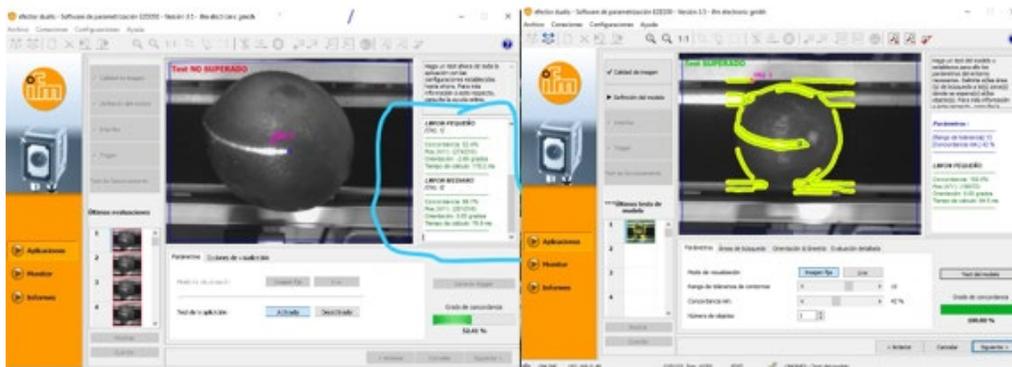


Figura 25. Pruebas con limones.

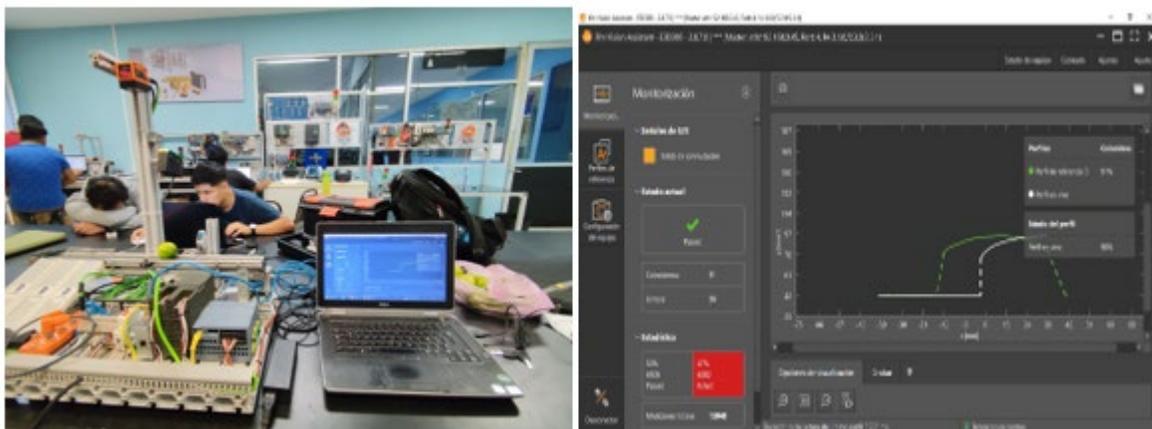


Figura 26. Pruebas de limones con el OPD101.

Conclusiones.

El uso de sensores 2D y de visión en sistemas automatización representa una inversión estratégica para mejorar la precisión, la seguridad y la eficiencia en procesos industriales. Aunque su implementación puede parecer desafiante al principio debido a los requerimientos de calibración, alineación y posibles adaptaciones al entorno, estas dificultades son temporales y solucionables con una buena planificación y capacitación del personal.

La integración de estos sensores no solo ayuda a reducir errores humanos y optimizar recursos, sino que también abre la puerta a procesos más inteligentes y confiables. En industrias donde el tiempo de inactividad o los errores pueden ser costosos, estas tecnologías garantizan un retorno de inversión significativo al mejorar la productividad, reducir costos de mantenimiento y aumentar la satisfacción del cliente final.

Además, al implementar estas herramientas, las empresas se posicionan a la vanguardia tecnológica, preparándose para enfrentar los desafíos de la Industria agrícola de una mejor manera. Si bien la curva de aprendizaje puede ser pronunciada, el impacto positivo en la operación general de los sistemas automatizados justifica plenamente el esfuerzo y los recursos invertidos. Ya que los sensores 2D y de visión no son solo dispositivos complementarios, sino componentes esenciales para construir procesos más eficientes, seguros y sostenibles a largo plazo.

Referencias bibliográficas.

IFM Electronic. (2024a). O2D225- Object recognition sensor. ifm. <https://www.ifm.com/gb/en/product/O2D225>.

IFM Electronic. (2024b). OPD101 - Profile sensor. ifm. <https://www.ifm.com/us/en/product/OPD101>.

ifm electronic. (s.f.). O2D225 - Sensor de visión. Recuperado de <https://www.ifm.com>.

ifm electronic. (s.f.). OPD101 - Sensor de visión 3D. Recuperado de <https://www.ifm.com>.

ifm electronic. (2023). efector dualis: Guía de configuración y uso de sensores de visión. ifm electronic GmbH. Disponible en el sitio web oficial de ifm: <https://www.ifm.com>.

IO-Link Consortium. (2023). Introducción a IO-Link: Principios y aplicaciones en la industria. Disponible en el sitio web de IO-Link: www.io-link.com.

Líder Empresarial. (2024). Los productos agrícolas más exportados de México en 2024. Disponible en: [Los productos agrícolas más exportados de México en 2024 - Líder Empresarial \(liderempresarial.com\)](https://www.liderempresarial.com).

OCDE-FAO. (2023). Perspectivas agrícolas 2023-2032. OECD iLibrary. <https://doi.org/10.1787/19991142>.

Información de los autores.



Luis Enrique Castro Mendoza es estudiante de la carrera de Ingeniería Eléctrica, con especialización en Sistemas Eléctricos de Potencia, cursando actualmente el noveno semestre en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG). Durante su formación

académica, ha adquirido conocimientos sólidos en diseño, análisis y operación de sistemas eléctricos, así como en el manejo de software especializado para la simulación y optimización de redes eléctricas. Además, ha participado en proyectos académicos enfocados en energías renovables y automatización industrial, fortaleciendo sus habilidades técnicas y su capacidad para resolver problemas complejos en el ámbito de la ingeniería eléctrica.



Aldo Esteban Aguilar Castillejos, obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ing. Mecatrónica en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG) en el 2011 y el título de Ingeniero en Electrónica en el mismo Instituto, con especialidad en Instrumentación y Control. Cuenta con la certificación CSWA, CSWP, CSWP Avanzado de SolidWorks; así como un Diplomado en el motor de desarrollo de videojuegos UNREAL, Diplomado en Microsoft Teams y Diplomado en competencias para la enseñanza de las ciencias. Acreedor al premio de desempeño a la excelencia EGEL 2018 y Miembro del Colegio de Ingenieros Mecánicos y Electricistas del Estado de Chiapas. Ha participado en el desarrollo de proyectos de investigación (PEI Conacyt) para empresas privadas, desarrollo de patentes con desarrollos tecnológicos en el Estado de Chiapas y fue parte del cuerpo de investigación de la Universidad del Valle de México Campus Tuxtla hasta el 2022. Actualmente es parte del cuerpo académico “Sistemas de control inteligentes” del I.T.T.G. con desarrollos de proyectos financiados por CONACyT y el TecNM. Con campos de interés en: dispositivos opto-mecatrónicos, manufactura, sensores de fibra óptica, instrumentación y control.



Osbaldo Ysaac García Ramos, Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Académico de Tiempo Completo en UVM desde 2005. Tiene 12 años de experiencia docente. Tiene Cursos especialización en Mecatrónica en Universidad de Esslingen Alemania, en la empresa Emco Salzburgo Austria, en la empresa Festo Estados Unidos y Festo México. Responsable técnico del proyecto de investigación “Consolidar un centro de investigación y desarrollo de vehículos eléctricos funcionales y confortables e impulsados por energía limpia” junto con la empresa Invemex S.A de C.V., 2015. Ha desarrollado proyectos de investigación como ‘Sistema de medición de hélices de barco para la secretaria de marina financiado por Conacyt y Semar’, ‘Diseño y caracterización de Biomateriales a partir de macromicetos como alternativa al uso del unicel’ en el año 2014 (financiados por Conacyt). Tiene participaciones en congresos internacionales como congreso Tecno láser Habana Cuba 2013 con artículo y ponencia ‘Método de registro automático de imágenes de rango tridimensionales para restauración de piezas arqueológicas’.



Álvaro Hernández Sol, es Ingeniero en electrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ITTG, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y es investigador desde 1997. Certificado en SolidWorks Associate. Jefe de proyectos de investigación de ingeniería electrónica desde el 2001. Fundador y asesor del “Club de robótica del ITTG”. Colabora en la línea de investigación de “Robótica”

de Ingeniería electrónica. Dirige el área de trabajo en “Robótica“, es parte del cuerpo académico “sistemas de control inteligentes”. Ha realizado investigaciones en el área de los sistemas alternativos de comunicación y en sistemas robóticos, así como en sistemas traductores de lenguaje.



Vicente León Orozco, Ingeniero electricista, egresado del Instituto Tecnológico de Cd Madero, Tamps. Docente tiempo completo, en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Jefe de proyectos de vinculación de la carrera de ingeniería electrónica. Integrante del Colegio de Ingenieros Mecánicos y Electricistas del Estado de Chiapas. Desde el 2005, integrante de diferentes consejos directivos, como primer secretario. Diseño y ejecución de diversos diplomados de ahorro y uso eficiente de energía, en colaboración CFE-TecNM y SEMAHN. Jefe del Depto. de Ing. Eléctrica y electrónica. En la iniciativa privada con mantenimiento de equipo electrónico.