



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®

Instituto Tecnológico de Apizaco

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

**SISTEMA AUTOMATIZADO DE INSPECCIÓN DE BOLSAS DE
AIRE ASISTIDO POR PROCESAMIENTO DE IMÁGENES Y
TEMPLATE DIGITAL.**

TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**PRESENTA:
EDGAR IVAN MARCELO LOPEZ**

**NOMBRE DEL ASESOR:
DR. CARLOS ALBERTO MORA SANTOS**



APIZACO, TLAX., JUNIO 2025



Tzompantepec, Tlaxcala, 09/enero/2025

Oficio No. MM-004/2026

Asunto: Liberación de Proyecto para Titulación Integral.

LIC. CECILIA YARELLY ARREGUIN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para Titulación integral:

Alumno (a):	EDGAR IVÁN MARCELO LÓPEZ
Carrera:	INGENIERÍA MECATRÓNICA
No. De Control:	20370717
Nombre del Proyecto:	"SISTEMA AUTOMATIZADO DE INSPECCIÓN DE BOLSAS DE AIRE ASISTIDO POR PROCESAMIENTO DE IMÁGENES Y TEMPLATE DIGITAL".
Producto:	TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL.

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®



MTRO. JORGE AGUILAR VÁZQUEZ
JEFE DEL DEPTO. DE METAL-MECÁNICA
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DEPARTAMENTO DE
METAL MECÁNICA

DR. CARLOS ALBERTO MORA SANTOS
ASESOR

c.p.- Archivo.
JAV*petry.



2026
año de
Margarita Maza





Tzompantepec, Tlaxcala, 10/Febrero/2026

EDGAR IVAN MARCELO LÓPEZ
EGRESADO(A) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁTRICA
CON NÚMERO DE CONTROL 20370717.
P R E S E N T E.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción **TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL** y cuyo tema es: **"SISTEMA AUTOMATIZADO DE INSPECCIÓN DE BOLSAS DE AIRE ASISTIDO POR PROCESAMIENTO DE IMÁGENES Y TEMPLATE DIGITAL"**, conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

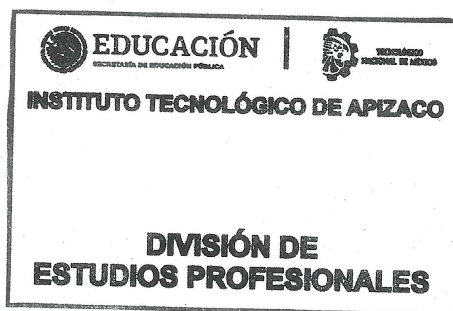
Debiendo entregar **1 USB** del mismo, apropiadamente empastados, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepción Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

CECILIA YARELY ARREGUÍN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



ccp. Archivo
CYAL/Gsc*



2026
año de
Margarita
Maza



Agradecimientos.

Agradezco profundamente a Dios, por brindarme la vida, la fortaleza y la sabiduría necesarias para concluir mi formación universitaria y llevar a término este proyecto. Su guía fue fundamental en cada etapa, especialmente en los momentos de mayor reto y exigencia.

Extiendo mi más sincero agradecimiento a mis padres, quienes han sido pilares incondicionales de apoyo, comprensión y amor a lo largo de todo este camino. Su esfuerzo, ejemplo y acompañamiento constante fueron la base sobre la cual construí cada uno de mis logros.

A mis familiares y amigos, gracias por su respaldo, sus palabras de aliento y su presencia ya sea directa o indirecta durante este proceso. Cada gesto de apoyo dejó una huella valiosa en mi formación personal y profesional.

Y de manera muy especial, a mi pareja, quien en todo momento me motivó, confió en mí y me impulsó a dar lo mejor de mí mismo. Su compañía emocional y anímica fue una fuente constante de energía y determinación.

A todos ustedes, gracias por formar parte de este logro.

Resumen.

El presente trabajo expone el desarrollo e implementación de un Sistema Automatizado de Inspección de Bolsas de Aire Asistido por Procesamiento de Imágenes y Template Digital, enfocado para optimizar el control de calidad en entornos industriales automotrices. La propuesta surge como respuesta a las limitaciones inherentes al proceso manual tradicional, que depende del juicio visual del operador, expuesto a errores por fatiga, subjetividad e inconsistencias en criterios de inspección.

La solución desarrollada integra tecnologías de visión computacional, procesamiento digital de imágenes e inteligencia artificial, aplicadas sobre una infraestructura física ya existente que incluye un template físico normalizado y una mesa iluminada. El sistema utiliza una cámara industrial de alta resolución, montada en un brazo cenital, que permite capturar imágenes completas de la bolsa para su análisis dimensional, respetando una precisión de inspección mínima de 1 mm.

Entre las técnicas implementadas destacan la detección de contornos, segmentación morfológica, y clasificación mediante IA, permitiendo identificar desviaciones críticas como rotación, perforaciones fuera de tolerancia o costuras erróneas. El sistema fue diseñado para operar en un entorno real sin modificar el layout de trabajo, integrándose con la rutina del operador a través de una interfaz gráfica intuitiva y de fácil adopción.

Los resultados obtenidos validan la viabilidad del sistema al mejorar significativamente la confiabilidad del proceso de inspección, reducir la variabilidad humana y ofrecer reportes automáticos para trazabilidad y auditorías. Se demuestra también un incremento en la eficiencia del tiempo de análisis respecto al proceso manual (reducción de hasta un 75% en promedio), habilitando así la inspección en tiempo real sin interrupciones en el flujo de producción.

Este proyecto representa una aplicación integral de la ingeniería mecatrónica, al combinar hardware industrial, algoritmos computacionales e interacción hombre-máquina con un enfoque claro en calidad, productividad y seguridad. Asimismo, establece las bases para futuras extensiones del sistema con mayores capacidades de detección inteligente y conexión con sistemas, Sistema de Ejecución de Manufactura (MES) o Sistema de Planificación de Recursos Empresariales (ERP) en plantas de producción.

INDICE

Agradecimientos.....	2	
Resumen.....	3	
INTRODUCCION	CAPITULO 1.....	11
1.1 Introducción.....		12
1.2 Descripción de la empresa u organización y del puesto o área de trabajo del estudiante.....		13
1.2.1 Media Soluciones S.A.....		13
1.2.2 Descripción del puesto y área de trabajo.....		14
1.3 Planteamiento del problema a resolver.....		15
1.4 Objetivos (Generales y específicos).....		17
1.4.1 Objetivo general.....		17
1.4.2 Objetivos específicos.....		17
1.5 Justificación.....		18
MARCO TEORICO	CAPITULO 2.....	20
2.1 Marco teórico.....		21
2.2 El desarrollo de la calidad y su impacto industrial.....		21
2.2.1. Antecedentes y etapas de evolución.....		21
2.2.2 Desarrollo de la calidad en la industria.....		22
2.2.3. El padre de la revolución: Walter A. Shewhart y el cambio de paradigma.....		23
2.2.4. La revolución consolidada, Deming, Juran y la exportación a Japón....		23
2.2.5. Enfoque adoptado: la calidad como sistema inteligente de prevención		24
2.2.6 Inspección de Calidad.....		25
2.2.6.1 Metodología normativa: el marco estructurado de la verificación		25
2.2.6.2 Modelos tradicionales de implementación empresarial.....		26
2.2.6.3 Uso de herramientas para las inspecciones de calidad: de los instrumentos básicos a la automatización		27
2.2.7 Orden de trabajo de inspección de calidad.....		29
2.2.8. Estructura y contenido obligatorio.....		29
2.2.9. Base normativa y estándares de referencia.....		31
2.3 Plantilla de inspección en el contexto normativo internacional.....		31

2.3.1 Interpretación de la Cláusula 7.1.5 de la Norma ISO 9001:2015	32
2.3.2 Norma ASME Y14.5M-1994 sobre Dimensionamiento y Tolerancias.....	33
2.4 Plantilla (como instrumento de verificación)	33
2.5 Bolsa de Aire (air bang).....	34
2.5.1. Construcción y Componentes Críticos.....	35
2.5.2 Importancia y marco normativo.....	35
2.5.3 Importancia crítica de la calidad en bolsas de aire	36
2.5.4 Elementos críticos para inspección en una bolsa de aire.	37
2.6 Template de bolsas de aire (Instrumento de inspección en Media Soluciones)	39
2.7 Visión artificial.	40
2.7.1. Elementos que conforman un sistema de Visión Artificial	41
2.7.2. Campos de aplicación.....	42
2.8 Procesamiento digital de imágenes.....	44
2.8.1. Funcionamiento: El flujo de procesamiento y sus etapas críticas	45
Propiedades de imagen en el procesamiento digital de imágenes.....	48
2.8.2 Contraste	48
2.8.3 Brillo	48
2.8.4 Ruido.....	48
2.8.5 Enfoque.....	48
2.8.6 Patrones.....	48
2.8.7 Tono de imagen.....	48
2.8.8 Filtros	48
2.8.8.1 Filtro Gaussiano.....	48
2.8.8.2 Filtro de Mediana	49
2.8.8.3 Filtro Bilateral	49
2.8.9 Intensidad lumínica	49
2.9 Desarrollo de las técnicas de inteligencia artificial en el procesamiento digital de imágenes.....	49
2.9.1 Sistemas difusos	49
2.9.2 Redes neuronales artificiales	51
2.9.3 Red neuronal multicapa	51
2.9.4 Red neuronal convolucional	52

2.9.5 Inteligencia de enjambre	53
2.10 Algoritmo en ciencias computacionales.....	54
2.10.1 Algoritmo para verificación digital.....	55
2.10.2 Inteligencia Artificial (IA) para verificación digital asistida.	56
2.10.3 Umbralización en algoritmos de verificación digital.....	56
2.10.4 Modelo de Inteligencia artificial	57
2.10.4.1 Teoría del funcionamiento: arquitectura, entrenamiento y generalización.....	57
2.10.5 Ecosistema de implementación de IA	59
2.11 Lenguajes de programación	60
2.11.1 Python.....	60
2.12 Entorno de programación.....	61
2.12.1 Visual Estudio Code	61
2.13 Cámara de visión industrial	62
2.13.1 Lente de cámara.....	62
2.13.2 Campo focal.....	62
2.13.3 Sensores de proximidad	63
2.13.4 Sensores de enfoque	63
2.13.5 Resolución	63
2.13.6 Píxeles	63
2.13.7 Campo de visión (FOV).....	63
2.13.8 Angulo de visión.....	64
2.13.9 Tipos de cámaras.....	64
2.13.10 Tipos de conexión de cámaras a computadoras.....	66
2.14 Cableado y conexiones.....	67
DESARROLLO DEL PROYECTO	CAPITULO 3
3.1.1 Material a inspeccionar.....	69
3.1.2 Sobre carga y fatiga visual.....	70
3.1.3 Limitaciones de la evaluación manual.....	70
3.1.4 Indicadores de tiempos y errores.....	70
3.2 Análisis de los defectos de fabricación y errores detectados en la documentación del proceso.....	71
3.2.1 Defectos de fabricación identificados:.....	71

3.2.1.1 Rotación.....	71
3.2.1.2 Perfil de corte a menos de 3 mm del esqueleto	71
3.2.1.3 Costuras extras o erróneas.....	72
3.2.1.4 Barrenos desplazados o inexistentes	72
3.2.1.5 Esqueleto fuera del área tolerada.	74
3.2.1.6 Cortes extras.....	74
3.2.1.7 Corte en barreno de garganta (corte débil).....	75
3.2.2 Errores derivados de la inspección manual.....	76
3.2.2.1 Errores de alineación con el template	76
3.2.2.2 Tolerancias mal evaluadas	76
3.2.2.3 Omisión de defectos visuales	76
3.2.2.4 Variabilidad en los criterios de inspección	76
3.3 Impacto de los errores en la calidad del producto y en la producción	77
3.3.1 Incremento de la Tasa de defectos no identificados.....	77
3.3.2 Rechazos en Líneas de Producción.....	77
3.3.3 Alteraciones en los Tiempos de Entrega.	77
3.3.4 Incremento en Costos Operativos	77
3.5.1 Interpretación de los Datos y su Impacto	78
3.5.2 Consideración.	79
3.6 Definición de requerimientos técnicos y operativos del sistema de Inspección Asistida.....	79
3.6.1 Resolución y Tipo de Cámara	79
3.6.1.1 Definición de parámetros del entorno	80
3.7 Cálculo del campo de visión (FOV)	81
3.7.1 Cálculo de la resolución mínima requerida	81
3.8.1 Cálculo del ángulo de visión necesario	82
3.8.2 Selección del lente adecuado	84
3.9 Propuesta de la visualización del algoritmo para el sistema (idealización).	85
3.9.1 Flujo de procesamiento de imágenes	85
3.9.2 Captura y adquisición de la imagen	85
3.9.3 Preprocesamiento de la imagen.....	85
3.9.4 Segmentación y extracción de características	85

3.9.5 Evaluación y validación de resultados	86
3.9.6 Optimización para cumplir con un tiempo Inferior a 19.5 segundos.....	86
3.9.7 Integración con el flujo de trabajo	86
3.9.8 Condiciones de operación.....	87
3.9.9 Tiempo de Procesamiento y Eficiencia	87
3.9.10 Integración con el Proceso Productivo	87
3.10 Elección de hardware.....	87
3.10.1 Elección de cámara.....	88
3.10.2 Análisis Comparativo	89
3.10.3 Evaluación de modelos de cámaras industriales y elección de modelo del sistema	89
3.10.4 Selección Fundamentada: Basler ace 2 R.....	90
3.10.5 Selección del Tipo de Conexión.....	91
3.11 Elección del equipo de cómputo.....	92
3.12 Elección de software.	92
3.13 Desarrollo del algoritmo del sistema.....	93
3.13.1 Funcionamiento y descripción del algoritmo.	97
3.14 Arquitectura del Algoritmo de Inspección.....	98
3.14.1 Algoritmo del proceso.....	100
3.15 Implementación del primer prototipo de inspección.	102
3.15.1 Justificación de la arquitectura implementada.....	105
PRUEBAS Y RESULTADOS	
CAPITULO 4.....	106
4.1 Pruebas iniciales del sistema con imágenes recolectadas.....	107
4.2 Proceso de recolección de imágenes para las pruebas	107
4.2.1 Metodología de las pruebas	109
4.2.2 Flujo de la prueba.	110
4.3 Implementación de modelo de aprendizaje IA en base a una CNN.	112
4.3.1 Documentación del Código de Entrenamiento del Modelo de IA	113
4.4 Documentación de pruebas iniciales.....	115
4.4.1 Selección de Modelos	116
4.5 Evaluación y Resultados	117
4.5.1 Interfaz de Control.....	118

4.5.2 Conclusiones de pruebas iniciales.....	119
4.6 Ajuste de parámetros de detección y refinamiento del algoritmo de inspección	119
4.6.1 Parámetros Ajustados y Metodología.....	120
4.6.2 Parámetros de iluminación y Óptica.....	121
4.6.3 Filtro de Suavizado (Gaussian Blur).....	122
4.6.4 Detector de Bordes (Canny Edge Detector).....	123
4.6.5 Pruebas de Detección de Características (Keypoints)	125
4.6.6 Resultados y Análisis	126
4.7 Mejora del modelo de inteligencia artificial para reconocimiento de zonas críticas de inspección.	127
4.7.1 Desarrollo y cambios en el modelo de IA.....	127
4.7.2 Resultados preliminares.....	129
4.7.3 Conclusión de mejora.	129
4.8.1 Preparación del entorno de simulación.	130
4.8.2 Simulación visual del entorno utilizando Blender	131
4.9 Estudio matemático y estadístico del desempeño del sistema.....	132
4.9.1 Datos simulados para análisis.....	133
4.9.1.2 Estadísticas globales	133
4.9.3 Segunda inspección de muestras.	134
4.10 Interpretación de resultados (estadístico).....	134
4.10.1 Grafica de material ok vs scrap por modelo.....	134
4.10.2 Distribución global de inspecciones.	135
4.10.3 Tiempo promedio de inspección por modelo.....	136
4.10.4 Alineación por modelo.....	136
4.10.5 Justificación del análisis estadístico y matemático del desempeño del sistema.....	137
4.10.6 Datos comparativos	138
4.10.6.1 Análisis de resultados	139
CONCLUSIONES	CAPITULO 5
5.1 Conclusiones Generales del Proyecto	143
5.2 Competencias Desarrolladas y/o Aplicadas	144
Fuentes de información.....	145

Anexos.	147
--------------	-----

INTRODUCCION

CAPITULO 1

1.1 Introducción.

En la industria manufacturera automotriz moderna, la calidad de los productos no solo representa un estándar de cumplimiento, sino también un factor decisivo en la competitividad y sostenibilidad de las empresas. La inspección de componentes es un proceso crítico que asegura el cumplimiento de especificaciones técnicas y garantiza la funcionalidad y seguridad de los productos ensamblados. Sin embargo, muchos de estos procesos aún dependen de métodos manuales que, aunque eficaces, pueden ser susceptibles a errores humanos, variabilidad en la evaluación y limitaciones en el tiempo de respuesta.

Este proyecto se centra en la creación de un sistema de inspección asistida por visión e inteligencia artificiales, orientado a mejorar el control de calidad en procesos que demandan alta precisión dimensional. La propuesta pretende apoyar al operador durante la verificación de errores, alineaciones o desviaciones geométricas en una bolsa de aire montada sobre una platilla física de referencia, sin reemplazar los métodos de inspección convencionales, sino potenciándolos mediante herramientas digitales avanzadas.

El desarrollo parte de un análisis exhaustivo del template como elemento clave del proceso, siguiendo los lineamientos de la norma ASME Y14.5M-1994: Dimensioning and Tolerancing (Dimensionamiento y Tolerancia), y tomando en cuenta los factores técnicos del entorno operativo: tolerancia mínima de 1 mm e instrucciones de trabajo propias de la empresa además de que por parte del presente se suman las mejoras en condiciones de iluminación, la resolución óptima de la cámara, un tiempo límite de procesamiento y con ello se espera compatibilidad con el flujo productivo existente. Con estos parámetros, se estudian y aplican diversas técnicas existentes de visión computacional, tales como detección de bordes, umbralización, binarización adaptativa y coincidencia de patrones, todas integradas en una arquitectura robusta, eficiente y de respuesta en tiempo real.

La implementación de este sistema no solo tiene como finalidad reducir los tiempos de inspección y aumentar la fiabilidad del proceso, sino también servir como base para futuras integraciones de tecnologías inteligentes dentro del área de calidad, promoviendo una transición paulatina hacia entornos de producción más automatizados, eficientes y seguros.

1.2 Descripción de la empresa u organización y del puesto o área de trabajo del estudiante.

1.2.1 Media Soluciones S.A.

Media Soluciones es una empresa mexicana fundada en el año 2008 bajo la razón social *Compañía Publicitaria de Tamaulipas S.A. de C.V.*, como resultado de la visión conjunta entre el Ingeniero Roberto Carlos Parra Rodríguez y el Contador Público Jesús Aguilar Ávila. La empresa nace con el propósito de consolidar un portafolio sólido en diseño e implementación industrial en el sur de Tamaulipas, así como desarrollar una guía industrial regional. En sus inicios, Media Soluciones logró importantes colaboraciones con entidades estratégicas como la Administración Portuaria Integral (API) de Altamira y Tampico, estableciendo así una sólida base para su crecimiento en el sector industrial.

A partir del año 2014, la estructura empresarial experimenta una reconfiguración, en la que cada uno de los socios fundadores continúa su camino profesional de manera independiente. Como resultado de esta separación cordial, el Ing. Parra Rodríguez conserva el control de los proyectos relacionados con el diseño e implementación industrial bajo el nombre de Media Soluciones, enfocándose en ofrecer soluciones técnicas y funcionales a empresas del sector productivo.

En 2015, Media Soluciones inicia su participación en procesos de licitación de mayor escala, obteniendo su primer gran proyecto con la empresa Thyssenkrupp. Este hito marca un punto de inflexión en la trayectoria de la compañía, consolidándola como una opción viable y confiable en el desarrollo de soluciones industriales. A partir de entonces, la empresa ha expandido su portafolio mediante colaboraciones con instituciones educativas como la Universidad Tecnológica de Altamira y la Universidad Politécnica de Altamira, fortaleciendo su vínculo con la formación académica y la innovación tecnológica.

Uno de los sectores clave con los que Media Soluciones ha trabajado activamente es el de la manufactura de componentes automotrices, particularmente en el área de sistemas de seguridad pasiva como las bolsas de aire. Estos dispositivos requieren procesos de inspección altamente precisos y repetibles para asegurar su correcto funcionamiento. Es en este contexto donde Media Soluciones ha aportado soluciones de diseño técnico e implementación de sistemas de inspección, contribuyendo al aseguramiento de la calidad en líneas de producción de alta exigencia.

Durante la pandemia, la empresa demostró una capacidad de gestión resiliente que le permitió mantener la estabilidad operativa sin afectar a colaboradores ni proveedores. En la actualidad, Media Soluciones continúa su expansión internacional, habiendo iniciado en 2023 un proceso de internacionalización hacia los Estados Unidos, con la intención de establecer operaciones en Wyoming a finales de 2024 o principios de 2025.

Gracias a su trayectoria, compromiso con la innovación y enfoque en la calidad, Media Soluciones se posiciona como una empresa estratégica en la industria manufacturera y un actor relevante en el desarrollo de soluciones tecnológicas aplicadas a procesos industriales críticos.

1.2.2 Descripción del puesto y área de trabajo.

Dentro de la estructura organizacional de la compañía, el puesto se encuentra adscrito al departamento de calidad, considerado una de las áreas esenciales para asegurar el cumplimiento de los estándares técnicos, normativos y de seguridad establecidos internamente. Esta área tiene como objetivo primordial garantizar que todos los artículos terminados, en procesos previos a etapas finales o inclusive aun considerada materia prima, cumplan con los requisitos de calidad, funcionalidad y seguridad antes de ser enviados al consumidor final.

Entre las responsabilidades asignadas a este rol en el ámbito de la calidad, se desempeña una función operativa y técnica crucial dentro del proceso de verificación de componentes mediante el uso de una plantilla física (template), una herramienta diseñada para validar visual y dimensionalmente las partes manufacturadas. La función implica realizar revisiones detalladas con base en los lineamientos de dicha plantilla, con el fin de identificar si los elementos evaluados se ajustan a las especificaciones definidas por los estándares internos y regulatorios, tomando como referencia las alertas de calidad emitidas por la organización.

Durante este procedimiento, se ejecuta una clasificación binaria de las partes: las que cumplen con los parámetros exigidos se aprueban para su incorporación en el ensamblaje, mientras que aquellas que presentan desviaciones importantes se rechazan y se destinan a desecho (scrap). Este mecanismo resulta fundamental para prevenir que artículos no conformes progresen en la cadena de fabricación, lo que podría afectar la seguridad y el funcionamiento del producto terminado.

Adicionalmente a las actividades de verificación, también corresponde a este puesto la gestión y el suministro de materiales hacia las líneas de fabricación y las celdas de trabajo, asegurando un abastecimiento adecuado y constante de componentes de acuerdo con el ritmo productivo. Esta labor demanda coordinación con otros sectores, como fabricación y logística, para mantener un flujo eficiente de materiales sin interrupciones.

Finalmente, otra de las obligaciones consiste en la elaboración de informes diarios acerca del estado de la verificación. Dichos reportes permiten mantener un control pormenorizado del volumen de artículos revisados, el número de unidades aceptadas, la cantidad de material de desecho generado y cualquier irregularidad detectada a lo largo del proceso. Esta información resulta vital para la toma de decisiones inmediatas y para alimentar los indicadores clave de desempeño del departamento de calidad.

1.3 Planteamiento del problema a resolver.

En el contexto del departamento de Control de Calidad de Media Soluciones, específicamente en la línea dedicada a la fabricación de componentes para sistemas de bolsas de aire, la verificación dimensional de piezas (bolsas de aire), constituye una actividad crucial para asegurar los estándares de funcionalidad y seguridad requeridos. Este proceso de revisión se ejecuta mediante una plantilla física (template) que funciona como patrón de referencia para evaluar características dimensionales como cortes, perforaciones y alineaciones en los componentes. La tarea del operador consiste en situar cada pieza sobre la plantilla, determinar visualmente su conformidad con las especificaciones técnicas, clasificarla como aceptada o rechazada (scrap), registrar los resultados en formatos establecidos y gestionar el suministro de materiales hacia las estaciones de trabajo.

No obstante, este método de verificación presenta importantes limitaciones operativas. La naturaleza completamente manual del proceso genera una dependencia crítica del criterio visual del operador, lo que deriva en susceptibilidad a errores atribuibles a factores como fatiga visual, subjetividad en la evaluación o condiciones ambientales desfavorables, particularmente una iluminación inconsistente en el área de trabajo. A esta situación se suma la carencia de mecanismos automatizados que respalden la decisión humana, afectando directamente la trazabilidad del proceso y la captura sistemática de datos para análisis estadísticos de calidad.

Un factor adicional que complejiza la operación es la restricción temporal impuesta por el ritmo productivo. El operador dispone de un intervalo promedio de 19.5 segundos (tiempos establecidos por las ordenes de trabajo internas), para completar la inspección de cada bolsa antes de proceder con la siguiente unidad. Esta ventana temporal representa un parámetro crítico que condiciona cualquier solución tecnológica a implementar, la cual deberá garantizar un tiempo de procesamiento significativamente inferior para evitar interrupciones en el flujo productivo.

La actual falta de sistemas digitalizados para la detección de defectos limita sustancialmente la capacidad del área de calidad para realizar evaluaciones objetivas, consistentes y documentadas. Esta brecha operativa evidencia la necesidad imperante de incorporar una solución tecnológica basada en procesamiento digital de imágenes y algoritmos de reconocimiento de patrones, que permita identificar discontinuidades dimensionales y brindar asistencia en la toma de decisiones, manteniendo la cadencia productiva y la configuración física actual del espacio de trabajo.

El presente proyecto se orienta al desarrollo de un sistema tecnológico adaptado a las condiciones operativas reales del entorno fabril, considerando variables como las dimensiones del área de trabajo, las condiciones lumínicas existentes, el

requerimiento de precisión de 1 milímetro en las mediciones, y la necesidad de mantener una interfoperacional sencilla para facilitar su adopción por el personal de planta. La implementación de esta solución busca disminuir la variabilidad en los criterios de inspección, optimizar la trazabilidad del proceso y reforzar los mecanismos de control de calidad en un entorno industrial que maneja estándares de seguridad crítica, particularmente en la manufactura de componentes para sistemas de protección vehicular.

1.4 Objetivos (Generales y específicos)

1.4.1 Objetivo general.

Diseñar y proponer un sistema automatizado para la verificación de componentes de bolsas de aire, fundamentado en el análisis digital de imágenes y la utilización de plantillas virtuales. Este desarrollo se materializará mediante la integración de hardware de captura visual y algoritmos computacionales especializados en la identificación de desviaciones dimensionales con apoyo de inteligencia artificial. La iniciativa busca mejorar el procedimiento de revisión manual existente por un método automatizado que elimine la subjetividad en la evaluación, incrementando la confiabilidad de los resultados y garantizando el cumplimiento de los estándares técnicos establecidos por la empresa y reduciendo tiempos de forma significativa.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Implementar algoritmos basados en visión artificial para el procesamiento digital de imágenes, con el propósito de identificar automáticamente defectos y desviaciones en los componentes. Esto se realizará mediante el desarrollo de software especializado que analice las características geométricas de cada pieza, lo que permitirá obtener evaluaciones objetivas y repetibles, eliminando la subjetividad del criterio humano.
- Construir e instalar una configuración física para la captura de imágenes, integrando componentes de iluminación controlada y un sensor óptico. Esta configuración se diseñará para adquirir fotografías de alta definición de cada unidad producida, con el fin de generar una base de datos visual consistente y confiable que sirva como insumo fundamental para el sistema de análisis.
- Incorporar módulos de automatización dentro de la secuencia de verificación de calidad, conectando el sistema de análisis de imágenes con los mecanismos de clasificación. El objetivo de esta integración es agilizar la segregación de piezas conformes y no conformes, reduciendo la intervención manual directa y minimizando la posibilidad de error durante esta etapa crítica.
- Realizar una valoración del rendimiento del sistema de inspección implementado, mediante la comparación de sus resultados contra los obtenidos por el método tradicional. Esta evaluación, que considerará métricas de precisión, velocidad y confiabilidad, se efectuará para cuantificar

la efectividad de la solución y validar su contribución a la optimización del proceso.

- Elaborar un plan de optimización para el procedimiento de control de calidad, basado en los hallazgos y datos recopilados durante la fase de pruebas. La propuesta definirá ajustes operativos y tecnológicos concretos, con la finalidad de institucionalizar las mejoras alcanzadas y estandarizar el nuevo proceso en la línea de producción.

1.5 Justificación.

El proceso de inspección de bolsas de aire en la industria automotriz es una etapa crítica dentro del control de calidad, ya que garantiza que las piezas cumplan con los estándares establecidos antes de su ensamblaje final. Actualmente, la inspección se realiza de forma manual, utilizando un template físico a escala 1:1 colocado sobre una mesa iluminada, donde los operadores verifican visualmente que la pieza a inspeccionar coincida con la referencia establecida en el template. Este método, si bien ha sido funcional, presenta varias limitaciones inherentes al factor humano, como la variabilidad en la percepción de los inspectores, la fatiga tras largas jornadas de trabajo y la posibilidad de errores en la alineación de la pieza con la plantilla. Como resultado, piezas con defectos pueden ser aprobadas y enviadas a los clientes, lo que puede derivar en reclamaciones, devoluciones e incluso afectar la reputación de la empresa.

Ante esta problemática, el presente proyecto busca diseñar y desarrollar una propuesta de inspección asistida mediante procesamiento de imágenes, la cual no sustituye el template físico (plantilla), sino que lo complementa con una herramienta digital capaz de verificar automáticamente la correcta alineación y conformidad de la pieza con respecto a la plantilla. Mediante la implementación de un sistema de visión artificial, se pretende reducir la subjetividad en la inspección y mejorar la precisión en la detección de posibles desviaciones en parámetros clave, como costuras, perforaciones y líneas de ensamblaje.

Este proyecto es relevante dentro del ámbito de la ingeniería mecatrónica, ya que integra conceptos de procesamiento de imágenes, automatización y control de calidad en un entorno industrial. La incorporación de una herramienta tecnológica en el proceso de inspección no solo mejorará la precisión de la evaluación de las piezas, sino que también contribuirá a la reducción de tiempos de inspección, minimizando la carga de trabajo de los operadores y disminuyendo la probabilidad de errores humanos. Además, permitirá establecer criterios de evaluación objetivos y cuantificables, lo que facilitará la trazabilidad y documentación de los resultados de cada inspección.

Desde una perspectiva práctica para la empresa, el desarrollo de esta propuesta representa una oportunidad de mejorar en su proceso de control de calidad sin necesidad de modificar su infraestructura actual. La mesa de inspección con iluminación y el template físico seguirán formando parte esencial del procedimiento, pero ahora, además contarán con un sistema de supervisión basado en visión artificial que asegurará una inspección más confiable y uniforme. Esto permitirá una detección temprana de defectos, evitando que piezas no conformes sean enviadas a los clientes y, en consecuencia, reduciendo costos asociados a retrabajos o penalizaciones por fallas en la calidad del producto final.

MARCO TEORICO

CAPITULO 2

2.1 Marco teórico.

La implementación de sistemas tecnológicos para el apoyo en labores de verificación dentro del ámbito industrial demanda la combinación coordinada de múltiples campos del conocimiento técnico. Esta convergencia busca mecanizar, perfeccionar y certificar operaciones que tradicionalmente se ejecutaban mediante intervención directa del personal operativo. La iniciativa descansa sobre pilares conceptuales que incluyen la percepción artificial, el tratamiento numérico de representaciones gráficas, la aplicación de algoritmos con capacidad de aprendizaje automático, y los fundamentos de validación técnica aplicados a contextos productivos. Esta base conceptual se orienta particularmente hacia la categorización de componentes mediante el examen de patrones de referencia dimensional, en el marco de procesos de fabricación especializados.

2.2 El desarrollo de la calidad y su impacto industrial.

La calidad industrial, como disciplina sistematizada, no es un concepto estático, sino el resultado de una evolución histórica marcada por las demandas de la producción en masa, la complejidad de los productos y la globalización de la competencia. Su génesis se encuentra en los talleres artesanales, donde el maestro era el único garante de la excelencia del producto terminado. Sin embargo, la transición hacia un enfoque industrial y científico comenzó a finales del siglo XIX y se consolidó a lo largo del siglo XX, transitando por fases claramente diferenciadas que reflejan una búsqueda constante de mayor eficiencia y satisfacción del cliente (Gutiérrez, 2012).

2.2.1. Antecedentes y etapas de evolución

La evolución de la gestión de la calidad se puede estructurar en cuatro etapas paradigmáticas:

1. Etapa de Inspección (Finales del S. XIX - Década de 1920): El primer enfoque industrial formal se limitaba a la detección y separación de productos defectuosos al final de la línea de producción. La calidad era responsabilidad de un departamento específico, cuyo rol era "cazar" los fallos. Este método era reactivo, costoso por el desperdicio y no prevenía errores. Aunque no se centraba en la calidad *per se*, la Administración Científica de Frederick W. Taylor sentó las bases al separar la ejecución del trabajo de su planeación y supervisión, institucionalizando la función de inspección (Hernández y Rodríguez, 2010, p. 45).
2. Etapa del Control Estadístico de la Calidad (Décadas de 1930 - 1950): Este período marca un salto crucial: la prevención comienza a sustituir a la detección. Pioneros como Walter A. Shewhart introdujeron las herramientas estadísticas, como los gráficos de control, para monitorear la variabilidad de los procesos y distinguir entre causas comunes y especiales. Este enfoque permitía actuar *durante* la producción, reduciendo defectos de forma sistemática (Miranda, 2008). Las ideas de Shewhart fueron difundidas y

ampliadas por W. Edwards Deming y Joseph M. Juran, quienes, aunque de habla inglesa, tienen una vasta obra traducida al español que es fundamental en cualquier estudio de calidad (Juran & Gryna, 1995).

3. Etapa del Aseguramiento de la Calidad Total (Décadas de 1960 - 1980): El enfoque se amplía desde el control del proceso hacia todo el sistema organizacional. Autores como Armand V. Feigenbaum (con su "Control Total de Calidad") y Kaoru Ishikawa (con sus "Círculos de Calidad") promovieron la idea de que la calidad debía involucrar a todas las áreas y a todos los empleados. Ishikawa, en su obra traducida al español, enfatizó que "el siguiente proceso es tu cliente", fomentando una visión integral de la cadena de valor (Ishikawa, 1989). En esta etapa, Japón lideró la innovación, integrando estos principios en sistemas como el Toyota Production System.
4. Etapa de la Gestión de la Calidad Total (TQM) y la Excelencia (Década de 1990 - Presente): La calidad se consolida como una filosofía de gestión estratégica. El Total Quality Management (TQM) integra herramientas y principios en un marco cultural de mejora continua y enfoque al cliente. Este paradigma se institucionalizó a través de modelos de excelencia como la Norma ISO 9001 y el Modelo EFQM, que proveen un marco para evaluar y gestionar la organización de manera holística.

2.2.2 Desarrollo de la calidad en la industria.

Antes de la Revolución Industrial, la calidad era inherente al trabajo artesanal, donde un mismo maestro controlaba todo el proceso. Sin embargo, con la llegada de la producción en serie a finales del siglo XIX, surgió un problema crítico: la inconsistencia en los productos. La solución inicial fue primitiva pero necesaria: la inspección final, donde trabajadores especializados separaban manualmente los productos buenos de los defectuosos. Este sistema era costoso, reactivo y no prevenía los errores, generando enormes desperdicios (Gutiérrez, 2012).

La figura que institucionalizó y sistematizó por primera vez el control de calidad dentro de la estructura fabril fue Frederick W. Taylor, con su teoría de la "Administración Científica" (1911). Taylor no hablaba directamente de "calidad" como la entendemos hoy, pero su propuesta de dividir el trabajo en tareas simples, estandarizar métodos y crear una supervisión especializada estableció el primer departamento formal de inspección. Esto creó la figura del inspector de calidad, cuyo único trabajo era revisar el producto terminado. Si bien era un avance organizativo, este modelo tenía una falla fundamental: la calidad era responsabilidad de un departamento aislado, no de quien fabricaba el producto.

2.2.3. El padre de la revolución: Walter A. Shewhart y el cambio de paradigma

La verdadera revolución llegó en la década de 1920 con Walter A. Shewhart, un físico e ingeniero de los Laboratorios Bell. Shewhart comprendió que buscar y eliminar defectos al final de la línea era ineficaz. En su lugar, propuso un enfoque radical: controlar el proceso de fabricación para prevenir que los defectos ocurrieran.

Su contribución seminal fue el desarrollo de los gráficos de control estadístico de procesos en 1924. Shewhart demostró que toda variación en la producción tiene dos causas:

1. Causas comunes (aleatorias): Variaciones inherentes e inevitables del sistema.
2. Causas especiales (asignables): Errores específicos, anormales y corregibles.

Al monitorear el proceso con sus gráficos, se podían identificar y eliminar las causas especiales en tiempo real, manteniendo el proceso estable y predecible. Este fue un salto de gigante: la calidad dejó de ser una policía al final de la línea para convertirse en un sistema de diagnóstico médico aplicado al proceso productivo. Shewhart publicó sus ideas en el libro fundacional *"Economic Control of Quality of Manufactured Product"* (1931), sentando las bases científicas de la calidad moderna (Gómez-Mejía et al., 2008).

2.2.4. La revolución consolidada, Deming, Juran y la exportación a Japón

La Segunda Guerra Mundial fue un catalizador. La producción masiva de material bélico requería piezas intercambiables y fiables, lo que impulsó el uso de técnicas estadísticas. Sin embargo, fue en la posguerra donde la revolución alcanzó su máxima expresión, y tuvo un protagonista inesperado: Japón.

Dos discípulos de Shewhart, W. Edwards Deming y Joseph M. Juran, llevaron la filosofía de la calidad a Japón a principios de los años 50. Allí encontraron un terreno fértil y transformaron la industria mundial:

- W. Edwards Deming enseñó a los altos directivos japoneses que la calidad era una responsabilidad de la dirección. Su famoso "Ciclo de Deming" (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar - PHVA) institucionalizó la mejora continua como un proceso iterativo y sin fin. Deming argumentó que más del 85% de los problemas de calidad eran responsabilidad del sistema y la gerencia, no de los trabajadores.
- Joseph M. Juran complementó este enfoque con una visión práctica y administrativa. Introdujo la "Trilogía de Juran" (Planificación de la Calidad,

Control de la Calidad y Mejora de la Calidad) y el concepto de que la calidad debe estar orientada a la "aptitud para el uso" desde la perspectiva del cliente. Juran elevó la calidad de una técnica de fábrica a una función directiva estratégica.

El impacto fue histórico. Empresas japonesas como Toyota, Sony y Honda adoptaron estas enseñanzas, desarrollando sistemas como el Toyota Production System (TPS), los Círculos de Calidad (promovidos por Kaoru Ishikawa) y las prácticas del Just-in-Time. En pocas décadas, Japón pasó de ser sinónimo de productos baratos y de baja calidad a ser el referente mundial de excelencia, confiabilidad y eficiencia. Esto forzó a las industrias occidentales, especialmente la automotriz estadounidense, a replantearse por completo sus métodos en los años 70 y 80, iniciando su propia revolución de la calidad.

2.2.5. Enfoque adoptado: la calidad como sistema inteligente de prevención

Para este proyecto, se asume que la verdadera revolución iniciada por Shewhart no ha terminado, sino que ha evolucionado. El principio fundamental sigue vigente: la calidad se logra previniendo errores en el proceso, no inspeccionando productos al final.

Este proyecto se posiciona en la evolución tecnológica de ese principio. Así como Shewhart usó la estadística para "escuchar" al proceso, hoy se utilizan sistemas de visión e inteligencia artificiales para darle "vista" y "criterio" automático. La revolución actual consiste en:

1. Automatizar la detección de "causas especiales" con una precisión, velocidad y objetividad imposible para un inspector humano o un gráfico de control manual.
2. Generar datos en tiempo real que alimentan el Ciclo PHVA de manera continua y automática, cerrando el loop de mejora a una velocidad nunca antes vista.
3. Empoderar al operario y al ingeniero de calidad con información inmediata y procesada, trasladando la responsabilidad de la calidad de nuevo al punto de creación, pero con herramientas de alto nivel.

Por lo tanto, este proyecto no busca solo detectar defectos, sino implementar un sistema de control de proceso de nueva generación, heredero directo de la revolución iniciada por Shewhart y consolidada por Deming y Juran, adaptado a las exigencias de la Industria 4.0. La calidad ha pasado de ser una función de inspección, a una ciencia del control del proceso, a una estrategia de gestión, y ahora avanza hacia ser un sistema ciberfísico inteligente e integrado.

2.2.6 Inspección de Calidad

La inspección de calidad se define como un proceso técnico y sistemático de verificación, mediante el cual se determina si un producto, componente, material o servicio se ajusta a los requisitos y especificaciones técnicas predefinidas. Su propósito central es actuar como un mecanismo de control comparativo que identifica y documenta cualquier discrepancia (no conformidad) entre el estado real del ítem y el estándar de aceptación establecido

Operacionalmente, constituye un filtro de garantía aplicado en puntos críticos del flujo de valor (entrada, proceso, salida) para prevenir que los defectos avancen en la cadena o lleguen al cliente final. No es un fin en sí mismo, sino una herramienta de recolección de datos objetivos que sustenta la toma de decisiones sobre aceptación, reproceso o rechazo, y que alimenta los sistemas de mejora continua.

2.2.6.1 Metodología normativa: el marco estructurado de la verificación

La ejecución de una inspección efectiva no es aleatoria; se rige por metodologías estandarizadas que aseguran su objetividad, repetibilidad y trazabilidad. Este marco normativo se sustenta en tres pilares:

1. **Procedimientos Documentados:** Toda inspección debe seguir un plan o protocolo de inspección documentado (ordenes de trabajo). Este plan, alineado frecuentemente con los requisitos de normas como la ISO 9001 (cláusula 8.6 "Control de productos y servicios no conformes"), especifica:
 - Qué inspeccionar: Los atributos críticos (dimensiones, funcionalidad, acabado, etc.).
 - Cuándo y Dónde: Los puntos de control en el proceso (Inspección de Recepción, En Proceso, Final).
 - Cómo: Los métodos de medición y prueba a utilizar.
 - Con qué frecuencia: El nivel de muestreo (puede basarse en normas de muestreo estadístico como la ISO 2859-1 o MIL-STD-105E).
 - Criterios de aceptación: Los límites exactos que definen lo "conforme" y "no conforme".
2. **Instrumentación Calibrada y Competencia Técnica:** Las mediciones deben realizarse con equipos de medición calibrados (según la ISO/IEC 17025 para laboratorios de ensayo) para garantizar la exactitud. Paralelamente, el personal inspector debe ser competente, con formación en técnicas de medición, interpretación de planos y conocimiento de los estándares aplicables (Miranda, 2008).
3. **Registro y Trazabilidad:** La norma exige que todos los resultados se registren en formatos específicos (hojas de verificación, reportes de inspección). Esto no solo proporciona evidencia objetiva de la conformidad,

sino que crea una trazabilidad completa: se puede saber qué se inspeccionó, quién lo hizo, con qué equipo, cuándo y qué resultado arrojó.

2.2.6.2 Modelos tradicionales de implementación empresarial

Las empresas han implementado históricamente la inspección bajo diferentes modelos organizativos y filosóficos, que reflejan la evolución de la gestión de la calidad:

Modelo de Inspección por Muestreo (AQL): Modelo tradicional y reactivo. Se aplica sobre lotes de producción, donde se inspecciona una muestra estadística para inferir la calidad del lote completo. Se basa en el Nivel de Calidad Aceptable (AQL), que define el número máximo de defectos permitidos en la muestra para aceptar el lote. Es un modelo de control por detección, típico de la inspección final o de recepción de materiales, que no evita la producción de defectos, sino que limita su salida.

Modelo de Inspección en Proceso (Control Estadístico de Proceso - SPC): Modelo preventivo y proactivo. En lugar de solo inspeccionar el producto, se monitorean las variables críticas del proceso en tiempo real usando herramientas como gráficos de control (con base en Shewhart). El operario o inspector toma mediciones periódicas y las grafica para detectar tendencias o desviaciones *antes* de que se generen defectos. Este modelo requiere mayor integración del inspector con la producción y un enfoque en la estabilidad del proceso

Modelo de Autocontrol o Inspección del Operario: Característico de filosofías como TQM y el Toyota Production System. Aquí, la responsabilidad de la inspección se traslada al operario que fabrica el producto. Se le dota de herramientas, procedimientos claros y, crucialmente, de la autoridad para detener la línea si detecta un problema (concepto *Jidoka*). La inspección deja de ser una función separada para integrarse como un paso más dentro del ciclo de trabajo estandarizado, fomentando la responsabilidad directa y la retroalimentación inmediata.

Modelo de Inspección Dimensional y por Atributos: Esta es una clasificación técnica del *cómo* se realiza:

- **Inspección Dimensional:** Utiliza instrumentos de medición (calibres, micrómetros, máquinas de medición por coordenadas - CMM) para verificar variables continuas (longitud, diámetro, rugosidad). Es cuantitativa.
- **Inspección por Atributos:** Evalúa características cualitativas mediante una decisión binaria (pasa/no pasa, presente/ausente, bueno/malo). Se usa para verificar color, ensamblaje, presencia de soldadura, etc., a menudo con galgas o por observación visual.

El enfoque que se aplica al presente proyecto es el modelo tradicional predominante ha sido el AQL por muestreo, un sistema reactivo con limitaciones inherentes (riesgo de error de muestreo, detección tardía).

2.2.6.3 Uso de herramientas para las inspecciones de calidad: de los instrumentos básicos a la automatización

Clasificación y Propósito de las Herramientas de Inspección

Las herramientas de inspección son los instrumentos y dispositivos utilizados para materializar la comparación entre la característica real de un producto y el estándar definido en la Orden de Trabajo de Inspección (OTIC). Su selección y uso apropiado son críticos para garantizar la objetividad, exactitud y repetibilidad de los resultados. Estas herramientas se clasifican según su función y complejidad, y su uso está gobernado por principios metrológicos fundamentales (Gutiérrez, 2012).

Herramientas Tradicionales y su Aplicación Metrológica

1. Herramientas de Medición Dimensional Directa (Metrología Dimensional):
 - Caliper o Pie de Rey / Micrómetro: Instrumentos manuales para medir longitudes, diámetros internos/externos y profundidades con precisión variable (típicamente hasta 0.01 mm o 0.001"). Son la base de la inspección dimensional en taller. Su uso requiere capacitación para evitar errores de paralaje o de fuerza excesiva.
 - Comparadores de Carátula: Amplifican y muestran pequeñas variaciones dimensionales comparando la pieza contra un patrón maestro. Esenciales para verificar concentricidad, planitud o juego.
 - Calas o Bloques Patrón (Galgas Johansson): Proporcionan la trazabilidad metrológica primaria. Son conjuntos de bloques de precisión extremadamente alta, calibrados contra estándares nacionales (como el CENAM en México), que se usan para calibrar y verificar otras herramientas en el taller, cumpliendo con el requisito de la ISO 9001 sobre trazabilidad de medición.
 - Galgas (Pasa/No Pasa): Herramientas de inspección por atributos. Una galga "GO" debe pasar, y una "NO GO" no debe pasar por una dimensión crítica. Son rápidas, económicas y eliminan la subjetividad en decisiones binarias.
2. Herramientas para Inspección por Atributos y de Características Especiales:
 - Plantillas (Templates) y Ópticos de Comparación: Permiten la comparación visual rápida de contornos, formas o distribución de taladros contra un patrón ampliado.
 - Rugosímetros: Miden la textura superficial (rugosidad Ra, Rz) de acuerdo con normas como ISO 4287. Críticos en componentes donde el acabado superficial afecta el funcionamiento (sellos, desgaste).

- Durómetros: Miden la dureza de materiales (Rockwell, Brinell, Vickers), una propiedad mecánica clave especificada en planos de ingeniería.
- Lupa o Microscopio de Medición: Permiten la inspección visual aumentada de detalles finos, soldaduras, grietas o acabados superficiales.

3. Herramientas de Inspección Avanzada y Automatización

- Máquinas de Medición por Coordenadas (CMM): Representan un salto tecnológico. Son sistemas automatizados que utilizan una sonda táctil u óptica para capturar las coordenadas X, Y, Z de múltiples puntos en una geometría compleja. El software compara estas nubes de puntos con el modelo CAD teórico, generando reportes detallados de desviación (informes colorimétricos). Son el estándar para la inspección de piezas de alta precisión y complejidad (automotriz, aeroespacial) y son fundamentales para el Control Estadístico de Procesos (SPC) avanzado.
- Escáneres 3D (Láser o Luz Estructurada): Capturan la geometría completa de un objeto como una nube de puntos densa o una malla 3D. Permiten la inspección sin contacto de formas libres, superficies orgánicas o piezas flexibles, y la comparación contra CAD con alta resolución.
- Sistemas de Visión Artificial (VA): Constituyen la herramienta de inspección automatizada por excelencia para atributos visuales y dimensionales 2D/2.5D. Un sistema típico incluye:
 - Cámara Industrial: Sensor que captura la imagen digital. Su selección (resolución, tipo de sensor, velocidad) se basa en los requisitos de la OTIC.
 - Óptica (Lente): Define el campo de visión, la magnificación y la profundidad de campo.
 - Iluminación Industrial: Elemento crítico. Se diseña para resaltar las características de interés (bordes, marcas, texturas) y suprimir ruido.
 - Técnicas como luz anular, backlight, o darkfield son seleccionadas según la aplicación.
 - Software de Procesamiento de Imágenes: Ejecuta los algoritmos programados (basados en la OTIC) para realizar mediciones, detección de patrones, verificación de presencia/ausencia o clasificación de defectos.

Estos sistemas permiten la inspección al 100% a alta velocidad, con absoluta objetividad y generación automática de registros digitales (imágenes, resultados).

- Sistemas de Pruebas Funcionales Automatizadas (ATE): Simulan las condiciones de operación del producto final para verificar su funcionamiento (presión, flujo, torque, respuesta eléctrica). Se programan con los límites de aceptación de la OTIC.

Selección y Control Metrológico de las Herramientas

La selección de la herramienta correcta se basa en la Regla del Diezmo (Regla 10:1), que recomienda que la resolución del instrumento sea al menos diez veces más fina que la tolerancia a medir. Todas las herramientas de medición, sin excepción, deben estar integradas en un programa de calibración documentado. Este programa, alineado con la ISO/IEC 17025 y la cláusula 7.1.5 de la ISO 9001, debe definir:

- Intervalos de calibración basados en el uso, estabilidad y criticidad.
- Procedimientos de calibración trazables a estándares nacionales o internacionales.
- Etiquetado del estado (calibrado, rechazado, en espera).
- Acciones ante desviación (ajuste, reparación, retiro y evaluación de impacto en productos medidos).

2.2.7 Orden de trabajo de inspección de calidad

Una Orden de Trabajo de Inspección de Calidad (OTIC) es un documento de control formal y autorizado que establece los requisitos específicos para la ejecución de una actividad de verificación. Su propósito fundamental es traducir los requisitos del cliente y las especificaciones de diseño en instrucciones operativas precisas, completas y no ambiguas para el personal inspector. Actúa como el plan táctico que asegura que la inspección se realice de manera consistente, trazable y conforme a los estándares del sistema de gestión de calidad.

La emisión de una OTIC es un requisito implícito de buenas prácticas de calidad y se alinea directamente con la cláusula 8.1 de la ISO 9001:2015, sobre la "Operacionalización de los procesos", y la cláusula 8.5.1, sobre el "Control de la producción y de la prestación del servicio". Garantiza que las actividades de verificación estén planificadas, controladas y documentadas.

2.2.8. Estructura y contenido obligatorio

Una OTIC efectiva y normativamente robusta debe contener, de manera clara y ordenada, las siguientes secciones esenciales:

1. Encabezado e Identificación (Trazabilidad):

- Número único de OTIC y revisión.
- Fecha de emisión y fecha de validez.
- Referencia al producto, componente o lote específico (número de parte, número de orden de trabajo, código de lote).
- Cliente o proyecto destino (si aplica).

2. Alcance y Objetivo de la Inspección:

- Descripción clara de lo que se va a inspeccionar.
- Etapa del proceso (Inspección de Recepción, En Proceso, Final, etc.).
- Tipo de inspección (100%, muestreo estadístico -indicando la norma aplicable, p.ej., ISO 2859-1-, o por atributo/dimensional).

3. Criterios de Aceptación y Referencias Normativas:

- Especificaciones técnicas detalladas (valores nominales, tolerancias dimensionales, criterios de apariencia). Este es el corazón de la OTIC.
- Referencia explícita a los documentos de origen: número de plano de ingeniería, especificación del cliente (p.ej., ASTM, SAE, NOM), estándar interno de la empresa, o requisito de la ISO específica del producto.
- Definición inequívoca de "no conformidad".

4. Metodología y Procedimiento de Inspección (El "Cómo"):

- Secuencia detallada de pasos a seguir.
- Métodos de medición o prueba a emplear (inspección visual, medición dimensional, prueba funcional).
- Equipos e instrumentos de medición requeridos, con indicación de su identificación única y estado de calibración vigente (requisito de la cláusula 7.1.5.2 de la ISO 9001).
- Condiciones ambientales o de preparación (si aplican), según estándares como la ISO/IEC 17025 para laboratorios.

5. Registro de Resultados y Formato de Evidencia Objetiva:

- Formato adjunto o referenciado para el registro de datos (hoja de verificación, lista de cotejo, reporte de inspección).
- Instrucciones claras sobre cómo registrar los resultados (valores medidos, observaciones, fotografías como evidencia).
- Espacio para la firma o identificación electrónica del inspector, la fecha y la hora de la inspección.

6. Disposición de Productos No Conformes y Autoridades:

- Instrucciones sobre las acciones a tomar ante una no conformidad (aislar, etiquetar, reportar).
- Referencia al procedimiento de control de producto no conforme (cláusula 8.7 de la ISO 9001).

- Identificación del puesto con autoridad para tomar la decisión final (aceptación, rechazo, reparación).

2.2.9. Base normativa y estándares de referencia

La elaboración y uso de la OTIC se fundamenta en un marco normativo que garantiza su validez:

ISO 9001:2015, Sistema de Gestión de la Calidad: Es la norma fundamental. Exige que las organizaciones controlen sus procesos operativos (8.1) y determinen criterios para la aceptación de productos (8.6). La OTIC es el instrumento para cumplir estos requisitos.

ISO 2859-1, Procedimientos de Muestreo para Inspección por Atributos: Proporciona las tablas y reglas estadísticas para definir planes de muestreo en la OTIC, asegurando un nivel de riesgo estadístico conocido.

ISO/IEC 17025:2017, Requisitos para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración: Establece los requisitos para la validez de los métodos de ensayo, la competencia del personal y la trazabilidad metrológica de los equipos, todos elementos que deben plasmarse en una OTIC rigurosa.

Especificaciones Sectoriales: Normas como la **IATF 16949** (automotriz), **AS9100** (aerospace) o **ISO 13485** (dispositivos médicos) añaden requisitos específicos más estrictos para la documentación y control de la inspección, que deben reflejarse en las OTIC de esos sectores.

2.3 Plantilla de inspección en el contexto normativo internacional

Los organismos de normalización técnica reconocen las plantillas de inspección como dispositivos de control metrológico que materializan especificaciones geométricas para verificación rápida. La norma ISO 9001:2015, en su cláusula 7.1.5, establece los requisitos fundamentales para equipos de seguimiento y medición, exigiendo que las plantillas sean apropiadas para los fines previstos y mantengan su validez metrológica mediante calibración periódica.

El estándar ASME Y14.5M-1994 (dimensionamiento y tolerancias) define las plantillas como representaciones físicas de tolerancias geométricas que permiten la verificación simultánea de múltiples características dimensionales. Complementariamente, la norma ISO 17025 especifica los procedimientos de calibración que deben aplicarse a estos dispositivos, requiriendo trazabilidad documentada a los patrones nacionales de medida.

La International Organization for Standardization, mediante la familia de normas ISO 2768, establece los principios generales para tolerancias dimensionales en piezas fabricadas sin indicaciones específicas, proporcionando el marco de referencia para el diseño de plantillas de verificación básica. Paralelamente, la norma VDI/VDE

2617 de la Asociación de Ingenieros Alemanes regula específicamente la exactitud de dispositivos de medición por coordenadas, incluyendo plantillas digitalizadas.

La implementación de plantillas debe considerar adicionalmente lo establecido en la norma ISO 9001 respecto al control de dispositivos de inspección, que exige su identificación única, protección contra ajustes no autorizados y prevención de daños durante su manipulación y almacenamiento. Esta aproximación integral garantiza que las plantillas mantengan su integridad metrológica a lo largo de su ciclo de vida útil.

2.3.1 Interpretación de la Cláusula 7.1.5 de la Norma ISO 9001:2015

La sección 7.1.5 del referido documento normativo establece los lineamientos fundamentales para la gestión de recursos de seguimiento y verificación dentro de un sistema de gestión de calidad. Esta disposición específica requiere que las organizaciones implementen procedimientos sistemáticos para garantizar la validez metrológica de todas las actividades de medición.

El contenido normativo exige la identificación y documentación exhaustiva de todos los instrumentos y equipos que proporcionan evidencia de conformidad con los requisitos establecidos. La implementación práctica demanda el establecimiento de ciclos de calibración periódicos, cuyos intervalos deben determinarse según el uso crítico, la estabilidad histórica y las recomendaciones del fabricante de cada dispositivo.

Un aspecto esencial contemplado en esta cláusula consiste en la necesidad de demostrar la trazabilidad metrológica mediante la comparación con patrones de referencia reconocidos internacionalmente. Este proceso debe documentarse mediante certificados que especifiquen las condiciones ambientales durante la calibración, las incertidumbres de medida y los resultados obtenidos para cada punto verificado.

La norma establece además la obligatoriedad de implementar mecanismos de identificación que permitan visualizar el estado de calibración de cada equipo. Simultáneamente, requiere la adopción de medidas de protección que prevengan ajustes no autorizados o daños que pudieran comprometer la exactitud de las mediciones.

Cuando se detectan desviaciones fuera de los límites aceptables, el documento normativo exige la evaluación de la validez de mediciones anteriores y la ejecución de acciones correctivas apropiadas. Esta disposición busca mantener la integridad del sistema de medición y garantizar la confiabilidad de las decisiones basadas en los resultados obtenidos.

2.3.2 Norma ASME Y14.5M-1994 sobre Dimensionamiento y Tolerancias

La norma ASME Y14.5M-1994, emitida por la American Society of Mechanical Engineers, establece el lenguaje técnico estandarizado para la representación de dimensiones, tolerancias y requisitos geométricos en los planos de ingeniería. Su propósito principal es asegurar una comunicación precisa y universal entre las etapas de diseño, manufactura e inspección, eliminando ambigüedades en la interpretación de los dibujos técnicos.

Esta norma introduce el uso de un sistema de dimensionamiento y tolerado geométrico (GD&T, Geometric Dimensioning and Tolerancing), el cual define las características de forma, orientación, ubicación y oscilación de las piezas, garantizando su intercambiabilidad y funcionalidad. Además, proporciona los símbolos, definiciones, métodos de referencia y reglas de aplicación necesarios para expresar de manera clara los límites de variación permitidos en un componente mecánico.

La aplicación de la ASME Y14.5M-1994 permite mantener la coherencia en la documentación técnica, mejorar la calidad en la fabricación, reducir errores por interpretación y facilitar el control dimensional durante los procesos de inspección. En conjunto, constituye una herramienta esencial en el ámbito del diseño mecánico y la ingeniería de producción, ya que establece un marco común que une los criterios de diseño con las capacidades reales de fabricación y verificación.

2.4 Plantilla (como instrumento de verificación)

Una plantilla representa un dispositivo de control que materializa físicamente los parámetros de referencia establecidos en un diseño. Su configuración reproduce fielmente la geometría, dimensiones y relaciones espaciales que deben verificarse durante los procesos de fabricación o construcción.

Estos instrumentos operan como patrones comparativos que permiten contrastar rápidamente las características de un producto contra sus especificaciones originales. Su diseño incorpora los elementos esenciales que definen la conformidad de un componente, funcionando como intermediario entre los documentos técnicos y la realidad manufacturada.

La eficacia de las plantillas reside en su capacidad para transformar requisitos abstractos en criterios tangibles de evaluación. Permiten ejecutar verificaciones dimensionales sin requerir mediciones complejas, simplificando considerablemente los procedimientos de control de calidad. Esta característica las convierte en herramientas accesibles para personal técnico con diversos niveles de especialización.

La construcción de estos dispositivos considera cuidadosamente los materiales, garantizando estabilidad dimensional y resistencia al desgaste operativo. Su

calibración periódica asegura la conservación de la exactitud metrológica a lo largo de sucesivos ciclos de utilización.

En esencia, las plantillas constituyen puentes físicos entre el diseño teórico y la producción tangible, estableciendo un lenguaje común que facilita la comunicación técnica entre diseñadores, fabricantes y verificadores. Su implementación sistemática contribuye significativamente a la estandarización y repetibilidad en entornos productivos.

2.5 Bolsa de Aire (air bang)

Una airbag o bolsa de aire es un sistema de seguridad pasiva automático y pirotécnico, diseñado para mitigar la gravedad de las lesiones de los ocupantes de un vehículo durante una colisión. Su propósito principal no es evitar el accidente, sino minimizar la transferencia de energía cinética del cuerpo del ocupante hacia las estructuras rígidas del interior del vehículo (volante, tablero, parabrisas, puertas) en el momento del impacto (National Highway Traffic Safety Administration [NHTSA], 2013).

Opera como un cojín de amortiguación complementario al cinturón de seguridad, con el cual debe trabajar de forma sincronizada. El objetivo final es reducir el riesgo de traumatismos craneoencefálicos severos, fracturas faciales y lesiones torácicas, distribuyendo la fuerza de desaceleración sobre una superficie corporal más amplia y reduciendo la velocidad relativa del ocupante de manera controlada.

3.2. Principio Operativo y Secuencia de Activación

El funcionamiento se basa en principios físicos y químicos secuenciales que ocurren en una ventana de tiempo extraordinariamente breve ($< 30\text{-}60\text{ ms}$), estructurado en las siguientes fases críticas:

1. **Detección:** Sensores de impacto (acelerómetros electrónicos y, en sistemas más antiguos, sensores mecánicos "bola y resorte") monitorean continuamente la desaceleración del vehículo. Cuando se supera un umbral predefinido equivalente a un impacto frontal (aproximadamente a $>20\text{ km/h}$ contra una barrera fija) o lateral, se genera una señal eléctrica.
2. **Decisión y Activación:** Una **Unidad de Control Electrónica (ECU)** del airbag recibe la señal del sensor. En milisegundos, algoritmos sofisticados evalúan la severidad, el tipo de impacto (frontal, lateral, trasero, vuelco) y, en vehículos modernos, datos como la presencia y peso del ocupante. Si se cumplen los criterios, la ECU envía una corriente eléctrica al **inflador**.
3. **Inflado (Generación de Gas):** El inflador contiene una **carga pirotécnica** de azida de sodio (NaN_3) o, en sistemas más modernos, nitroguanidina. La corriente eléctrica hace ignición de esta carga, que se quema de forma controlada y extremadamente rápida, generando una gran

cantidad de gas nitrógeno (N_2) inocuo. Este gas llena la bolsa de nylon a velocidades de hasta 300 km/h.

4. **Despliegue y Amortiguación:** La bolsa, plegada dentro de su módulo (en el volante, tablero, o puerta), se despliega rompiendo la cubierta plástica del módulo. El despliegue completo ocurre antes de que el ocupante, por inercia, haya recorrido unos centímetros hacia adelante. Inmediatamente después del contacto inicial con el ocupante, la bolsa comienza a desinflarse de forma controlada a través de orificios de ventilación en el tejido, absorbiendo la energía y "cazando" al cuerpo para reducir su velocidad de manera progresiva hasta detenerlo.

2.5.1. Construcción y Componentes Críticos

Un sistema de airbag es un ensamblaje de precisión que integra múltiples subsistemas:

1. Módulo de la bolsa:

- **Bolsa (Cushion):** Fabricada con tejido de **nylon 6-6** recubierto de silicona o neopreno para controlar la porosidad y garantizar un desinflado controlado. La costura es un factor crítico de resistencia.
- **Inflador (Inflator):** El "corazón" del sistema. Un contenedor metálico que aloja el generador de gas (propelente sólido) y los filtros para enfriar y limpiar el gas de partículas antes de que ingrese a la bolsa.
- **Cubierta del Módulo:** Generalmente de plástico termoformado diseñado con "líneas de ruptura" definidas para que la bolsa se despliegue por la trayectoria correcta sin generar esquirlas peligrosas.

2. **Sensores y Unidad de Control (ECU):** El "cerebro" del sistema. Es una computadora dedicada que procesa datos de múltiples sensores (acelerómetros, sensores de presión en las puertas para impactos laterales, sensores de ocupante) para tomar la decisión de activación en milisegundos.
3. **Sistema de Alimentación y Conexión:** Incluye una fuente de energía de respaldo (condensador) para garantizar el funcionamiento incluso si la batería del vehículo se desconecta en el choque, y un conjunto de conectores especiales de alta confiabilidad ("conectores amarillos") para la circuitería del airbag.

2.5.2 Importancia y marco normativo

La importancia del airbag es indiscutible en la seguridad vial moderna. Según la Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras (NHTSA) de EE. UU., los airbags frontales reducen las muertes de conductores en aproximadamente un 29% y las de pasajeros adultos en un 32% en choques frontales.

Su diseño, fabricación y desempeño están regidos por normativas internacionales estrictas que validan su efectividad y confiabilidad:

- FMVSS 208 (Estados Unidos): Reglamento Federal de Seguridad de Vehículos Motorizados que establece los requisitos de desempeño de los sistemas de retención ocupacional, incluyendo airbags.
- Reglamento ECE R94 y R95 (Europa): Prescriben los requisitos de homologación para la protección de ocupantes en colisiones frontales y laterales, respectivamente.
- Normas ISO: Como la ISO 12097 para los componentes (bolsas, infladores, sensores), que especifica los métodos de ensayo para resistencia ambiental (temperatura, humedad, vibración) y de envejecimiento.

2.5.3 Importancia crítica de la calidad en bolsas de aire

La aplicación de sistemas de gestión de la calidad en la fabricación de componentes de seguridad pasiva, como las bolsas de aire, trasciende los objetivos comerciales convencionales de satisfacción del cliente o reducción de costos por desperdicio. En este contexto, la calidad adquiere una dimensión ética y de responsabilidad social, donde un defecto de fabricación puede traducirse directamente en la diferencia entre la preservación de la vida y una lesión grave o fatal. La calidad, por tanto, es el pilar fundamental sobre el que descansa la confiabilidad y el desempeño garantizado de un dispositivo que debe funcionar perfectamente en una fracción de segundo, tras años de inactividad, y bajo las condiciones ambientales más extremas

Este nivel de exigencia se materializa en la necesidad de "Calidad de Seguridad Funcional" (Functional Safety Quality), un paradigma donde:

1. Cero Defectos es una Meta Operativa Imperativa: No se trata de un ideal filosófico, sino de un requerimiento técnico. Un error en la costura de la bolsa, una inconsistencia en el tejido, una falla en el circuito del sensor o una desviación en la carga del inflador, constituyen No Conformidades Críticas que invalidan la función esencial del producto.
2. La Tolerancia al Error es Cero: A diferencia de otros componentes, un airbag no tiene un "modo de fallo degradado" aceptable. Solo tiene dos estados: funciona exactamente como fue diseñado o falla catastróficamente. Este último puede manifestarse como un no-despliegue (dejando al ocupante desprotegido) o un despliegue inapropiado (generando por sí mismo un riesgo de lesión por la fuerza de la explosión).
3. La Trazabilidad es Absoluta: Cada componente, cada subensamble y cada unidad final debe ser perfectamente rastreable. Esto implica registrar el lote de material textil, el número de serie del inflador, los datos de calibración de los sensores y los resultados de todas las inspecciones. Esta trazabilidad

permite no solo aislar lotes defectuosos, sino también realizar investigaciones forenses de ingeniería en caso de un incidente.

En base a la teoría y conceptos anteriores se ilustra en la figura 1, la visualización de un modelo de una bolsa de aire de la empresa media soluciones.

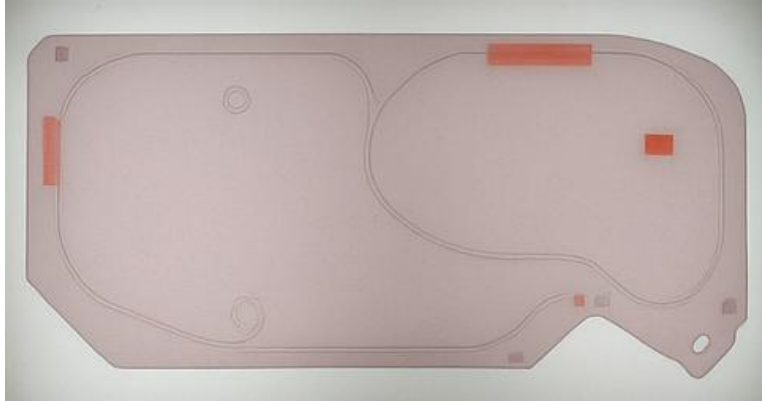


Figura 1 Bolsa de aire

La inspección de calidad en la fabricación de bolsas de aire es de crítica seguridad funcional. Un defecto menor (en la costura, el tejido, el inflador o el sistema electrónico) puede resultar en un fallo catastrófico (no despliegue o despliegue inapropiado). Por lo tanto, los sistemas de control deben ser exhaustivos, automatizados y trazables. Este proyecto, al desarrollar un sistema de inspección por visión artificial, se enfoca en garantizar la integridad visual y dimensional de componentes críticos como la bolsa plegada, la cubierta del módulo y los ensambles finales, asegurando que cada unidad cumpla con las especificaciones de diseño que garantizan su funcionamiento salvavidas.

2.5.4 Elementos críticos para inspección en una bolsa de aire.

En el entorno de media soluciones, una bolsa de aire se conforma de zonas específicas que se toman en cuenta para realizar la inspección, con fin de evaluar que esta cumpla con los requerimientos adecuados y por su parte determinar que estén en buen estado para proceso final y posteriormente ensamblaje dentro de automóviles, a continuación, se definen las zonas críticas:

Zona no inflable: Esta área se denomina los bordes de la bolsa, delimitada por el esqueleto de esta, y como su nombre lo refiere esta zona no se infla ya que su función es mantener un margen libre para la implementación de accesorios de ensamblaje y manufactura posteriores a la inspección. Esta se valora con la finalidad de determinar que el material y el corte se encuentre en buen estado y evitar desfases en sus colocación y accionamiento de seguridad una vez la bolsa este dentro de automóvil.

Esqueleto: Este se denomina como la frontera que delimita la zona inflable con la no inflable, en términos técnicos este es la combinación de la costura y adhesivo

que se encarga de mantener a margen ambas zonas, proporcionado seguridad en el cumplimiento del propósito de una bolsa de aire, esta zona es de suma importancia ya que se visualmente es discontinuo o presenta irregularidades geométricas y dimensiones puede provocar el incumplimiento del sistema de seguridad que representa la bolsa de aire

Zona inflable: Tal como su nombre la refiere esta es la zona donde ingresa el aire y se expande para el aseguramiento de la integridad de los usuarios bajo las condiciones de accionamiento, esta zona tiene alto valor ya que si dentro de esta existe algún tipo de daño el peligro de que no funciones es bastante alto, lo que significa que esta zona lleva un alto índice de evaluación durante una inspección.

Líneas de ensamble (rotación): Estas líneas se les considera guías importantes dentro de la bolsa de aire, la finalidad de estas es mantener una geometría y simetría correcta ya que estas en procesos de adición de componentes de fijación guían el correcto ensamble de los antes mencionados, esta zona se valora ya que alguna discontinuidad o alteración de su geometría conlleva a una mala instalación de los accesorios lo cual genera problemas una vez sea el momento de introducir en los soportes de fijación de los automóviles.

Zona de garganta: Esta es el espacio donde se suministra y se ensambla el dispositivo de aire, esta zona es crucial ya que de no tener el espacio y dimensionamiento adecuado conlleva a retrasos o a dificultades al inflase la bolsa lo cual es tema bastante delicado ya que afectaría el tiempo de accionamiento generando consecuencias graves para los usuarios.

Barrenos: Estos se denominan como perforaciones que se encuentran alrededor de toda la bolsa, la finalidad de estos es ser el espacio para los componentes de fijación y embalaje, pese a que estos no afectan directamente el funcionamiento de la bolsa, estos al estar propensos a desfases geométricos y dimensionamiento erróneos pueden generar problemas de ensamblaje posterior en las siguientes líneas ya que causara una mala fijación e instalación en los vehículos.

Para un mejor entendimiento de la distribución y visualización de las zonas antes mencionadas vea la imagen 2, zonas críticas de una bolsa de aire.

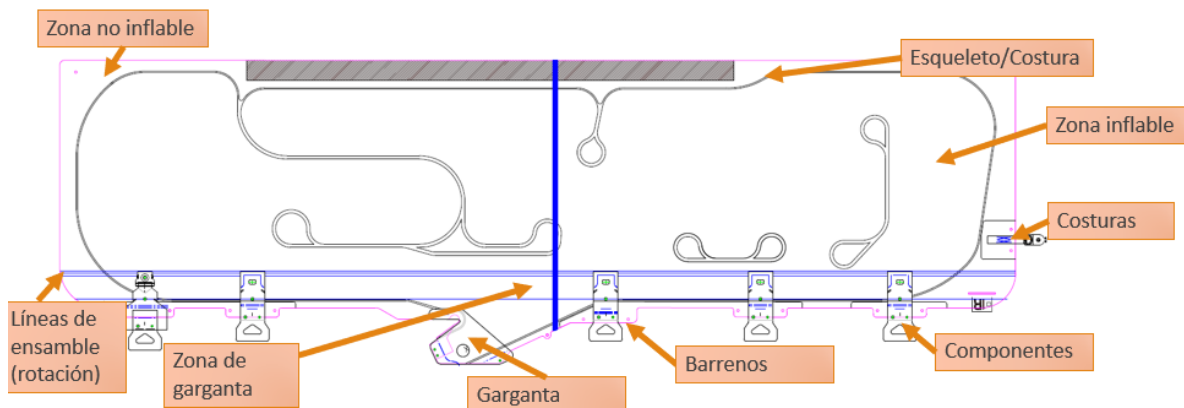


Figura 2 zonas críticas de una bolsa de aire.

Otro aspecto relevante de la bolsa de aire es que se encuentra dividida en zonas específicas con el propósito de facilitar el control durante la inspección. La bolsa se segmenta en tres áreas: A, B y C. De esta manera, en las órdenes de trabajo se establecen claramente los conceptos de cada zona, lo que permite realizar la inspección de forma consistente y reduce la posibilidad de errores durante el proceso visual, vea la figura 3, segmentación de áreas de la bolsa de aire.

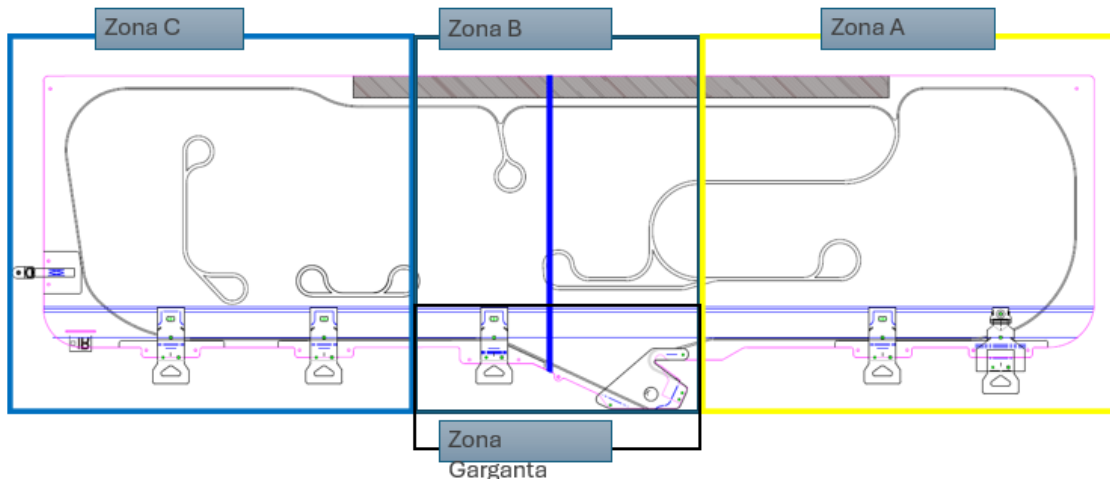


Figura 3 segmentación de áreas de la bolsa de aire.

2.6 Template de bolsas de aire (Instrumento de inspección en Media Soluciones)

De acuerdo con lo establecido en el apartado 2.3, plantilla de inspección en el contexto normativo internacional y 2.4, plantilla (como instrumento de verificación) de este documento, la plantilla de inspección representa un instrumento de verificación que define los parámetros ideales de un producto específico. En el caso de la empresa, esta herramienta se fabrica según las dimensiones normalizadas de

una bolsa de aire, incorporando las tolerancias máximas permitidas y representando gráficamente las características dimensionales clave.

Su función principal consiste en facilitar la identificación precisa de irregularidades o defectos al colocar sobre ella una bolsa de aire real. Entre sus características técnicas más relevantes se incluyen: la reproducción exacta de la geometría del modelo a evaluar, la ubicación correcta de ranuras, perforaciones y barrenos, así como la representación de guías de costura, zonas inflables, estructura base de fabricación y el material de esta está adaptado para que tenga una propiedad traslúcida, la cual permite a los inspectores una visión adecuada para la evaluación de la bolsa de aire en cuestión.

El instrumento integra además instrucciones escritas que detallan los pasos secuenciales para realizar una inspección completa. Esta combinación de elementos visuales y textuales convierte a la plantilla en un recurso fundamental para los procesos de control de calidad dentro de la organización, permitiendo verificar sistemáticamente la conformidad de los productos fabricados.

2.7 Visión artificial.

La visión artificial (VA), o *computer vision*, no es un invento reciente, sino el resultado de la convergencia de múltiples disciplinas a lo largo de décadas. Sus orígenes intelectuales se remontan a los años 60 y 70, cuando laboratorios pioneros como el MIT, Stanford y el SRI International comenzaron a explorar la posibilidad de dotar a las máquinas de percepción visual. El objetivo fundacional era ambicioso: replicar, o al menos emular funcionalmente, el sistema de percepción visual humano para tareas específicas.

Su desarrollo puede dividirse en tres oleadas principales:

1. **Fase de Procesamiento de Imágenes Básico (1960s-1970s):** Se centró en operaciones de bajo nivel: mejora de contraste, detección de bordes (operadores como Sobel, Prewitt) y segmentación simple. La potencia de cálculo era extremadamente limitada y las aplicaciones, experimentales.
2. **Fase de Modelado Geométrico y Aumento de la Complejidad (1980s-1990s):** Se desarrollaron modelos matemáticos más sofisticados para entender la escena 3D a partir de imágenes 2D (visión estéreo, estructura a partir del movimiento). Surgieron las primeras aplicaciones industriales robustas, gracias a hardware más potente y cámaras CCD más accesibles. La publicación de libros de texto fundacionales, como "*Vision*" de David Marr (1982), estableció un marco teórico sólido.
3. **Fase del Aprendizaje Estadístico y Profundo (2000s-Presente):** Es la era actual, marcada por el predominio de los **algoritmos de aprendizaje automático (Machine Learning) y aprendizaje profundo (Deep Learning)**. La disponibilidad masiva de datos (big data), la potencia de las GPUs y el

desarrollo de arquitecturas de redes neuronales convolucionales (CNNs) han revolucionado el campo. Las máquinas ahora "aprenden" a reconocer patrones complejos directamente de los datos, superando en muchas tareas a los algoritmos de modelado manual clásico. Esto ha democratizado y expandido exponencialmente las aplicaciones de la VA (Cruzito, 2024).

2.7.1. Elementos que conforman un sistema de Visión Artificial

Un sistema de VA para inspección industrial es una arquitectura integral que trasciende el simple "software". Se compone de elementos físicos (*hardware*) y lógicos (*software*) que trabajan en cadena:

Sistema de Adquisición de Imagen (Hardware):

- **Cámara Industrial:** El sensor. Puede ser área (2D), lineal (para objetos en movimiento) o 3D (perfilómetros láser, luz estructurada). Sus parámetros clave (resolución, velocidad de fotogramas, tipo de sensor – CMOS/CCD) se seleccionan según la aplicación (Basler AG, s.f.).
- **Óptica (Lente):** Controla el campo de visión, la magnificación, la profundidad de campo y la cantidad de luz que llega al sensor. Una elección incorrecta invalida todo el sistema.
- **Iluminación Industrial:** El componente más crítico a menudo subestimado. Su propósito es resaltar la característica de interés y suprimir los detalles irrelevantes. Técnicas comunes incluyen: iluminación frontal (anular, domo) para superficie, retroiluminación (*backlight*) para contornos y siluetas, e iluminación lateral (*darkfield*) para texturas y defectos de relieve.
- **Soporte y Posicionamiento (Mecánica):** Estructuras rígidas para mantener la alineación perfecta entre cámara, iluminación y la pieza a inspeccionar.

Sistema de Procesamiento y Análisis (Software): Es el "cerebro". Incluye:

- **Bibliotecas de Procesamiento de Imágenes:** Conjuntos de algoritmos para operaciones de bajo y medio nivel. OpenCV es la biblioteca de código abierto más utilizada y poderosa a nivel mundial, ofreciendo cientos de funciones para filtrar, transformar, segmentar y medir imágenes
- **Entorno de Programación:** Lenguajes como Python (con su ecosistema de librerías científicas: NumPy, SciPy) o C++ son los estándares de facto para desarrollo, gracias a su eficiencia y las bibliotecas disponibles

- Algoritmos de Análisis: Desde técnicas clásicas (coincidencia de patrones, *blob analysis*, *edge detection*) hasta modelos avanzados de redes neuronales convolucionales entrenados para clasificar defectos o segmentar piezas con alta robustez.

Sistema de Comunicación y Control (Interfaz): Conecta el sistema de VA con el mundo exterior. Utiliza protocolos industriales (Ethernet/IP, PROFINET, I/O digital) para recibir disparadores de la línea, enviar resultados (PASA/NO PASA) a un PLC (Controlador Lógico Programable) y desviar piezas defectuosas mediante un actuador (lámpara, pistón neumático).

2.7.2. Campos de aplicación

La VA tiene un espectro de aplicación vastísimo, siendo la industria su primer y principal adoptante:

Inspección y Control de Calidad Automatizado: Detección de defectos, verificación de montaje, medición dimensional sin contacto, lectura de códigos (OCR, códigos de barras, DMC). **Es la aplicación directa de este proyecto.**

Guía Robótica (*Robot Guidance*): Proporciona a los brazos robóticos la ubicación y orientación precisa de piezas para tareas de picking, ensamble o soldadura.

Identificación y Clasificación: Reconocimiento de objetos, clasificación por forma, color o tipo.

Vigilancia y Seguridad: Análisis de video para detección de intrusos o comportamientos anómalos.

Medicina: Análisis de imágenes médicas (radiografías, tomografías) para diagnóstico asistido.

Vehículos Autónomos: Percepción del entorno para navegación, detección de peatones, señales y otros vehículos.

Para la correcta comprensión del tema de la V.A, se presenta la figura 4, un entorno común donde se aplica la visión artificial.

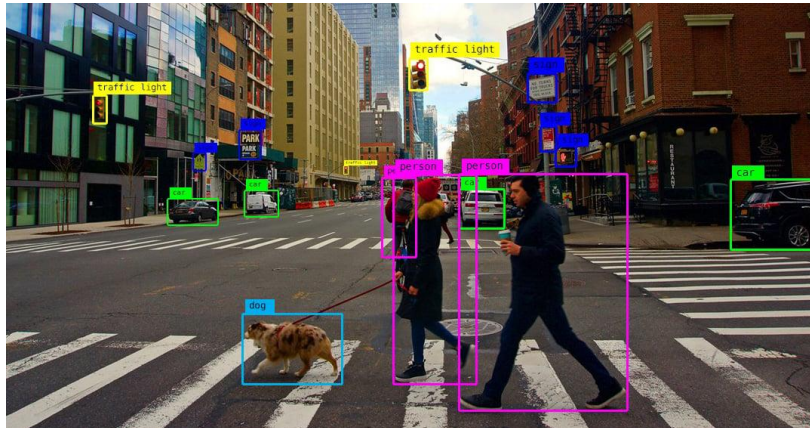


Figura 4 visión artificial en entornos comunes.

Este ejemplo no es meramente ilustrativo; encapsula operacionalmente la teoría de la visión artificial y demuestra la transición desde el procesamiento de bajo nivel hasta la interpretación semántica de alto nivel, proceso directamente transferible al dominio de la inspección automatizada en manufactura.

Adquisición y Preprocesamiento: La Base de Datos Objetiva

El primer bloque de este sistema corresponde a la etapa de adquisición. Un sensor óptico, análogo a la cámara industrial de un sistema de inspección, captura el flujo luminoso de la escena. En el contexto urbano, las condiciones son variables (luz diurna, nocturna, climatología adversa), lo que exige algoritmos robustos de acondicionamiento. De manera equivalente, en una línea de producción, aunque la iluminación es controlada, la adquisición debe ser consistente y de alta fidelidad para convertir la geometría y textura de un componente, como una bolsa de aire plegada, en una matriz numérica fiable.

Procesamiento, Detección y Clasificación: Del Píxel al Objeto Semántico

Posteriormente, el sistema ejecuta la etapa de procesamiento y análisis. Los recuadros coloreados visibles en la descripción son el resultado final de complejos algoritmos de detección y clasificación. Inicialmente, técnicas de preprocesamiento (filtrado, mejora de contraste) preparan la imagen. Luego, se aplican métodos de detección de objetos. La capacidad del sistema para identificar y demarcar entidades tan diversas como un vehículo, un peatón y un animal (canino) sugiere fuertemente la utilización de arquitecturas de aprendizaje profundo, en particular Redes Neuronales Convolucionales (CNN), entrenadas en vastos conjuntos de datos etiquetados. Estas redes no se limitan a buscar formas

geométricas rígidas, sino que aprenden características jerárquicas y abstractas que permiten generalizar y distinguir entre clases de objetos con morfologías variables.

Este subproceso es análogo al núcleo del proyecto de inspección propuesto. Mientras la red neuronal para la escena urbana fue entrenada para clasificar "peatón" vs. "vehículo", la red para el control de calidad de bolsas de aire se entrenaría para clasificar "costura correcta" vs. "costura desviada", o "presencia de tornillo" vs. "ausencia de tornillo". En ambos casos, el sistema trasciende la simple medición para realizar una clasificación basada en patrones aprendidos, lo que proporciona una robustez superior frente a la variabilidad y los defectos novedosos.

Interpretación Contextual y Toma de Decisión: La Generación de Acción

La presencia de etiquetas textuales (p.ej., "semáforo", "peatón") sobre los recuadros indica la culminación del proceso: la interpretación de la escena y la toma de decisión. El sistema no solo ha localizado grupos de píxeles; los ha elevado a una categoría semántica con significado en el dominio de aplicación. En un vehículo autónomo, esta interpretación alimenta el sistema de control para tomar decisiones de navegación. En el ámbito industrial, esta etapa se materializa en la decisión binaria de calidad. El sistema de visión, tras analizar la imagen del componente, debe generar una salida inequívoca: OK o NOK. Esta decisión, basada en los resultados de la clasificación y medición, activa mecanismos físicos (como un eyector neumático) y, de manera crucial, actualiza el registro digital de trazabilidad de la pieza.

2.8 Procesamiento digital de imágenes

El Procesamiento digital de imágenes es la disciplina tecnológica y matemática que se ocupa de la manipulación y análisis de imágenes digitales mediante algoritmos computacionales. A diferencia de la Visión Artificial, cuyo objetivo final es la "comprensión" semántica de una escena (como identificar un peatón o un defecto), el PDI se centra en la transformación de la imagen como un fin en sí mismo o como un paso previo esencial para mejorar su calidad, extraer información o prepararla para una interpretación de alto. Es la herramienta fundamental que permite convertir los datos crudos del sensor en información estructurada y útil.

Su origen está ligado al desarrollo de las primeras computadoras y a necesidades específicas de sectores como el espacial, militar y médico en las décadas de 1960 y 1970. Un hito fue el procesamiento de imágenes transmitidas por la sonda espacial Ranger 7 de la NASA en 1964, donde se aplicaron técnicas para mejorar y analizar las primeras fotografías cercanas de la Luna. Desde entonces, ha evolucionado desde operaciones básicas de mejora de contraste hasta convertirse en la base

algorítmica de campos como la fotografía computacional, la imagen médica y, por supuesto, la inspección industrial automatizada.

En el pipeline de la Visión Artificial, el procesamiento digital de imágenes constituye las etapas de bajo y medio nivel. Su propósito dentro del marco de un sistema de inspección es triple: 1) Mejorar la calidad visual de la imagen capturada para facilitar el análisis; 2) Extraer características cuantificables (medidas, formas, texturas) de los objetos de interés; y 3) Preparar los datos para la toma de decisiones automatizada, ya sea mediante reglas simples o modelos complejos de Inteligencia Artificial.

2.8.1. Funcionamiento: El flujo de procesamiento y sus etapas críticas

El proceso de PDI sigue un flujo estructurado y secuencial, tal como se representa en la Figura 5, cada etapa transforma la imagen para un propósito específico, avanzando desde la adquisición cruda hasta la interpretación.

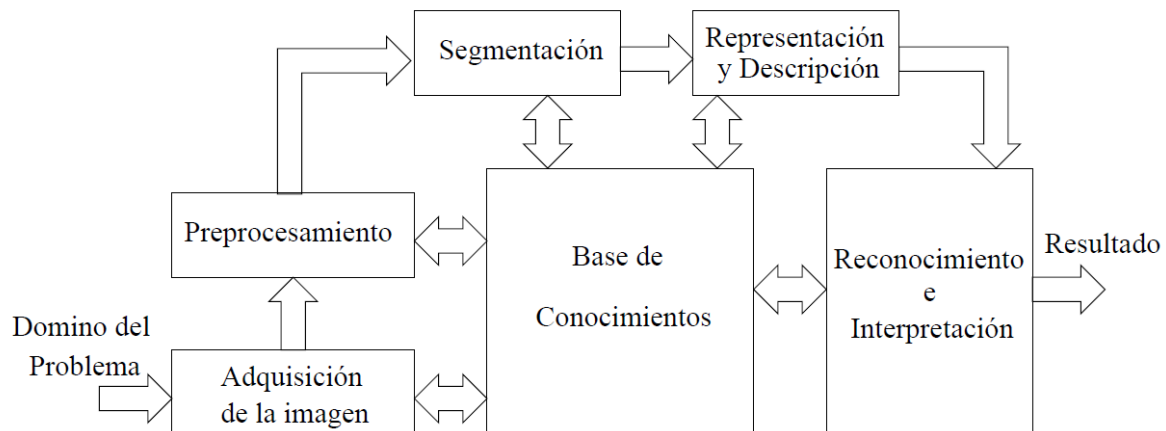


Figura 5 flujo del procesamiento de imágenes.

1. Adquisición de la Imagen y Dominio del Problema:

Es el punto de partida. Un sistema de adquisición (cámara industrial, en el contexto del proyecto) captura la escena física y la convierte en una matriz numérica bidimensional, donde cada celda (píxel) tiene un valor que representa la intensidad de luz. Este paso es crucial y está completamente definido por el "Dominio del Problema": las especificaciones de qué se va a inspeccionar (ej: una bolsa de aire),

en qué condiciones de iluminación y con qué resolución requerida, determinan la configuración del hardware.

Vinculación al proyecto: La correcta adquisición de la imagen de la bolsa de aire, con iluminación que resalte costuras y pliegues, es la base absoluta. Una imagen mal adquirida no podrá ser corregida por el mejor algoritmo.

2. Preprocesamiento:

Esta etapa tiene como objetivo mejorar la calidad visual de la imagen y suprimir información no deseada (ruido) sin perder los detalles importantes. Incluye operaciones como:

Filtrado: Uso de filtros espaciales (filtro de media para suavizar ruido, filtro de mediana para eliminar "puntos calientes", filtros de realce de bordes como Sobel o Canny) para modificar los valores de los píxeles en función de sus vecinos.

Corrección de iluminación y contraste: Aplicación de transformaciones histograma (ecualización) para expandir el rango dinámico y hacer más visibles los detalles en zonas oscuras o claras.

Vinculación al proyecto: Un filtro de mediana podría eliminar el ruido de tipo "sal y pimienta" generado por el sensor de la cámara. Un realce de bordes sería fundamental para que los contornos de la bolsa o de una costura desviada sean claramente detectables en etapas posteriores.

3. Segmentación:

Es una de las etapas más críticas. Consiste en dividir la imagen en regiones u objetos de interés separándolos del fondo. El objetivo es etiquetar cada píxel como perteneciente a la "pieza" o al "fondo", o incluso diferenciar entre distintas partes de la pieza. Se pueden usar técnicas basadas en umbrales de intensidad (histograma), detección de bordes o crecimiento de regiones.

Vinculación al proyecto: Para medir las dimensiones de la bolsa plegada, primero hay que aislarla (segmentarla) perfectamente del resto de la imagen (cinta transportadora, fondos de la máquina). Un error en la segmentación invalida cualquier medición posterior.

4. Representación y Descripción:

Una vez segmentados los objetos, se deben representar de una forma adecuada para el análisis computacional y describir mediante características cuantificables. La representación puede ser una lista de coordenadas de contorno (cadena de Freeman) o una máscara binaria. La descripción implica extraer descriptores o

"features": medidas geométricas (área, perímetro, centroide), descriptores de forma (relación aspecto, compacidad, momentos invariantes) o descriptores de textura.

Vinculación al proyecto: Esta etapa es el corazón de la inspección dimensional y geométrica. El sistema extraerá descriptores como: el área total de la bolsa (para detectar desplegados incorrectos), la posición de los orificios de ventilación (tolerancia de posición), o la distancia entre puntos de costura. Estos valores numéricos son los que se compararán contra las especificaciones técnicas (planos) para determinar conformidad.

5. Reconocimiento e Interpretación:

Aquí, los descriptores extraídos se utilizan para asignar una etiqueta o identidad a un objeto (reconocimiento) y para comprender su significado en el contexto de la aplicación (interpretación). Esta etapa puede basarse en reglas de decisión simples (ej: "si el área está entre X e Y, es conforme") o en modelos de aprendizaje automático más complejos que clasifiquen el objeto en categorías predefinidas (ej: "clasificar un defecto como 'rasgadura', 'contaminación' o 'plegado erróneo'").

Vinculación al proyecto: Es la etapa de decisión final del sistema de inspección. Utilizando los descriptores medidos, el sistema ejecuta el algoritmo de clasificación PASA/NO PASA.

6. Base de Conocimientos y Resultado:

La Base de Conocimientos es un repositorio de información que guía las etapas anteriores. Contiene datos como: los límites de tolerancia para las mediciones, las imágenes de referencia, los modelos entrenados de clasificación de defectos y los criterios de aceptación definidos en la Orden de Trabajo de Inspección (OTIC).

El resultado es la salida del sistema: puede ser una imagen anotada (como la de la escena urbana con recuadros), un informe de mediciones, una señal de activación para un actuador (rechazar pieza) y, fundamentalmente, el registro digital trazable de toda la inspección, que se almacena como evidencia objetiva de la calidad del componente.

Vinculación con al proyecto: En el proyecto de bolsas de aire, la Base de Conocimientos estaría cargada con los planos de ingeniería y las tolerancias críticas. El Resultado no solo es la luz roja/verde en la línea, sino el registro automático en una base de datos que asocia el número de serie de la bolsa con su imagen de inspección y todas sus mediciones, cumpliendo con los requisitos de trazabilidad de normas como IATF 16949.

Propiedades de imagen en el procesamiento digital de imágenes.

2.8.2 Contraste

El contraste describe el grado de diferencia entre las áreas claras y oscuras de una imagen. Esta variación determina qué tan marcados se perciben los límites y las formas dentro de la escena, influyendo directamente en la percepción de profundidad y detalle.

2.8.3 Brillo

El brillo se refiere al nivel general de luminosidad presente en una imagen. Representa la intensidad con la que la luz incide sobre el sensor o el medio de captura, y afecta la claridad con que se visualizan los elementos.

2.8.4 Ruido

El ruido es una interferencia visual que aparece como variaciones aleatorias de color o intensidad. Se manifiesta como un granulado que altera la uniformidad de la imagen y puede dificultar la apreciación precisa de los detalles.

2.8.5 Enfoque

El enfoque corresponde al grado de nitidez con el que se representan los objetos. Una imagen bien enfocada muestra contornos definidos y detalles perceptibles, mientras que la falta de enfoque produce una apariencia borrosa.

2.8.6 Patrones

Los patrones son estructuras repetitivas que se identifican en la distribución de formas, texturas o intensidades dentro de la imagen. Su análisis permite reconocer regularidades y distinguir elementos dentro de una escena.

2.8.7 Tono de imagen

El tono de la imagen abarca la sensación visual general que produce, influenciada por la iluminación, la distribución de sombras y la composición cromática. Este concepto ayuda a caracterizar la atmósfera o estilo que transmite la captura.

2.8.8 Filtros

Los filtros son procedimientos utilizados para modificar o resaltar características específicas de una imagen. Pueden actuar suavizando, acentuando bordes, reduciendo ruido o alterando la apariencia de los colores. Su función principal es mejorar la calidad visual o facilitar el análisis de la información contenida en la imagen. Dependiendo de su propósito, estos filtros pueden ser espaciales, cuando operan directamente sobre los píxeles, o frecuenciales, cuando transforman la imagen a otros dominios para realizar ajustes más complejos.

2.8.8.1 Filtro Gaussiano

El filtro Gaussiano es un método de suavizado que utiliza una convolución basada en una distribución normal para reducir el ruido de alta frecuencia presente en una

imagen. Su funcionamiento atenúa variaciones bruscas en la intensidad de los píxeles, produciendo una imagen más homogénea sin introducir artefactos significativos. Es ampliamente utilizado en etapas de preprocesamiento debido a su capacidad para mejorar la calidad general antes de aplicar algoritmos más complejos.

2.8.8.2 Filtro de Mediana

El filtro de mediana es una técnica no lineal empleada para eliminar ruido impulsivo o de tipo “sal y pimienta”. El proceso consiste en reemplazar el valor de cada píxel por la mediana de los valores dentro de una ventana de vecindad definida. A diferencia de los filtros lineales, este método preserva de forma más eficiente los bordes y contornos importantes de la imagen, lo que lo convierte en una herramienta clave en aplicaciones donde se requiere conservar la geometría estructural.

2.8.8.3 Filtro Bilateral

El filtro bilateral es un método de suavizado que combina información espacial y radiométrica para reducir el ruido preservando los bordes. Su operación toma en cuenta la distancia entre los píxeles y la similitud en valores de intensidad, evitando el desenfoque excesivo en zonas con cambios abruptos. Esta característica lo hace especialmente útil en tareas donde se necesita limpiar la imagen sin perder detalles críticos en límites o transiciones.

2.8.9 Intensidad lumínica

La intensidad lumínica se refiere a la cantidad de luz que incide sobre una superficie o que es captada por un sensor. En el ámbito de las imágenes, este parámetro determina qué tan iluminados aparecen los elementos dentro de la escena. Una variación en la intensidad puede modificar la claridad, el contraste y la percepción del volumen de los objetos. Comprender este concepto es fundamental, ya que un exceso o falta de luz influye directamente en la fidelidad y precisión con la que se representan los detalles.

2.9 Desarrollo de las técnicas de inteligencia artificial en el procesamiento digital de imágenes

A continuación, se presentan las técnicas de inteligencia artificial más usadas en el procesamiento digital de imágenes:

2.9.1 Sistemas difusos

Los sistemas difusos han tenido una gran aplicación en la ingeniería, principalmente en las áreas de control y procesamiento digital de imágenes desde que se presentó la teoría de conjuntos difusos en 1965 cuando Zadeh presentó la teoría, ([Ngan 2017](#)). Se argumenta que los conjuntos difusos se han usado en el trabajo con imágenes ya que no limitan numéricamente el desarrollo; esto es útil cuando se trabaja con imágenes debido a que sus características no se pueden delimitar de una forma exacta.

Los conjuntos difusos se definen mediante una función de membresía que otorga a cada elemento un valor entre cero y uno, reflejando su nivel de adhesión al conjunto. Dicha función puede presentar distintas configuraciones —triangular, trapezoidal o gaussiana— en función del contexto de uso. Gracias a su adaptabilidad, los conjuntos difusos logran representar sistemas complejos y emular el razonamiento humano con mayor eficacia que los enfoques binarios convencionales. Asimismo, estos conjuntos admiten operaciones como unión, intersección y complemento, lo que amplía su aplicabilidad en tareas de análisis de datos y apoyo a la toma de decisiones.

Los conjuntos difusos ofrecen múltiples aplicaciones en áreas como la inteligencia artificial, los sistemas automatizados de control y el procesamiento de datos. En el ámbito de la inteligencia artificial, permiten trabajar con información incierta o ambigua, facilitando que los sistemas computacionales tomen decisiones cercanas al razonamiento humano. En control automático, reguladores basados en lógica difusa gestionan procesos complejos, como la estabilización térmica en equipos de climatización. También resultan útiles en el análisis de datos, donde ayudan a identificar grupos con rasgos semejantes, incluso cuando los límites entre categorías no son rígidos.

Los sistemas difusos ofrecen un enfoque flexible para el tratamiento de imágenes, especialmente cuando se trabaja con límites poco definidos o información visual ambigua. A diferencia de los métodos tradicionales que suelen depender de clasificaciones rígidas, esta técnica maneja gradaciones progresivas entre categorías, lo que se asemeja más a la percepción visual humana.

Una aplicación concreta se observa en la mejora de contraste. Aquí, los tonos de la imagen se reinterpretan mediante funciones de transición suave, redistribuyendo las intensidades para resaltar detalles sin introducir discontinuidades abruptas. Este procedimiento resulta particularmente útil en imágenes médicas o astronómicas, donde la información relevante suele presentarse en rangos tonales reducidos.

En la segmentación de imágenes, los métodos difusos permiten que un píxel pertenezca simultáneamente a varias regiones con distintos grados de membresía. Esta capacidad resulta valiosa cuando se analizan texturas heterogéneas o transiciones graduales entre objetos, situaciones donde las técnicas de umbralización convencionales muestran limitaciones.

La detección de bordes también se beneficia de este enfoque. En lugar de identificar contornos como cambios bruscos de intensidad, se modelan como zonas de transición donde la "borrosidad" del borde puede cuantificarse. Esto permite conservar información sobre la fuerza y orientación de los límites entre regiones.

Para el filtrado de ruido, se desarrollan reglas adaptativas que consideran el contexto local de cada píxel. De esta manera, se puede suprimir ruido en áreas

homogéneas mientras se preservan detalles finos en zonas con alta actividad textual, logrando un equilibrio entre suavizado y conservación de información.

La versatilidad de estos métodos los hace adecuados para integrar múltiples criterios en el procesamiento, combinando por ejemplo información espacial, espectral y contextual en una estructura de decisión única. Esta característica explica su empleo en aplicaciones que van desde el análisis de imágenes de satélite hasta el procesamiento de fotografías digitales.

2.9.2 Redes neuronales artificiales

Las redes neuronales artificiales son arquitecturas computacionales inspiradas en la organización de las redes neuronales biológicas. Estas estructuras están formadas por unidades interconectadas que procesan información mediante capas sucesivas donde cada capa transforma los datos recibidos de la anterior.

El aprendizaje en estas redes se realiza mediante un proceso de ajuste progresivo donde los pesos de las conexiones se modifican según los resultados obtenidos. Este mecanismo permite a la red adaptarse y mejorar su capacidad para resolver tareas específicas sin necesidad de una programación explícita.

Una característica fundamental de las redes neuronales es su habilidad para identificar patrones complejos y relaciones no lineales en los datos. Esta capacidad las hace especialmente útiles en situaciones donde las reglas de decisión son difíciles de definir con métodos convencionales.

Entre sus aplicaciones más relevantes se encuentran el reconocimiento de imágenes y voz, los sistemas de recomendación, el diagnóstico médico y el control autónomo. Su flexibilidad y potencia las han convertido en una herramienta esencial para el procesamiento inteligente de información en múltiples dominios técnicos y científicos.

2.9.3 Red neuronal multicapa

Una red neuronal multicapa representa una evolución significativa respecto a los modelos neuronales básicos. Esta estructura se compone de múltiples niveles de procesamiento interconectados, organizados de manera jerárquica. La arquitectura típica incluye una capa inicial receptora, varias capas intermedias y una capa final generadora de respuestas. Cada nivel recibe información del anterior, realiza transformaciones y transmite resultados al siguiente nivel.

La verdadera potencia de estas redes reside en su capacidad para aprender representaciones progresivamente más abstractas. Las primeras capas suelen capturar características básicas, mientras que las capas profundas integran estas primitivas en estructuras complejas. Este comportamiento emerge naturalmente durante el proceso de entrenamiento, donde la red ajusta automáticamente miles de parámetros internos.

El entrenamiento emplea un método de optimización iterativa que calcula ajustes en los parámetros según el error cometido. Este proceso se realiza en dos fases recurrentes: primero, la información fluye hacia adelante a través de todas las capas; posteriormente, las señales de error se propagan en dirección inversa, permitiendo modificar los pesos de conexión. La repetición de este ciclo permite a la red refinar gradualmente su funcionamiento interno.

En el dominio del análisis de imágenes, estas redes han demostrado capacidades excepcionales. Su arquitectura multicapa resulta particularmente adecuada para la extracción de características visuales jerárquicas. Las unidades iniciales responden a patrones elementales como bordes y texturas básicas, mientras que capas más profundas detectan formas complejas y objetos completos.

Una ventaja distintiva de este enfoque radica en su capacidad para aprender directamente desde los datos crudos, eliminando la necesidad de diseñar manualmente extractores de características. La red descubre por sí misma qué atributos visuales son relevantes para la tarea específica, adaptándose a las particularidades de cada dominio de aplicación.

Las implementaciones contemporáneas para procesamiento visual suelen organizarse en bloques especializados. Cada bloque procesa la información a diferentes escalas espaciales y niveles de abstracción. Esta organización permite capturar tanto detalles finos como contextos globales, combinando información local y semántica en la toma de decisiones.

La versatilidad de este paradigma ha permitido abordar problemas tradicionalmente complejos como la segmentación semántica, donde cada píxel se clasifica según su categoría objetual. Igualmente relevante resulta su aplicación en detección y reconocimiento de elementos visuales, superando en muchos casos el rendimiento de métodos convencionales.

La capacidad de estas arquitecturas para manejar la variabilidad natural en apariencia visual, iluminación y condiciones de captura las ha posicionado como referencia en aplicaciones que requieren robustez y precisión. Desde sistemas médicos hasta interfaces automotrices, su influencia continúa expandiéndose hacia nuevos dominios tecnológicos.

2.9.4 Red neuronal convolucional

Las redes neuronales convolucionales representan una especialización dentro del aprendizaje automático diseñada específicamente para procesar información con estructura grid, como las imágenes. Su arquitectura se caracteriza por emplear operaciones de convolución que preservan las relaciones espaciales entre los píxeles, a diferencia de las redes fully connected que tratan cada entrada de forma independiente.

La estructura fundamental incorpora tres tipos principales de capas: las capas convolucionales aplican filtros deslizantes que detectan patrones locales mediante el producto punto entre el kernel y regiones de la imagen. Estos filtros funcionan como detectores de características elementales - bordes, texturas o formas simples - que se combinan progresivamente en capas posteriores. La clave reside en que los parámetros se comparten espacialmente, reduciendo significativamente la cantidad de pesos entrenables.

Las capas de pooling reducen dimensionalidad mediante operaciones de submuestreo, comúnmente maximizando valores en ventanas deslizantes. Este proceso proporciona invariancia a pequeñas translaciones y distorsiones, mientras mantiene las características más relevantes. Las capas completamente conectadas finales integran las características extraídas para generar clasificaciones o predicciones.

En el procesamiento de imágenes, estas redes ejecutan una jerarquía de transformaciones donde las primeras capas capturan patrones de bajo nivel como orientaciones y colores. Las capas intermedias sintetizan estos elementos en componentes más complejos - ojos, narices o ventanas - mientras las capas profundas ensamblan configuraciones completas de objetos. Esta abstracción progresiva permite reconocer patrones visuales independientemente de su posición, escala o iluminación.

Las aplicaciones prácticas abarcan desde sistemas de reconocimiento facial hasta diagnóstico médico por imagen. En radiología, aprenden a identificar patrones sutiles asociados con patologías específicas. En automoción, permiten la detección de peatones y señales de tráfico. En agricultura, analizan cultivos mediante imágenes multiespectrales. La capacidad de aprender representaciones directamente desde los datos las ha convertido en herramienta fundamental para extraer significado de información visual compleja.

2.9.5 Inteligencia de enjambre

La inteligencia de enjambre se refiere a los sistemas computacionales descentralizados que imitan el comportamiento colectivo de colonias biológicas como hormigas, abejas o bandadas de pájaros. Estos sistemas se fundamentan en el principio de que agentes simples, siguiendo reglas básicas y interactuando localmente, pueden generar comportamientos globales complejos y adaptativos (Bonabeau, Dorigo & Theraulaz, 1999).

La esencia de estos algoritmos reside en la cooperación entre múltiples agentes que exploran simultáneamente el espacio de soluciones. Cada agente representa una solución potencial y ajusta su posición según tres componentes clave: su experiencia individual, el conocimiento de agentes vecinos y la trayectoria histórica del grupo completo. Este equilibrio entre exploración y explotación permite al

sistema escapar de óptimos locales y converger progresivamente hacia soluciones robustas.

En el ámbito del análisis de imágenes, estas técnicas han demostrado especial utilidad para problemas de optimización compleja. Un ejemplo significativo se encuentra en la segmentación de imágenes médicas, donde múltiples agentes colaboran para identificar boundaries entre tejidos con gradaciones sutiles. Los algoritmos basados en enjambre logran determinar umbrales de segmentación óptimos mediante la exploración cooperativa del espacio de intensidades de píxeles.

Otro campo de aplicación relevante corresponde a la optimización de parámetros en filtros y transformaciones. La sintonización fina de estos parámetros resulta crucial para balancear ruido y detalle, particularmente en imágenes con condiciones de captura variables. Las estrategias de enjambre superan frecuentemente a métodos de búsqueda tradicionales en eficiencia y precisión.

La selección de características visuales representa una tercera aplicación donde estos métodos destacan. Al evaluar combinatorialmente subconjuntos de descriptores, los enjambres identifican automáticamente las características más discriminativas para tareas específicas de clasificación o reconocimiento de patrones.

La adaptabilidad inherente a estos sistemas los hace particularmente adecuados para imágenes con condiciones no estandarizadas. Su capacidad para manejar espacios de búsqueda de alta dimensionalidad sin requerir gradientes o suposiciones de convexidad la diferencia de técnicas de optimización convencionales. Además, el paralelismo intrínseco en su diseño computacional permite abordar problemas de escala considerable con recursos moderados.

2.10 Algoritmo en ciencias computacionales

Un algoritmo es, en su esencia más pura, una secuencia finita, definida y no ambigua de instrucciones o reglas lógicas diseñadas para resolver un problema específico o realizar una tarea computacional. No es un programa en sí, sino el plan conceptual o la receta que el programa implementa.

Un algoritmo representa una secuencia metódica de instrucciones delimitadas que transforman elementos de entrada en resultados predecibles. Esta serie de pasos organizados constituye el núcleo de los procesos de resolución sistemática de problemas en diversos dominios tecnológicos.

La estructura básica de cualquier algoritmo incorpora tres componentes esenciales: la recepción de datos iniciales, la aplicación sucesiva de operaciones elementales y la generación de productos finales. Cada etapa debe definirse con precisión absoluta, eliminando cualquier ambigüedad en su interpretación o ejecución.

Entre las propiedades fundamentales que caracterizan estos procedimientos destacan su naturaleza determinista, donde idénticas entradas producen invariablemente los mismos efectos. La finitud temporal asegura que las operaciones concluyen tras un número calculable de iteraciones, mientras que la efectividad garantiza que cada instrucción resulta ejecutable mediante recursos computacionales disponibles.

Los algoritmos se materializan a través de diversos paradigmas de diseño, desde construcciones secuenciales elementales hasta arquitecturas recursivas complejas. Su eficiencia se cuantifica mediante relaciones entre los recursos temporales y espaciales consumidos respecto al volumen de información procesado.

La implementación práctica de estos procedimientos trasciende el ámbito puramente computacional, manifestándose en protocolos industriales, flujos de trabajo administrativos y procedimientos de verificación técnica. Su correcta formulación permite automatizar procesos decisionales, optimizar operaciones repetitivas y validar resultados mediante criterios objetivos y reproducibles.

2.10.1 Algoritmo para verificación digital

Un algoritmo de inspección digital constituye un procedimiento computacional estructurado diseñado para evaluar automáticamente características específicas en elementos manufacturados. Este conjunto de reglas operativas transforma datos visuales capturados en dictámenes técnicos sobre la conformidad dimensional y geométrica de componentes industriales.

La arquitectura de estos procedimientos especializados integra secuencias lógicas que emulan el criterio de evaluación humana, pero con mayor consistencia y velocidad de procesamiento. Inicialmente, el mecanismo establece condiciones basales de comparación mediante modelos de referencia digitalizados que encapsulan los parámetros ideales del producto. Posteriormente, ejecuta operaciones de alineación espacial entre la plantilla teórica y la representación digital del artículo físico.

La fase central de contraste aplica funciones matemáticas especializadas para cuantificar discrepancias en contornos, distribuciones espaciales y relaciones geométricas. Estas mediciones se comparan continuamente con umbrales preconfigurados que definen los límites de tolerancia admisibles. El procedimiento culmina con la emisión de veredictos automatizados que clasifican los componentes según su grado de adecuación a las especificaciones técnicas.

La efectividad de estos algoritmos reside en su capacidad para procesar volúmenes extensos de información visual mediante técnicas de análisis multivariable. Incorporan rutinas de compensación que mitigan interferencias ambientales como variaciones lumínicas o artefactos de captura, manteniendo estabilidad metrológica across condiciones operativas variables.

La implementación de estos sistemas algorítmicos permite ejecutar valoraciones objetivas, repetibles y documentadas que sustentan procesos decisionales en entornos de fabricación contemporáneos. Su evolución continua amplía progresivamente las capacidades de detección de anomalías morfológicas complejas que escapan a la percepción visual convencional.

2.10.2 Inteligencia Artificial (IA) para verificación digital asistida.

La inteligencia artificial aplicada a sistemas de verificación digital representa un paradigma tecnológico donde sistemas computacionales dotados de capacidades de aprendizaje automático complementan y potencian los procesos de inspección industrial. Estos mecanismos cognitivos artificiales operan mediante redes neuronales profundas que han internalizado patrones de conformidad a través de exposición extensiva a ejemplos representativos.

La arquitectura funcional de estos sistemas se fundamenta en motores de inferencia pattern-based que ejecutan evaluaciones multiparamétricas sobre representaciones digitales de componentes. A diferencia de los algoritmos convencionales, estas soluciones poseen plasticidad cognitiva que les permite refinar progresivamente sus criterios de evaluación mediante mecanismos de retroalimentación supervisada.

El núcleo operativo de estas plataformas integra capacidades de percepción artificial que transforman atributos visuales en descriptores matemáticos abstractos. Estos vectores característicos alimentan modelos de clasificación no lineal que discriminan entre estados conformes y no conformes con sensibilidad contextual adaptativa. La toma de decisiones incorpora ponderaciones de incertidumbre que cuantifican probabilísticamente los niveles de confianza asociados a cada veredicto.

La implementación práctica de estos asistentes cognitivos permite detectar anomalías morfológicas complejas que trascienden las capacidades de los sistemas basados en reglas explícitas. Su valor diferencial reside en la habilidad para identificar correlaciones sutiles entre variables dimensionales que escapan al análisis humano convencional.

Estos sistemas evolucionan continuamente mediante ciclos de reaprendizaje que incorporan casos limítrofes y escenarios operativos atípicos. Esta capacidad de mejora adaptativa los convierte en herramientas dinámicas que incrementan su precisión diagnóstica con la experiencia acumulada, estableciendo nuevos estándares en confiabilidad metrológica para entornos productivos complejos.

2.10.3 Umbralización en algoritmos de verificación digital

La umbralización constituye una operación elemental en el procesamiento digital de imágenes que segmenta los niveles de intensidad lumínica mediante un valor límite preestablecido. Esta técnica transforma imágenes con escala de grises en representaciones binarias donde cada píxel adopta exclusivamente uno de dos estados posibles: activo o inactivo.

El procedimiento compara sistemáticamente cada elemento de la matriz de intensidades contra un umbral crítico definido. Los píxeles que superan este límite se asignan a la categoría foreground, generalmente representada con valor unitario, mientras que los que no alcanzan dicha intensidad se clasifican como background, codificados con valor nulo. Esta dicotomización facilita la posterior extracción de contornos y el cálculo de parámetros morfológicos.

La determinación del punto de corte óptimo representa el aspecto más crucial del método. Los algoritmos adaptativos calculan este parámetro dinámicamente considerando la distribución histogramática de intensidades dentro de regiones específicas de la imagen. Esta aproximación contextual supera las limitaciones de los umbrales fijos cuando existen variaciones en iluminación o reflectividad superficial.

En contextos de inspección industrial, esta técnica permite aislar defectos superficiales, delimitar características geométricas y resaltar discontinuidades materiales. La efectividad del proceso depende significativamente de la calidad del preprocesamiento aplicado, particularmente de las etapas de normalización contrastiva y filtrado de ruido aleatorio.

2.10.4 Modelo de Inteligencia artificial

Un modelo de inteligencia artificial es una representación matemática y computacional de un patrón o conocimiento, diseñada para realizar una tarea específica, como clasificar, predecir o tomar decisiones, aprendiendo automáticamente a partir de datos, en lugar de seguir instrucciones programadas explícitamente (Ibm, 2025). Constituye el "núcleo cognitivo" de un sistema de IA; es el artefacto que, tras un proceso de entrenamiento, encapsula la capacidad de generalizar y aplicar lo aprendido a información nueva y no vista.

En el contexto de la inspección industrial automatizada, un modelo de IA no es simplemente un programa, sino un sistema dinámico de inferencia. Mientras un algoritmo clásico de visión aplica una serie fija de reglas (p.ej., "si el píxel es más oscuro que X, es un borde"), un modelo aprende cuáles son las reglas discriminativas más efectivas directamente de miles de ejemplos visuales, pudiendo identificar patrones complejos, sutiles y a veces contra-intuitivos que escaparían a una programación manual.

2.10.4.1 Teoría del funcionamiento: arquitectura, entrenamiento y generalización

La teoría detrás de los modelos modernos de IA se sustenta en tres pilares interconectados: arquitectura, proceso de aprendizaje (entrenamiento) y capacidad de generalización.

1. Arquitectura: La Estructura del Aprendizaje
La arquitectura define la organización funcional del modelo, es decir, cómo

transforma la entrada (datos) en una salida (predicción). Se compone de capas interconectadas de unidades de procesamiento (neuronas artificiales) que realizan cálculos secuenciales. Cada capa extrae y combina características de los datos, generando representaciones progresivamente más abstractas.

- **Ejemplo en Visión Artificial:** En una **Red Neuronal Convolutiva (CNN)**, arquitectura predominante para imágenes, las primeras capas aprenden características básicas como bordes y texturas. Las capas intermedias combinan estos bordes para formar contornos y formas simples (como un arco o un rectángulo). Las capas finales integran estas formas para representar objetos complejos (como "una costura correcta" o "una rasgadura en el tejido").
- La configuración de esta arquitectura —número de capas, tipos de operaciones (convoluciones), funciones de activación— es un hiperparámetro crítico que el ingeniero debe definir en base al dominio del problema.

2. Entrenamiento: El Proceso de Ajuste y Optimización
El entrenamiento es el proceso mediante el cual el modelo "aprende" a partir de datos etiquetados (el conjunto de entrenamiento). El núcleo de este proceso es un mecanismo de ajuste iterativo de parámetros.

- **Descripción del Proceso:**
 1. **Propagación hacia adelante (Forward Pass):** Se introduce una imagen de entrada (p.ej., una foto de una bolsa de aire) en la red. Los datos fluyen a través de las capas, transformándose en una predicción final (p.ej., "Defecto: Rasgadura").
 2. **Cálculo del Error (Función de Pérdida):** La predicción del modelo se compara con la etiqueta verdadera (lo que realmente es esa imagen, según un experto humano). La diferencia se cuantifica mediante una función de pérdida (p.ej., "entropía cruzada"), que mide cuán "equivocada" fue la predicción.
 3. **Retropropagación del Error (Backpropagation) y Optimización:** Este error se propaga hacia atrás a través de todas las capas de la red. Un algoritmo de optimización (como el *descenso de gradiente estocástico* - *SGD* o *Adam*) utiliza esta información para calcular cómo deben ajustarse infinitesimalmente cada uno de los millones de parámetros internos del modelo (los "pesos" de las conexiones) para reducir el error en la siguiente iteración.
- Este ciclo se repite miles o millones de veces sobre un vasto conjunto de datos. El modelo va "afinando" sus parámetros internos, ajustando su "comprensión" interna del mundo para minimizar el error global, de manera

análoga a cómo un estudiante mejora corrigiendo sus fallos en exámenes de práctica.

3. Generalización: La verdadera prueba de utilidad

El objetivo último no es que el modelo memorice los ejemplos de entrenamiento (*sobreajuste*), sino que generalice su conocimiento para realizar predicciones precisas sobre datos nunca vistos. Esta es la capacidad crítica para una aplicación industrial.

- Evaluación: Se mide utilizando un conjunto de datos de validación o prueba, separado y no utilizado durante el entrenamiento. Se evalúan métricas como precisión (*accuracy*), *recall* (capacidad de encontrar todos los defectos) y precisión (capacidad de no generar falsas alarmas).
- Factores Clave para una Buena Generalización: Depende de: 1) La calidad y volumen de los datos de entrenamiento (deben ser representativos, diversos y bien etiquetados), 2) La adecuación de la arquitectura al problema (una CNN para imágenes, no una red para series de tiempo), y 3) Las técnicas de regularización aplicadas para prevenir el sobreajuste (como el *dropout* o el *data augmentation*, que crea variaciones artificiales de las imágenes de entrenamiento).

2.10.5 Ecosistema de implementación de IA

El ecosistema de implementación abarca todos los elementos tecnológicos necesarios para operar sistemas inteligentes en entornos reales. Este espacio incluye componentes físicos especializados, entornos de desarrollo, interfaces de conexión y plataformas de despliegue que facilitan el funcionamiento efectivo de estas soluciones.

Los recursos clave comprenden procesadores gráficos para cálculos masivos, sistemas de almacenamiento distribuido para grandes conjuntos de datos y flujos de información continuos para alimentar los modelos. El soporte lógico incorpora librerías matemáticas avanzadas, espacios de prueba experimental y herramientas de seguimiento del comportamiento operativo.

Los entornos productivos establecen protocolos de control que aseguran el rastreo de decisiones, la administración de diferentes versiones del modelo y la evaluación auditada de resultados. Las implementaciones más sofisticadas integran circuitos de realimentación automática que permiten el aprendizaje continuo a partir de nueva información operacional.

La compatibilidad con sistemas existentes y la capacidad de funcionamiento en dispositivos locales representan retos tecnológicos significativos. Los ecosistemas actuales avanzan hacia configuraciones mixtas que combinan procesamiento en la nube con capacidad de inferencia descentralizada, manteniendo coherencia en las decisiones across diferentes puntos de operación.

2.11 Lenguajes de programación

Los lenguajes para programar son métodos de comunicación creados para que las personas puedan dar órdenes detalladas a las computadoras. Funcionan como un diccionario técnico con reglas gramaticales estrictas que hacen posible describir procesos computacionales sin lugar a malas interpretaciones.

Estos sistemas se basan en normas sintácticas que determinan cómo se deben escribir las instrucciones usando elementos básicos conocidos como palabras reservadas y operadores. Cada comando correctamente escrito sigue fórmulas estructurales que el equipo puede descifrar de manera automática. El significado práctico de cada instrucción define las acciones concretas que la máquina realizará sobre la información.

Para que funcionen, se necesieren programas traductores especiales -compiladores o intérpretes- que convierten el texto escrito por programadores en comandos ejecutables. Los compiladores traducen completamente el programa antes de su uso, mientras que los intérpretes van traduciendo línea por línea durante la ejecución.

La historia de estos lenguajes muestra diferentes escuelas de pensamiento: los lenguajes imperativos se concentran en describir pasos sucesivos, los funcionales se basan en fórmulas matemáticas, y los orientados a objetos se enfocan en la interacción entre componentes. Cada estilo representa una manera particular de organizar y resolver desafíos computacionales.

La utilidad de un lenguaje se juzga por su habilidad para expresar soluciones claras a problemas intrincados, la sencillez para corregir y mejorar los programas, y qué tan apropiado resulta para un campo de aplicación concreto. Las herramientas de programación actuales incluyen métodos para simplificar tareas complejas sin perder la capacidad de gestionar los recursos del sistema.

2.11.1 Python.

Python es un lenguaje de programación interpretado, de alto nivel y multiparadigma, caracterizado fundamentalmente por una sintaxis clara, legible y concisa que prioriza la facilidad de uso y la productividad del desarrollador. Su modelo de ejecución se basa en un intérprete que procesa y ejecuta el código fuente directamente, sin necesidad de una etapa previa de compilación a lenguaje máquina, lo que agiliza el ciclo de desarrollo y depuración. El lenguaje incorpora de forma nativa un sistema de gestión automática de memoria mediante recolección de basura (*garbage collection*), liberando al programador de la administración manual de este recurso. Como lenguaje multiparadigma, soporta de manera efectiva la programación orientada a objetos, imperativa y, en menor medida, funcional. Una de sus fortalezas distintivas reside en su extensa biblioteca estándar, que ofrece módulos y funciones para una amplia gama de tareas, desde operaciones del sistema hasta protocolos de internet, y en el vasto ecosistema de

paquetes de terceros disponibles a través de gestores como pip, que amplían sus capacidades a dominios especializados como el cálculo científico, el análisis de datos, la inteligencia artificial y el desarrollo web. Esta combinación de simplicidad en la sintaxis, poder expresivo y una colección comprehensiva de librerías lo posiciona como una herramienta versátil y ampliamente adoptada para la creación de aplicaciones en diversos contextos computacionales.

2.12 Entorno de programación.

Un entorno de programación funciona como un taller completo donde profesionales construyen, prueban y mejoran aplicaciones informáticas. Estas plataformas juntan todas las herramientas necesarias para convertir conceptos en programas funcionales, actuando como laboratorios virtuales para la innovación tecnológica.

Estos espacios unen diferentes componentes que trabajan en conjunto. Un editor especializado sirve como herramienta principal, proporcionando ayuda inmediata mediante resaltado de sintaxis, sugerencias automáticas y detección de errores. Mecanismos de automatización se encargan de procesos repetitivos como convertir código, empaquetar elementos y preparar distribuciones.

Los sistemas para depuración permiten observar cómo se comportan los programas durante su funcionamiento, haciendo más sencillo encontrar y solucionar fallos. Los gestores de control de cambios preservan un registro histórico de todas las modificaciones, permitiendo recuperar versiones anteriores o probar diferentes enfoques de desarrollo al mismo tiempo.

La conexión con recursos externos y colecciones de código especializado amplía las posibilidades del entorno mediante componentes ya probados. Consolas integradas, exploradores de estructura y herramientas de análisis completan un ecosistema donde cada elemento colabora para hacer más eficiente el proceso de creación.

Estos entornos mejoran continuamente al incluir asistencia inteligente que propone soluciones, identifica posibles problemas y genera automáticamente código repetitivo. La adaptación mediante complementos y ajustes personalizados permite configurar el espacio de trabajo según los requerimientos específicos de cada proyecto y cada desarrollador, creando experiencias de programación particulares y altamente productivas.

2.12.1 Visual Estudio Code

Visual Studio Code (VS Code) es un editor de código fuente de alto rendimiento y multiplataforma, desarrollado bajo una licencia de código abierto, que se caracteriza por su arquitectura modular y altamente extensible. Su diseño prioriza la eficiencia y la personalización, permitiendo que a partir de un núcleo liviano se incorporen capacidades avanzadas propias de un entorno de desarrollo integrado (IDE) completo mediante un sistema integral de extensiones. Su funcionalidad nativa

incluye resaltado de sintaxis inteligente, autocompletado contextual (IntelliSense) con análisis en tiempo real, y un potente depurador integrado que facilita la ejecución paso a paso y la inspección de variables. El editor posee una integración nativa con sistemas de control de versiones como Git y ofrece una terminal integrada, lo que unifica las tareas de escritura, gestión y ejecución de código en un único entorno. La verdadera potencia de la herramienta radica en su vasto mercado de extensiones, que permite a los desarrolladores adaptar y especializar el entorno para prácticamente cualquier lenguaje de programación, marco de trabajo o flujo de trabajo tecnológico, transformándolo de un editor genérico en un espacio de trabajo altamente especializado y optimizado para la productividad en proyectos de diversa escala y complejidad, sin imponer una estructura o metodología predeterminedada.

2.13 Cámara de visión industrial

Equipo especializado en capturar imágenes dentro de entornos de fabricación para su análisis automatizado. Estos dispositivos se construyen para funcionar con precisión en condiciones industriales difíciles, manteniendo su rendimiento ante vibraciones, cambios de luz o exposición a materiales particulados.

Estos sistemas combinan componentes ópticos de alta definición con sensores sensibles y conexiones adaptadas para entornos de producción. Operan tomando múltiples fotografías sucesivas que envían a programas computacionales para su interpretación inmediata.

Su uso abarca actividades como verificación de medidas, localización de fallas en superficies, lectura de marcas grabadas y orientación de brazos robóticos. Su incorporación en líneas de producción contribuye a agilizar operaciones y minimizar errores en labores que demandan mucha atención o se repiten constantemente.

2.13.1 Lente de cámara.

Componente óptico que dirige y regula la entrada de luz hacia el sensor. Está compuesto por múltiples elementos de vidrio o cristal que modifican la trayectoria de los rayos luminosos. Su función principal es formar una imagen nítida y definida sobre el plano del sensor. Cuenta con mecanismos ajustables para controlar propiedades como la apertura, la distancia focal y el enfoque.

2.13.2 Campo focal

Zona del espacio donde los objetos se reproducen con claridad aceptable en el plano de la imagen. Define los límites de captura en términos de profundidad y extensión lateral. Un campo amplio abarca mayor área pero reduce el tamaño aparente de los elementos, mientras que uno reducido acerca los detalles pero limita la cobertura visual.

2.13.3 Sensores de proximidad

Dispositivos que detectan la presencia de objetos sin contacto físico mediante principios como ultrasonido, infrarrojos o campos electromagnéticos. Generan señales de salida cuando un elemento se encuentra dentro de un rango preestablecido, activando funciones como el encendido de luces o el inicio de procesos automatizados.

2.13.4 Sensores de enfoque

Sistemas que determinan automáticamente la distancia óptima entre el lente y el sujeto para obtener máxima nitidez. Utilizan métodos de contraste, medición por fase o emisión de señales auxiliares para calcular la posición ideal del grupo de lentes internos, garantizando imágenes claras en diferentes condiciones de captura.

2.13.5 Resolución

Se refiere al nivel de detalle que un sistema óptico o digital puede capturar o mostrar. En visión artificial, determina la capacidad para distinguir elementos pequeños en una escena. Se expresa comúnmente en píxeles (para sistemas digitales) o en pares de líneas por milímetro (para sistemas ópticos). Una mayor resolución permite identificar características más finas, pero incrementa los requisitos de almacenamiento y procesamiento.

2.13.6 Píxeles

Unidades mínimas que conforman una imagen digital. Cada píxel representa un punto específico en la matriz de captura, almacenando información de color e intensidad lumínica. La disposición ordenada de estos elementos en filas y columnas genera la representación visual completa. La densidad de píxeles por unidad de área influye directamente en la claridad y el detalle de la imagen resultante.

2.13.7 Campo de visión (FOV)

El campo de visión (FOV) es el área total del espacio observable que una cámara, sensor óptico o sistema de visión puede captar en una sola toma. Se expresa normalmente en grados ($^{\circ}$) o en dimensiones físicas (mm o metros) cuando se relaciona con la escena real.

El FOV depende principalmente de tres factores:

1. Longitud focal del lente (f)
2. Tamaño físico del sensor de la cámara (ancho y alto en mm)
3. Distancia entre la cámara y el objeto (D)

2.13.8 Angulo de visión.

El ángulo de visión es el rango angular que una cámara, lente o sistema óptico puede abarcar al capturar una escena. Representa la amplitud del área visible desde el punto de observación y se expresa en grados (°).

Este ángulo depende principalmente de la longitud focal del lente y del tamaño del sensor; mientras mayor sea el ángulo de visión, más amplia será la porción del entorno que puede capturarse en una sola imagen.

2.13.9 Tipos de cámaras.

Cámaras matriciales:

También se las cataloga como cámaras “de área”. Este tipo de dispositivo elabora una imagen gracias a un sensor que cubre un área o matriz de píxeles determinada. Aunque tradicionalmente la relación de aspecto del tipo de imagen que crean las cámaras matriciales era de 4:3 (como herencia de las cámaras Vidicon y del formato que se utilizaba en cine y televisión) en la actualidad, estos dispositivos se han adaptado a los nuevos formatos de alta definición como el 16:9.

Cámaras lineales:

Estos instrumentos construyen la imagen línea a línea a través de un sensor lineal, que puede tener entre 512 y 16.000 píxeles. Cuantos más píxeles tenga el sensor, mayor cantidad de luz recogerá. A mayor cantidad de luz captada, mejor será la imagen que se cree. Para que esto suceda, pueden darse dos escenarios: que la cámara lineal se desplace con respecto al objeto o que sea el objeto el que se mueva con respecto a la cámara. Esta acción se llama barrido.

Cámaras de alta velocidad:

Debido a la automatización de los procesos de producción, cada vez se hacen productos a mayor velocidad y en menos tiempo. Como consecuencia de esto, las cámaras digitales convencionales no son capaces de capturar la imagen del proceso a una velocidad tan alta. Por el contrario, las cámaras de alta velocidad pueden capturar desde 100 hasta 1.000.000 de fotogramas por segundo y, además, reproducir la imagen en cámara lenta para un mejor análisis posterior.

Sectores como la industria automovilística, la investigación, la ciencia o el entretenimiento utilizan cada vez más este tipo de tecnología, de la que podemos destacar las técnicas de binning, doble velocidad, barrido parcial o sensor multitap.

Cámaras 3D:

Las fotografías en 3D cada vez son más requeridas en el sector industrial debido al tratamiento exquisito de la imagen. Algunas de estas cámaras pueden realizar hasta 30.000 perfiles por segundo. Las cámaras 3D intentan producir la misma imagen en tres dimensiones que nuestro cerebro crea a partir de la visión binocular.

Algunas incluso ofrecen múltiples funcionalidades como forma e imagen 3D y nivel de grises al mismo tiempo y en la misma fotografía.

Cámaras infrarrojas:

Estas cámaras trabajan más allá del espectro de luz visible, que es el espectro electromagnético que el ojo humano es capaz de percibir. Se encuentra entre los 380 y los 750 nanómetros. Cuando las ondas superan los 750 nanómetros, se considera luz infrarroja y es invisible al ojo humano. Asimismo, el espectro de la luz infrarroja mide entre 900 y 14.000 nanómetros y se divide en varias bandas. Las cámaras infrarrojas son capaces de detectar las ondas que miden entre los 900 y los 5.000 nanómetros gracias a los materiales de los que está fabricado el sensor.

Existen dos tipos de cámara infrarroja, las que cubren la banda SWIR (Short-Wavelength InfraRed) y las que cubren la banda MWIR (Mid-Wavelength InfraRed)

Cámaras térmicas:

Aunque pertenece a la familia de las cámaras infrarrojas, las cámaras térmicas detectan la banda de luz infrarroja que mide entre 8.000 y 14.000 nanómetros, científicamente llamada LWIR (Long-Wavelength InfraRed). Se distinguen de las anteriores en que estas captan también la radiación de la banda.

odos los seres y objetos emitimos una radiación infrarroja debido al calor corporal por lo que estas cámaras pueden detectarnos gracias a la temperatura de nuestros cuerpos. Además, pueden medir la temperatura corporal si son debidamente calibradas y preparadas para ello. La demanda de las cámaras térmicas ha aumentado a lo largo de los últimos años y sobre todo en 2020, después de la aparición de la CO-VID 19.

Cámaras panorámicas o de visión 360:

Las cámaras de 360 grados construyen una visión de conjunto del lugar donde han sido colocadas. No sólo podemos tener una imagen panorámica de calidad del lugar, sino que además, pueden verse las pequeñas partes que la componen sin perder la calidad de la imagen. Empresas como Google utilizan frecuentemente estas cámaras para las distintas aplicaciones que ofrecen. Un ejemplo de ello es Google Maps.

Cámaras UAV:

Puede que las siglas UAV (Unmanned Aerial Vehicle) o las VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado) no te suenen pero, si hablamos de un dron, entonces los UAV y las cámaras que les son instaladas nos resulten más familiares. Estos dispositivos pueden incorporar cámaras de mayor o menor tamaño y calidad que ayudan a las empresas y organizaciones a obtener una visión mucho más amplia que otro tipo de cámaras industriales. No es extraño que cada vez más gobiernos de distintos

países recurran a las cámaras UAV como parte de su sistema de seguridad y defensa.

2.13.10 Tipos de conexión de cámaras a computadoras.

1. USB 2.0

Es una interfaz común en computadoras, pero con una velocidad limitada de hasta 480 Mbps. Si bien es funcional para cámaras de baja resolución o baja velocidad de captura, no es adecuada para aplicaciones que requieren imágenes en alta definición o procesamiento en tiempo real, ya que puede convertirse en un cuello de botella.

2. USB 3.0 / 3.1

Ofrece velocidades de transferencia de hasta **5 Gbps (USB 3.0)** y **10 Gbps (USB 3.1)**, lo que permite manejar cámaras de alta resolución con buena fluidez. Es compatible con la mayoría de PCs modernas y permite una integración sencilla en entornos de desarrollo personalizados. Además, muchas cámaras industriales de nivel comercial están optimizadas para esta interfaz, y existen múltiples SDKs y soporte para su uso en lenguajes como Python o C++ mediante OpenCV o bibliotecas del fabricante.

3. GigE (Gigabit Ethernet)

Utiliza cableado de red (RJ-45) y permite conexiones estables de larga distancia (hasta 100 metros), con velocidades de hasta 1 Gbps. Es muy útil en aplicaciones industriales distribuidas, pero requiere configuración de red, direccionamiento IP y, en muchos casos, hardware adicional (como switches industriales). Su instalación puede ser más compleja que USB.

4. Camera Link

Es una interfaz de alta velocidad diseñada para aplicaciones de visión de alto rendimiento. Su principal ventaja es la baja latencia y alta fidelidad, pero es costosa y requiere tarjetas frame grabber específicas, por lo que no es recomendable para prototipos o sistemas compactos de bajo presupuesto.

5. MIPI CSI (Camera Serial Interface)

Usada principalmente en microcontroladores o sistemas embebidos como Raspberry Pi o NVIDIA Jetson, permite conexión directa al procesador. Ofrece buena velocidad y bajo consumo, pero es menos flexible si se utiliza una computadora convencional como sistema principal.

2.14 Cableado y conexiones.

Se refiere al conjunto de conductores físicos y elementos de unión que permiten la transmisión de señales eléctricas o de datos entre dispositivos. Incluye cables, conectores, terminales y accesorios que garantizan la intercomunicación estable y segura entre componentes de un sistema.

Aspectos clave:

- **Transmisión de energía o información:** conducen electricidad, señales analógicas, digitales o de red.
- **Tipos según uso:** cables de potencia (alta corriente), cables de señal (baja corriente, sensibles a interferencias) o cables de datos (red, fibra óptica).
- **Conectores:** facilitan uniones desmontables y evitan conexiones incorrectas mediante formas o codificación.
- **Características técnicas:** materiales aislantes, blindaje contra ruido, calibre del conductor y longitud máxima permitida.
- **Normas y estándares:** cumplen especificaciones de seguridad, compatibilidad y rendimiento según el entorno (industrial, residencial, etc.).

Su correcta implementación es crucial para el funcionamiento confiable de sistemas eléctricos, electrónicos y de automatización.

DESARROLLO DEL PROYECTO

CAPITULO 3

3.1 Análisis del proceso actual de inspección manual

Para describir el procedimiento actual, se elaboró el diagrama de flujo de la Figura 6, que resume las etapas involucradas en la inspección de bolsas de aire. Este diagrama se construyó con base en las órdenes de trabajo de la empresa, las cuales se detallan en el ANEXO 1: "Procedimiento de inspección Media Soluciones". En el contexto de este proyecto, la fase prioritaria para mejorar es la denominada "Aspectos de revisión", señalada en el diagrama, ya que en esta etapa se realiza la evaluación integral de los elementos críticos de inspección.

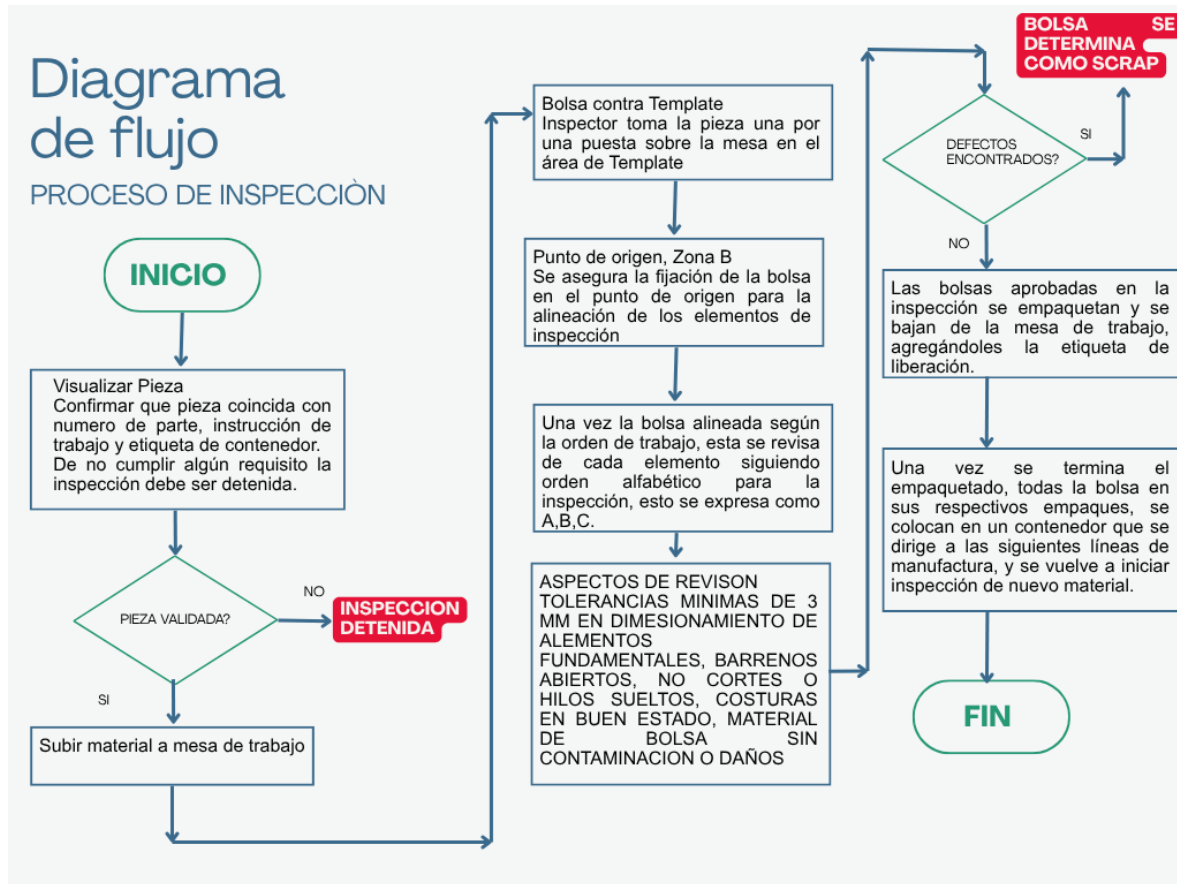


Figura 6 Proceso de inspección.

Para el desarrollo del análisis, se ha documentado dentro del área de trabajo en el cual se han detectado las siguientes observaciones y recolectado los siguientes datos:

3.1.1 Material a inspeccionar.

Dentro del área de trabajo la inspección comienza una vez llega un contenedor de bolsas a inspeccionar, según el modelo de la bolsa la cantidad de bolsas llega a variar esto por cuestiones de logística y de embarques de la misma empresa, en base a un conteo de piezas realizado se estima que la cantidad de bolsas que se inspeccionan por contenedor que llega al área es de un promedio de 262.5 bolsas.

3.1.2 Sobre carga y fatiga visual.

Cada inspección requiere dos inspectores debido al gran número de puntos a verificar, el tamaño de las bolsas llega tener una longitud que va desde 1.20 metros a 2.15 metros (según el modelo) y a la complejidad de los criterios. En promedio, se revisan 262.5 bolsas en base al punto anterior, lo que genera fatiga visual y aumenta la probabilidad de errores humanos.

3.1.3 Limitaciones de la evaluación manual.

El proceso depende exclusivamente de la percepción visual de los operarios, lo que provoca inconsistencias en los criterios de aceptación o rechazo entre diferentes evaluadores. Los defectos no detectados generan inconvenientes en las líneas de ensamblaje, afectando la eficiencia general de la producción.

La inspección debe ejecutarse con rapidez para evitar retrasos en la cadena productiva. Se han documentado situaciones en las que, debido a la alta carga de trabajo, bolsas defectuosas han sido aprobadas incorrectamente.

3.1.4 Indicadores de tiempos y errores.

Con el fin de dimensionar el impacto del proceso manual y fundamentar la necesidad de una solución automatizada, se recabaron datos en el área de calidad. A continuación, se exponen los principales hallazgos:

- **Tiempo promedio de inspección por bolsa:** Cada operario tarda aproximadamente 19.5 segundos en revisar una unidad. Considerando que un contenedor transporta entre 30 y 40 paquetes, y cada paquete contiene de 5 a 10 bolsas, se estima un promedio de 262.5 bolsas por contenedor. Esto implica un tiempo total de inspección de aproximadamente 85.3 minutos por contenedor en condiciones ideales, equivalentes a 1 hora, 25 minutos y 19 segundos. No obstante, este cálculo no considera las fluctuaciones en el volumen real ni el desgaste progresivo del operario.
- **Variabilidad entre evaluadores:** Se observaron diferencias significativas en los tiempos de revisión, que oscilan entre 19.50 y 24.12 segundos por bolsa. Además, la eficacia en la detección de defectos varía entre el 60% y el 82%, lo que refleja una alta dependencia de la experiencia individual. Cabe destacar que los operarios cumplen turnos de 12 horas, lo que incrementa la fatiga y reduce gradualmente su rendimiento.
- **Detección de defectos:** En un análisis de 100 muestras, se identificó que el 35.6% de las bolsas defectuosas no son detectadas durante la inspección manual. Entre los defectos más frecuentemente omitidos se incluyen: rotación incorrecta, barrenos fuera de tolerancia, segmentos faltantes, cortes adicionales, hilos sueltos y contaminación.
- **Sincronización con la producción:** Dado que la inspección se realiza de manera simultánea a la línea de producción, los operarios disponen de un

tiempo limitado para evaluar cada pieza. La línea avanza a un ritmo de un contenedor por hora, por lo que cualquier demora en la revisión puede generar cuellos de botella y afectar la entrega de materiales a las siguientes etapas.

3.2 Análisis de los defectos de fabricación y errores detectados en la documentación del proceso.

Para este punto se expondrán los defectos de fabricación encontrados en las bolsas durante las inspecciones y los errores que suelen cometer los inspectores en ocasiones al realizar el proceso, se exponen en este apartado con la finalidad de mostrar que todos los mencionados a continuación serán los que se buscaran eliminar con la implementación del proyecto.

3.2.1 Defectos de fabricación identificados:

3.2.1.1 Rotación

Descripción: Las líneas o línea de ensamblaje se encuentran fuera de la tolerancia especificada (área roja), mostrando un desfase en uno o ambos extremos de la bolsa.

Causa: Falta de precisión en el proceso anterior a la inspección.

Impacto: En la etapa de costura, la máquina encargada de seguir estas líneas puede realizar una costura incorrecta, afectando la zona inflable o el espacio para procedimientos adicionales de manufactura. Figura 7, rotación.



Figura 7 Rotación

3.2.1.2 Perfil de corte a menos de 3 mm del esqueleto

Descripción: La distancia entre el corte de la bolsa y el esqueleto (límite de la zona inflable) es menor a 3 mm.

Causa: Mala precisión en el procedimiento de corte de la bolsa o en la aplicación del silicón en el esqueleto.

Impacto: Una distancia menor a 3 mm puede provocar la apertura de la bolsa en esa área durante la activación del airbag, impidiendo que cumpla su función de seguridad. Figura 8, defecto menos de 3mm.

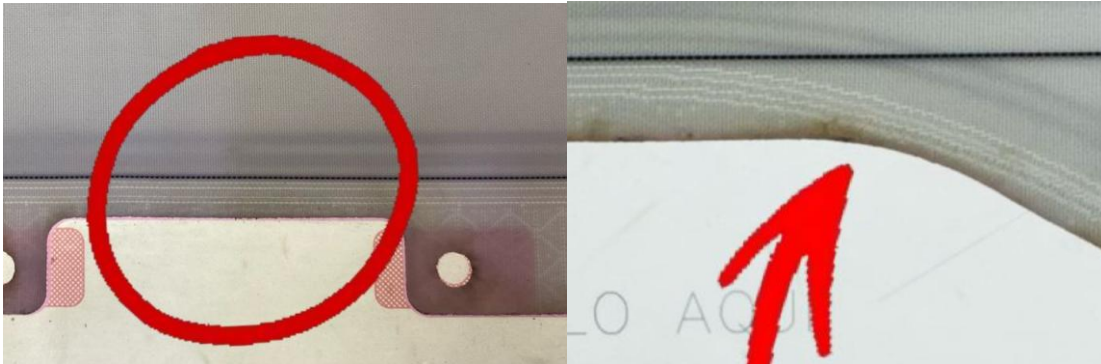


Figura 8 Defecto menos de 3 mm

3.2.1.3 Costuras extras o erróneas.

Descripción: Presencia de costuras erróneas, hilos jalados o costuras adicionales en cualquier zona de la bolsa.

Causa: Puede deberse a errores en la costura por parte de los operadores, defectos en la tela o una manipulación inadecuada.

Impacto: Puede afectar la estética y funcionalidad del producto, comprometiendo su desempeño en el vehículo. Figura 9, costuras extras o erróneas.



Figura 9 costuras extras o erróneas.

3.2.1.4 Barrenos desplazados o inexistentes

Descripción: Las perforaciones llamadas barrenos, utilizadas para el ensamblaje en un proceso posterior, están mal alineadas o ausentes.

Causa: Errores en el proceso de perforación con láser o un desfase en la máquina encargada.

Impacto: La ausencia o desplazamiento de los barrenos afecta el ensamblaje de piezas rígidas, lo que provoca rechazos a gran escala y pérdida de tiempo al ser un error detectado en la última etapa del proceso. Figura 10, barrenos desplazados o inexistentes



Figura 10 barrenos desplazados o inexistentes

3.2.1.5 Esqueleto fuera del área tolerada.

Descripción: El esqueleto (línea de silicón y costura que delimita la zona inflable) está fuera del área tolerada.

Causa: Ajuste incorrecto de parámetros por parte del operador encargado del proceso.

Impacto: Un esqueleto mal colocado reduce la zona inflable, afectando el estándar de seguridad y la efectividad del airbag. Figura 11, esqueleto fuera de zona.

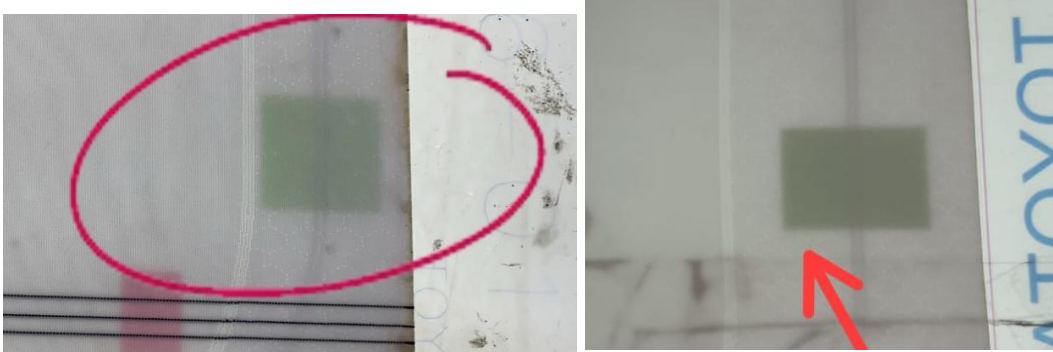


Figura 11 esqueleto fuera de zona.

3.2.1.6 Cortes extras.

Descripción: Presencia de cortes adicionales dentro del perfil de la bolsa o en secciones que generan inconsistencias en la estructura.

Causa: Errores en la máquina láser que realiza los cortes o un mal ajuste de la tela por parte de los operadores.

Impacto: Los cortes extra alteran el diseño de la bolsa, generando problemas en el ensamblaje y haciendo imposible su ajuste como producto terminado. Figura 12, cortes extras.

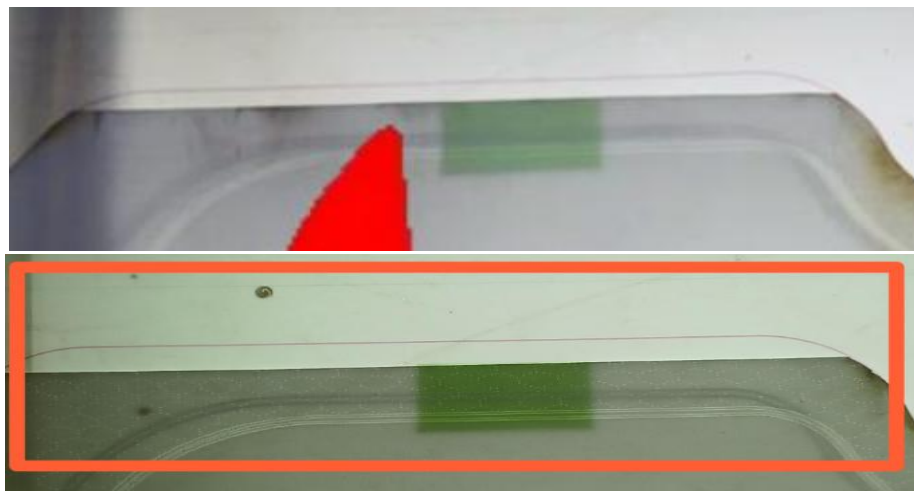


Figura 12 cortes extras.

3.2.1.7 Corte en barreno de garganta (corte débil).

Descripción: El defecto ocurre en la zona de la garganta, por donde ingresa el aire para inflar la bolsa. En esta área también hay perforaciones llamadas barrenos, esenciales para el ensamble en el auto.

Causa: Puede deberse a la calidad de la tela, que se desgasta tras el corte con láser, o a una mala manipulación de la pieza, ya que las gargantas sobresalen de los paquetes de inspección y pueden romperse.

Impacto: Un corte débil en esta parte provoca rechazo total, ya que impide el correcto ensamblaje y el flujo de aire a la zona inflable. Figura 13, corte en barreno de garganta (corte débil).

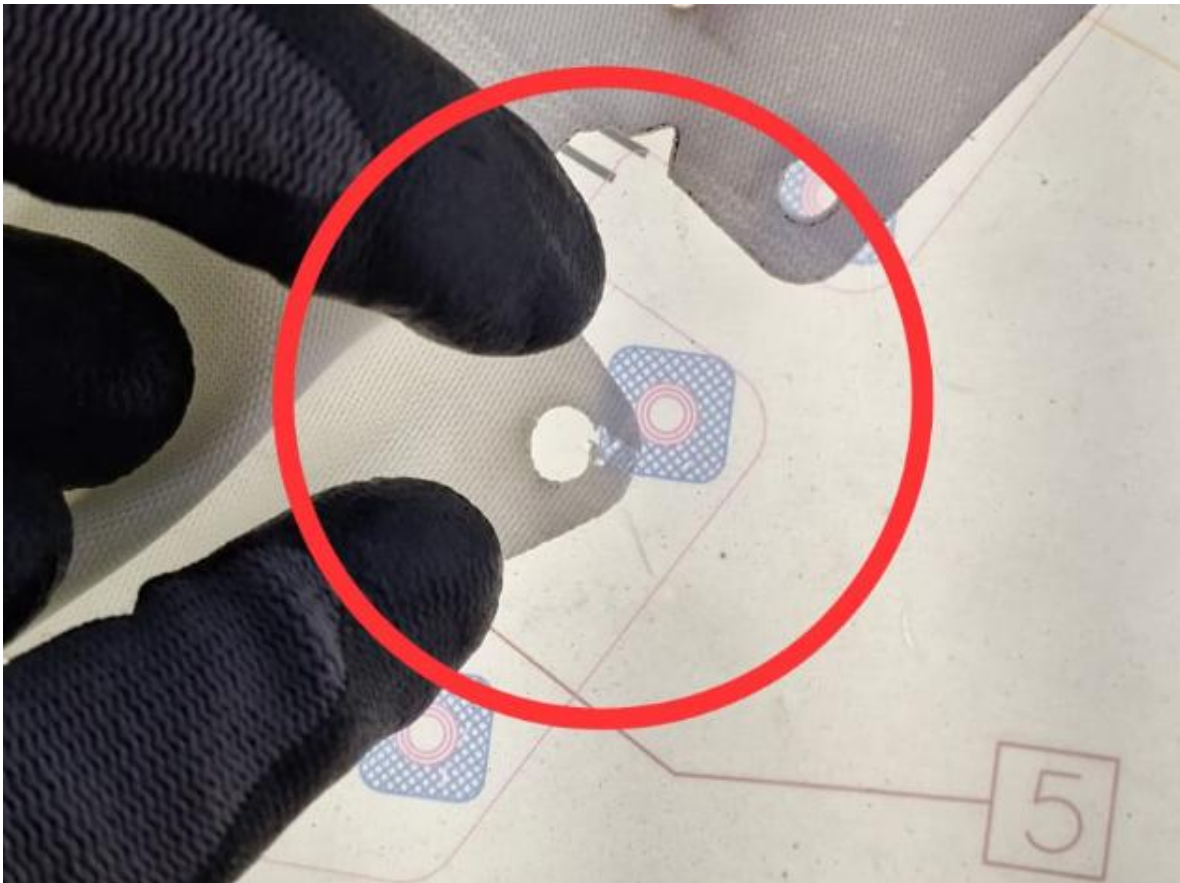


Figura 13 corte en barreno de garganta (corte débil).

3.2.2 Errores derivados de la inspección manual

Además de los defectos generados en el proceso de manufactura, la inspección manual también puede fallar debido a fatiga, desgaste físico o error humano. Los errores más comunes incluyen:

3.2.2.1 Errores de alineación con el template

Descripción: La bolsa de aire no es colocada correctamente en el template, lo que genera una inspección incorrecta de los puntos de referencia.

Causa: Falta de precisión al alinear la pieza con el punto de origen del template, variaciones en la técnica de cada operador o desgaste del template físico.

Impacto: Posibilidad de que piezas con dimensiones incorrectas sean aprobadas, lo que afecta el ensamblaje y funcionalidad en el vehículo.

3.2.2.2 Tolerancias mal evaluadas

Descripción: Las perforaciones, el esqueleto o las líneas de ensamble de la bolsa no son revisadas con precisión dentro de las zonas de tolerancia.

Causa: Dependencia del criterio subjetivo del operador, iluminación inadecuada o cansancio visual.

Impacto: Piezas que no cumplen con los parámetros de diseño pueden pasar desapercibidas, generando fallos estructurales o problemas en la instalación.

3.2.2.3 Omisión de defectos visuales

Descripción: No se detectan defectos en costuras, cortes irregulares, contaminación o deformaciones en la bolsa.

Causa: Inspección rápida debido a la presión por cumplir con la producción, desgaste visual de los operadores falta de uniformidad en los criterios de inspección.

Impacto: Defectos estéticos y funcionales que pueden afectar la seguridad y desempeño del producto en el vehículo.

3.2.2.4 Variabilidad en los criterios de inspección

Descripción: Diferentes operadores tienen criterios distintos para aceptar o rechazar una bolsa.

Causa: Falta de estandarización en los procedimientos o diferencias en la capacitación del personal.

Impacto: Inconsistencias en la calidad del producto y aumento de rechazos en etapas avanzadas de producción.

3.3 Impacto de los errores en la calidad del producto y en la producción

La incidencia de fallas no detectadas durante la inspección manual genera consecuencias significativas en diferentes esferas del proceso productivo:

3.3.1 Incremento de la Tasa de defectos no identificados.

Mediante un análisis estadístico de 500 muestras seleccionadas aleatoriamente del flujo productivo, se determinó que el **40% de las bolsas defectuosas** no son identificadas durante la inspección manual. Este cálculo se obtuvo comparando el número de defectos reportados en la inspección inicial versus los identificados en controles de calidad posteriores. La metodología incluyó:

- Verificación doble ciega de 50 contenedores consecutivos
- Muestreo estratificado por tipo de defecto
- Análisis de correlación entre error de detección y tipo de defecto

3.3.2 Rechazos en Líneas de Producción.

Las unidades que no cumplen con los parámetros establecidos son sistemáticamente rechazadas en las etapas subsiguientes de ensamblaje. Cuando en un contenedor se identifica más de una pieza defectuosa, se activa un protocolo que obliga a su reinspección integral, generando interrupciones operativas y pérdidas de eficiencia.

3.3.3 Alteraciones en los Tiempos de Entrega.

La necesidad de repetir procesos de inspección y realizar ajustes correctivos en piezas defectuosas crea cuellos de botella en el flujo productivo, impactando directamente los plazos comprometidos con los clientes.

3.3.4 Incremento en Costos Operativos.

El remplazo de unidades defectuosas conlleva erogaciones adicionales en materiales y mano de obra, a lo que se suma el riesgo de penalizaciones contractuales por incumplimiento en especificaciones de calidad y tiempos de entrega.

3.5 Registro de defectos.

Para seguir con el razonamiento del impacto de estos defectos se llevó un registro de estos durante el periodo de enero-febrero de 2025, con el fin de identificar la frecuencia con la se identifican y la importancia que se debe de dar, a continuación, se muestran la frecuencia de los tipos de defectos en el lapso enero- febrero, tabla 1.

Tabla 1 registro de defectos enero – febrero, 2025

Tipo de defecto	Cantidad de casos (Enero- Febrero)
Rotación	374
Perfil de corte a menos de 3 mm	127
Costuras extras o erróneas	482
Barrenos desplazados o inexistentes	251
Esqueleto fuera del área tolerada	175
Cortes extras	208
Corte en barreno de garganta	457
TOTAL	2074

A continuación, se muestra la gráfica de estos datos, figura 14.

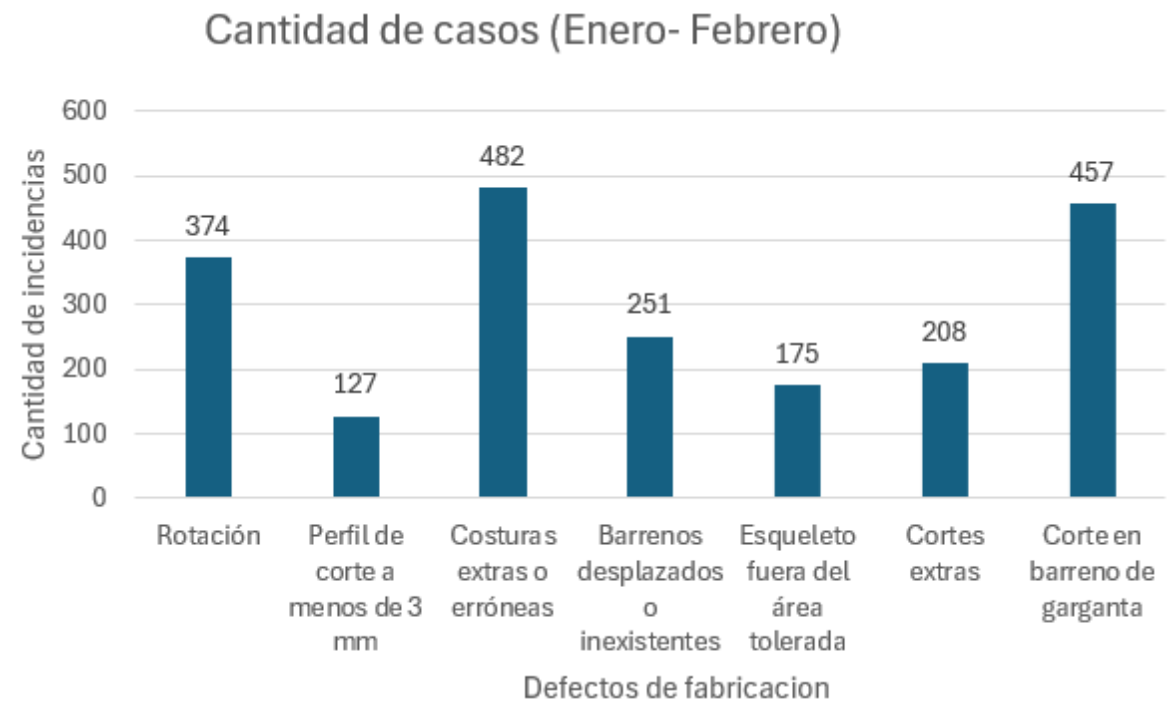


Figura 14 Tipo de defectos

3.5.1 Interpretación de los Datos y su Impacto

- **Volumen total de defectos.**

Solo considerando los defectos listados, se registraron más de **1,794 incidencias en dos meses**. Esto refleja una tasa de error elevada que impacta directamente la eficiencia productiva y los costos.

- **Priorización de acciones.**

Los defectos de "Cortes extras" y "Rotación" representan en conjunto más del 52% del total. Ambos deben ser abordados como prioritarios en cualquier plan de mejora.

- **Relación con la inspección manual.**

La recurrencia de estos errores sugiere limitaciones en la capacidad de los operarios para detectar todas las variantes de defectos, especialmente aquellos menos evidentes, como el "esqueleto fuera de área tolerada".

- **Impacto en seguridad y confiabilidad.**

Cualquier defecto en una bolsa de aire no es solo un problema de calidad, sino un **riesgo potencial para la seguridad del usuario**. Fallas en el despliegue, rotura de costuras o desplazamiento de componentes pueden tener consecuencias graves.

3.5.2 Consideración.

Los errores en la inspección manual representan un desafío importante en la calidad del producto y la eficiencia del proceso. La variabilidad en la inspección, el desgaste visual y la falta de precisión en la alineación con el template son factores clave que afectan la detección de defectos. Identificar y cuantificar estos errores permitirá desarrollar estrategias para optimizar el proceso de inspección y garantizar un mayor control de calidad en la producción de bolsas de aire.

3.6 Definición de requerimientos técnicos y operativos del sistema de Inspección Asistida

Para determinar la configuración de resolución óptima del sistema de visión artificial, se realizó un análisis exhaustivo de la infraestructura disponible en la planta, considerando que la implementación del proyecto debe adaptarse a las condiciones operativas existentes. El estudio se centró particularmente en las características geométricas de la mesa de trabajo, ya que sus dimensiones constituyen el factor determinante para calcular la resolución requerida.

3.6.1 Resolución y Tipo de Cámara

Para definir el tipo de resolución se hizo un análisis de la infraestructura de la empresa ya que la realización de este proyecto se apoya de la antes mencionada, para este análisis se tomó en cuenta como principal factor la geometría de la mesa de trabajo la cual cuenta con las siguientes dimensiones:

Esta es una mesa con una superficie de 2.30 metros de largo x 1.30 metros de ancho, esta misma cuenta con perfiles que sostienen un techo sobre esta misma la cual evita que la luz del entorno interfiera con la generada de la misma mesa con la que se realiza la inspección de calidad, este techo se ubica a una altura de 1.20 metros de la superficie de la mesa, cabe mencionar que este tejado cuneta con las mismas

dimensiones de la superficie de la mesa iluminada, vea el croquis del área de trabajo para visualizar la geometría antes mencionada, figura 15.

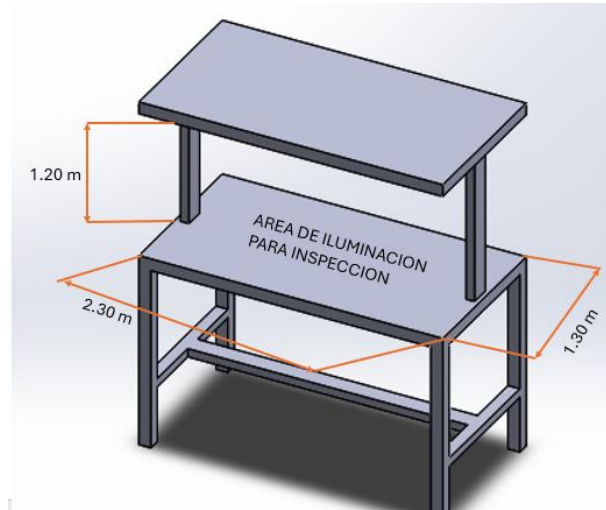
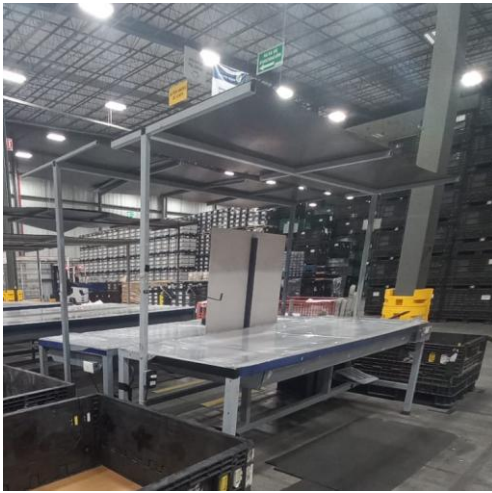


Figura 15 Área de trabajo.

Con base en la geometría antes especificada se colocará la cámara en el centro del techo ya que esto permitirá tener un lente de toda la superficie de iluminación para la inspección, en base a esto debemos de considerar los errores que se han contemplado, ya que en la mayoría de los casos se debe de detectar de entre 2-3 mm por cuestiones de precisión se debe de adaptar una capacidad de 1mm de precisión para que el proyecto cumpla con su función de detectar todos los tipos de errores, en base al factor de precisión de 1mm con esto se plantea lo siguiente:

3.6.1.1 Definición de parámetros del entorno

- Dimensiones del área de trabajo: 2.30 m × 1.30 m
- Altura del techo: 1.20 m sobre la superficie de inspección
- Precisión deseada: 1 mm

Para determinar la resolución de la cámara, se debe de calcular el Campo de Visión (FOV, Field of View), la determinación del FOV se fundamenta en las dimensiones físicas del área de trabajo (2.30 m × 1.30 m), ya que la cámara debe capturar completamente esta superficie desde su posición fija a 1.20 m de altura. El cálculo del FOV considera:

1. **Cobertura completa:** Las dimensiones del área definen directamente los límites mínimos del FOV horizontal (2.30 m) y vertical (1.30 m)
2. **Relación con la precisión:** El FOV se divide en píxeles según la precisión requerida de 1 mm, estableciendo que cada píxel debe representar ≤ 1 mm en la superficie real

3. **Geometría de captura:** La altura de 1.20 m determina la distancia focal necesaria para lograr el FOV especificado sin distorsiones significativas

Esta base de cálculo garantiza que el sistema pueda inspeccionar toda el área designada con la resolución adecuada para detectar variaciones de 1 mm o mayores.

3.7 Cálculo del campo de visión (FOV)

La altura de montaje de la cámara (1.20 m) y las dimensiones del área de trabajo (2.30 m × 1.30 m) definen el Campo de Visión (FOV) requerido. La elección de una lente ortogonal se fundamenta en su capacidad para mantener una relación de escala uniforme en toda la superficie de captura, eliminando distorsiones perspectivas que afectarían la precisión dimensional requerida de 1 mm.

Esta configuración garantiza que:

- La totalidad del área de inspección quede dentro del marco de captura
- Las mediciones se mantengan consistentes sin necesidad de correcciones geométricas
- La detección de defectos presente uniformidad en toda la superficie
- Se optimice el procesamiento al minimizar transformaciones digitales

Por lo tanto, el FOV necesario es de **2.30 m × 1.30 m**, correspondiente exactamente con las dimensiones físicas del área de trabajo, asegurando una correspondencia biunívoca entre píxeles y unidades métricas en el plano de inspección.

3.7.1 Cálculo de la resolución mínima requerida

La resolución de la cámara se mide en píxeles, la fórmula se basa en la relación:

$$\frac{\text{Tamaño físico en mm}}{\text{Tamaño de un pixel en mm}} = \text{Cantidad de pixeles}$$

Esta expresión proviene de la relación:

$$\frac{\text{Dimension física}}{\text{Tamaño del pixel}} = \text{Resolucion espacial}$$

Estas relaciones son expedidas por: ISO 10360-7 (para sistemas de medición por imagen) e ISO 10360-13 (para escáneres ópticos 3D), estas estipulan en sus anexos de calibración y cálculo de incertidumbre, se define la resolución espacial como la capacidad del sistema para distinguir dos puntos cercanos, relacionada directamente con el tamaño de píxel proyectado en el plano del objeto.

Ya que se desea que cada píxel represente un tamaño de 1 mm para alcanzar la precisión deseada, la relación del cálculo del proyecto para la cantidad de píxeles se expresa de la siguiente manera:

- Número de píxeles en el eje X (ancho de la mesa de trabajo, 2.30 m):

$$\frac{2300 \text{ mm}}{1 \text{ mm/pixel}} = 2300 \text{ pixeles}$$

- Número de píxeles en el eje Y (largo de la mesa de trabajo, 1.30 m):

$$\frac{1300 \text{ mm}}{1 \text{ mm/pixel}} = 1300 \text{ pixeles}$$

Esto significa que la cámara debe tener una resolución mínima de 2300 × 1300 píxeles para garantizar que cada píxel represente 1 mm en la mesa.

3.8 Elección del tipo de lente y ángulo de visión

La selección del lente determina directamente las características del Campo de Visión (FOV) y el grado de distorsión de la imagen. Existen tres categorías principales de lentes según su ángulo de cobertura:

- Los lentes estándar (aproximadamente 50°-70° de FOV horizontal) proporcionan una representación visual natural con distorsión mínima, aunque presentan limitaciones para cubrir superficies extensas desde alturas reducidas.
- Los lentes gran angular (entre 80° y 120° de FOV horizontal) permiten capturar áreas más amplias sin desplazamiento mecánico, si bien introducen distorsiones moderadas en los bordes de la imagen.
- Los lentes ojo de pez (con FOV horizontal superior a 140°) alcanzan coberturas muy amplias pero generan distorsiones severas que requieren complejos algoritmos de corrección geométrica.

Considerando el requerimiento de cubrir un área de 2.30 m × 1.30 m desde una altura de 1.20 m, se hace necesario calcular el ángulo de visión mínimo que satisface estas condiciones espaciales. El cálculo considera la relación trigonométrica entre la altura de montaje y las dimensiones horizontales y verticales del área de inspección.

3.8.1 Cálculo del ángulo de visión necesario

El Campo de Visión (FOV) de la cámara está relacionado con la distancia de la cámara a la superficie y el ángulo de apertura de la lente. El cálculo del ángulo de

visión necesario parte del principio geométrico óptico básico, derivado de la trigonometría en sistemas de lentes delgadas. En la ISO 10360-7:2011 (GPS — Sistemas de medición por imagen), se incluye en sus anexos de calibración, se explica cómo el campo de visión (FOV) se relaciona con la distancia de trabajo y el ángulo de visión de la lente, dando la relación base de las relaciones matemáticas para el FOV.

La relación para el proyecto se calcula con base a la norma, para el FOV horizontal (W) y el ángulo de visión horizontal (θ_H):

$$W = 2 \cdot (D \cdot \tan(\theta_H / 2))$$

Donde:

- W= Ancho del área a capturar (2.30 m)
- D = Altura de la cámara (1.20 m)
- θ_H = Ángulo de visión horizontal requerido

Se despeja θ_H :

$$\theta_H = 2 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{W}{2D} \right)$$

Se sustituyen los valores antes mencionados en la ecuación:

$$\theta_H = 2 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{2.30}{2(1.20)} \right)$$

$$\theta_H = 2 \cdot \tan^{-1}(0.958) = 2(43.72^\circ) = 87.44^\circ$$

Para el FOV vertical (H), con base a $\theta_H = 1.30$.

Donde

- H = Largo a capturar (1.30 m)
- θ_v = Ángulo de visión horizontal requerido

$$\theta_v = 2 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{H}{2D} \right)$$

Se hace sustitución de los datos anteriores:

$$\theta_v = 2 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{1.30}{2(1.20)} \right)$$

$$\theta_v = 2 \cdot \tan^{-1}(0.542) = 2(28.37^\circ) = 56.74^\circ$$

3.8.2 Selección del lente adecuado

En base a los resultados de cálculos realizados, necesitamos una cámara con:

- Ángulo de visión horizontal de al menos 88°
- Ángulo de visión vertical de al menos 57°

Esto indica que un lente gran angular (90° - 120°) es una buena opción, ya que permite capturar toda la superficie sin requerir múltiples cámaras ni grandes correcciones de distorsión.

Por lo tanto, para lograr una inspección precisa con una resolución de 1 mm por píxel y cubrir toda la superficie de 2.30 m × 1.30 m desde una altura de 1.20 m, con base a los datos anteriores se debe cubrir los siguientes parámetros:

- Cámara con resolución mínima de 2300 × 1300 píxeles (idealmente 5MP o superior).
- Lente gran angular con un FOV horizontal de al menos 90° y vertical de al menos 60° para capturar toda el área sin mover la cámara.
- Evitar lentes ojo de pez (>140°) para reducir la distorsión y facilitar el procesamiento de imágenes.

Con estos parámetros, el sistema de inspección asistida podrá capturar imágenes para la detección de errores en la inspección, esto por la naturaleza del análisis y estudio de área y de los aspectos identificados anteriormente.

En base a lo anterior, se toma en cuenta el punto del flujo de procesamiento de imágenes por lo tanto en el sistema de inspección asistida debe ejecutar el análisis de imágenes en un tiempo considerablemente menor a 19.5 segundos, dado que este es el tiempo mínimo que un operador manual tarda en realizar la inspección. Para que la implementación del sistema sea funcional y represente una ventaja real en el proceso productivo, el tiempo de procesamiento debe ser significativamente más rápido que la inspección manual, permitiendo la toma de decisiones en tiempo real y evitando retrasos en la línea de producción.

3.9 Propuesta de la visualización del algoritmo para el sistema (idealización).

3.9.1 Flujo de procesamiento de imágenes

El procesamiento de imágenes en el sistema sigue una serie de etapas optimizadas para garantizar rapidez y precisión en la inspección.

3.9.2 Captura y adquisición de la imagen

La captura de la imagen debe realizarse de forma inmediata, asegurando que la información adquirida sea precisa y libre de interferencias. Para ello:

- Se utilizará una cámara de alta velocidad (5MP o superior), esto por la transferencia de información de la captura de imagen que se deberá complementar con un tiempo de obturación optimizado, este se obtiene mediante la combinación de la arquitectura del sensor, el tipo de obturador y las capacidades electrónicas internas de la cámara a elegir, esa última característica para evitar desenfoques o imágenes borrosas.
- La resolución debe permitir la detección de desviaciones de hasta 1 mm, acorde con la precisión requerida.
- Se seleccionará un lente con el ángulo de visión adecuado para cubrir la totalidad de la superficie de inspección (2.30 m x 1.30 m) sin distorsión ni pérdida de información.

3.9.3 Preprocesamiento de la imagen

Una vez adquirida la imagen, es necesario aplicar técnicas de mejora para optimizar su análisis sin generar demoras.

- **Corrección de iluminación:** Se ajusta el brillo y contraste en tiempo real, mediante funciones del software elegido.
- **Reducción de ruido:** Se aplican filtros rápidos (filtro Gaussiano, filtro Mediana, filtro Bilateral) para eliminar interferencias sin afectar la nitidez.
- **Conversión de formato y escalado:** Se optimiza el tamaño de la imagen para reducir la carga de procesamiento sin comprometer la precisión.

3.9.4 Segmentación y extracción de características

Para una inspección efectiva, el sistema debe identificar las características clave de la pieza de manera inmediata.

- **Detección de contornos:** Se identifican los límites de la pieza y se comparan con el template de referencia.
- **Comparación con el template:** Se superpone la imagen capturada con el modelo de referencia para identificar desviaciones dimensionales con alta precisión.

3.9.5 Evaluación y validación de resultados

- Se ejecuta un análisis de conformidad en tiempo real, asegurando que la pieza cumple con los estándares establecidos.
- En caso de detectar una desviación superior a **1 mm**, se genera una alerta inmediata para su revisión.
- Si la pieza cumple con los criterios de calidad, el sistema la registra automáticamente.

3.9.6 Optimización para cumplir con un tiempo Inferior a 19.5 segundos

Para garantizar que el sistema sea considerablemente más rápido que la inspección manual, se aplican las siguientes estrategias:

Reducción del Tiempo de Procesamiento

- Se emplean algoritmos optimizados para minimizar la carga computacional y acelerar el análisis de imágenes.
- Se implementa **procesamiento en paralelo** para ejecutar múltiples tareas simultáneamente.

Uso de Hardware Especializado

- Una **Unidad de Procesamiento Gráfico (GPU)** acelerará la segmentación y análisis en tiempo real.
- Se seleccionará una **cámara con alta velocidad de captura y transferencia** para reducir el tiempo de adquisición.

3.9.7 Integración con el flujo de trabajo

- El sistema debe generar resultados de inspección de manera instantánea, permitiendo que los operadores tomen decisiones sin demoras.
- La interfaz del sistema debe presentar los datos de forma clara y precisa para agilizar la interpretación.

En cuanto a los requerimientos operativos de forma ideal se toman los estándares para la Implementación del Proyecto

Para garantizar la operatividad y eficiencia del sistema de inspección asistida, es fundamental establecer criterios técnicos y funcionales que aseguren su integración en el proceso de manufactura. Estos estándares permitirán evaluar su desempeño y viabilidad dentro del entorno de trabajo.

3.9.8 Condiciones de operación

El sistema debe operar de manera estable bajo las condiciones ambientales del área de inspección. Para ello, se deben considerar los siguientes factores:

- Iluminación controlada: Evitar sombras y reflejos que afecten la precisión del análisis.
- Estabilidad estructural: Minimizar vibraciones o desplazamientos que puedan alterar la captura de imágenes.
- Condiciones ambientales: Mantener rangos adecuados de temperatura y humedad para evitar distorsiones en los sensores.

3.9.9 Tiempo de Procesamiento y Eficiencia

Dado que la inspección manual tiene un tiempo mínimo de 19.5 segundos, el sistema debe ser significativamente más rápido para justificar su implementación.

- Tiempo máximo de procesamiento: Inferior a 5 segundos por análisis.
- Flujo de trabajo continuo: Integración sin interrupciones en la línea de inspección.
- Automatización de validaciones: Reducción de intervención humana en la toma de decisiones.

3.9.10 Integración con el Proceso Productivo

El sistema debe ser compatible con las dinámicas de trabajo de los operadores y los estándares industriales.

- Interfaz accesible: Fácil de operar sin necesidad de capacitación avanzada.
- Compatibilidad con herramientas existentes: Capacidad de interactuar con otros sistemas de control de calidad.
- Generación de reportes: Registro automático de resultados para trazabilidad y auditoría.

3.10 Elección de hardware.

La selección de hardware en sistemas de inspección basados en procesamiento de imágenes determina el éxito funcional y operativo del proyecto. Este componente constituye la base física que sustenta todas las operaciones, desde la captura de datos hasta la emisión de resultados, integrando múltiples disciplinas tecnológicas en entornos industriales.

La cámara representa el sensor primario del sistema, donde sus características de resolución, óptica, sensibilidad lumínica y velocidad de captura condicionan directamente la calidad de la imagen. Una adquisición deficiente compromete la eficacia del procesamiento posterior, generando interpretaciones erróneas.

Paralelamente, la iluminación requiere uniformidad y estabilidad para eliminar variables externas como sombras, reflejos o variaciones de contraste.

La unidad de procesamiento debe poseer capacidad suficiente para ejecutar algoritmos de análisis en intervalos inferiores al proceso manual de referencia. En este proyecto, el límite de cinco segundos por pieza establece exigencia técnica precisa: máxima eficiencia sin comprometer la exactitud. Un procesador inadecuado provocaría demoras, interrupciones o cuellos de botella, afectando la continuidad productiva.

La selección de componentes considera además la compatibilidad con el entorno físico, evaluando espacios disponibles, condiciones ambientales, facilidad de instalación y resistencia ante actividad industrial constante. El sistema debe contemplar escalabilidad tecnológica, permitiendo actualizaciones o reemplazos sin rediseños integrales.

La elección adecuada de hardware asegura no solo viabilidad técnica, sino también funcionalidad práctica, integración armónica con procesos existentes y generación de resultados confiables para la toma de decisiones. Una selección precisa en esta fase se traduce en eficiencia sostenible, exactitud duradera y adaptabilidad permanente.

3.10.1 Elección de cámara.

En el proceso de selección de componentes se consideraron diversos fabricantes especializados en cámaras para entornos industriales. Entre los principales proveedores analizados se encuentran:

Basler

Destaca como fabricante alemán con trayectoria reconocida en cámaras industriales de alta confiabilidad. Sus equipos presentan amplia compatibilidad con sistemas de visión artificial y interfaces múltiples que incluyen USB 3.0, GigE y Camera Link. Su portafolio se adapta a aplicaciones diversas en entornos industriales exigentes.

Hik Robotics

Se posiciona como fabricante innovador con capacidades de inteligencia artificial integradas en sus dispositivos. Ofrece resoluciones desde 12MP hasta 151MP con interfaces de alta velocidad como 10GigE y CoaXPress. Sus soluciones son

apropiadas para aplicaciones que demandan procesamiento en tiempo real y máxima precisión dimensional.

Sony Image Sensing Solutions

Representa la división industrial del reconocido fabricante de sensores de imagen. Sus cámaras se distinguen por excelente calidad de imagen y alta sensibilidad lumínica, siendo particularmente adecuadas para inspección de precisión y automatización industrial avanzada.

MidVision

Marca que ofrece soluciones completas de visión artificial, aunque requiere verificación detallada de especificaciones técnicas y soporte postventa antes de su implementación en proyectos críticos.

3.10.2 Análisis Comparativo

Para proyectos de inspección asistida que priorizan precisión, velocidad y confiabilidad, Hik Robotics y Basler emergen como alternativas principales. Hik Robotics destaca en aplicaciones que aprovechan capacidades de inteligencia artificial integrada, mientras Basler ofrece robustez operacional y facilidad de integración. Sony mantiene ventajas competitivas en aplicaciones que exigen máxima calidad de imagen. La tabla 2 resume comparativamente las características técnicas de cada fabricante para facilitar la evaluación objetiva.

Tabla 2 Fabricantes y sus características

Fabricante	Resolucion Maxima	Interfaces Disponibles	Caracteristicas destacadas
Basler	Hasta 20 MP	USB 3.0, GigE, CL	Alta fiabilidad, facil integracion, amplia compatibilidad
HIK Robotics	Hasta 151 MP	10GigE, CoaXPress	IA integrada, alta velocidad, variedad de
Sony Image Sensing	Alta resolucion	Diversas	Calidad de imagen superior, sensibilidad,
MidVision	Informacion Limitada	Informacion Limitada	Evaluar especificaciones y soportes disponibles

3.10.3 Evaluación de modelos de cámaras industriales y elección de modelo del sistema

Hik Robotics - Serie CS

Esta segunda generación de cámaras presenta mejoras sustanciales en su construcción mecánica, eficiencia energética y arquitectura interna. Incorporan sensores de alto desempeño que garantizan calidad de imagen optimizada para aplicaciones de inspección precisa. Su diseño cumple con protocolos universales de visión artificial, facilitando la integración en sistemas existentes. La optimización térmica y de consumo las hace adecuadas para funcionamiento continuo en entornos industriales demandantes.

Serie CU

Desarrollada con enfoque en eficiencia energética y estabilidad operacional, esta serie se adapta flexiblemente a diferentes escenarios mediante procesamiento de imagen integrado. Su arquitectura permite minimizar interferencias externas y reducir la carga computacional en sistemas posteriores.

Serie CH

Orientada a aplicaciones de máxima precisión en industrias especializadas, esta gama premium incorpora interfaces de alta velocidad para entornos de producción exigentes. Su diseño responde a necesidades críticas en sectores tecnológicamente avanzados.

Serie CA

Concentrada en equilibrio entre resolución y calidad de imagen, esta serie mantiene consistencia métrica sin requerir reconfiguraciones ópticas. Incluye capacidades extendidas para aplicaciones que requieren espectro infrarrojo.

Basler - Línea ace

La serie ace 2 ofrece capacidades avanzadas de captura para inspección de componentes de gran tamaño. La línea ace L proporciona equilibrio entre resolución y velocidad en entornos diversos. El modelo ace 2 R se destaca por su versatilidad en aplicaciones que exigen precisión dimensional y estabilidad de imagen.

3.10.4 Selección Fundamentada: Basler ace 2 R

Este modelo representa la opción técnicamente más adecuada para el sistema de inspección asistida. Su arquitectura permite la captura nítida de componentes sobre plantillas físicas, eliminando distorsiones por movimiento durante la operación manual. La interfaz de comunicación asegura transferencia de datos acorde con los ritmos productivos establecidos.

El diseño robusto, compatibilidad con estándares industriales y eficiencia energética garantizan integración efectiva en el entorno operativo del área de calidad. Estas características combinadas proporcionan los fundamentos técnicos para un sistema de inspección confiable, preciso y sostenible en el tiempo. Figura



Figura 16 Cámara Basler ace 2 R

Las especificaciones técnicas detalladas de todos los modelos considerados se presentan en el anexo 2 “Modelos de cámaras”, correspondiente para consulta de implementación.

3.10.5 Selección del Tipo de Conexión

La compatibilidad entre la conexión de la cámara y el software desarrollado internamente es determinante. Ciertos fabricantes limitan la integración con sistemas propios al utilizar software exclusivo, por lo que se evalúan las siguientes interfaces:

Opciones de Conexión:

1. **USB 2.0:** Velocidad limitada (480 Mbps), adecuada solo para cámaras de baja resolución.
2. **USB 3.0/3.1:** Transferencia rápida (5-10 Gbps), ideal para alta resolución y procesamiento en tiempo real. Amplia compatibilidad con herramientas de desarrollo.
3. **GigE:** Estable hasta 100 m de distancia, requiere configuración de red y hardware adicional.
4. **Camera Link:** Baja latencia pero de alto costo, necesita componentes especializados.
5. **MIPI CSI:** Optimizada para sistemas embebidos, con limitada flexibilidad en computadoras convencionales.

Selección Justificada: USB 3.0

Esta interfaz ofrece el equilibrio ideal entre velocidad, compatibilidad y facilidad de implementación. Permite el manejo de imágenes en alta resolución sin cuellos de botella y se integra directamente con librerías estándar como OpenCV. Al no requerir

infraestructura adicional ni software propietario complejo, simplifica el desarrollo y mantenimiento del sistema en una estación de trabajo convencional, asegurando eficiencia técnica y operativa.

3.11 Elección del equipo de cómputo.

En la elección del equipo de cómputo se continúa la idea de usar el mobiliario existente dentro de la planta, dentro de esta misma se usan laptops modelo: **Lenovo ThinkPad** como unidad de procesamiento principal. Esta línea es la utilizada por la empresa en sus entornos industriales, además de ofrecer soporte técnico y compatibilidad con software especializado.

Especificaciones del equipo de la empresa:

- **Procesador:** Intel Core i7 de 11^a generación.
- **Memoria RAM:** 32 GB
- **Almacenamiento:** SSD NVMe de 512 GB.
- **GPU:** Tarjeta gráfica NVIDIA Quadro
- **Sistema operativo:** Windows 11 Profesional.
- **Interfaz de conexión:** Puerto USB 3.0 tipo A (requisito indispensable para la cámara).

Con la selección de la cámara, el equipo de conectividad que esta ofrece (USB 3.0) y sus adaptaciones genera un entorno bastante compatible, donde características de ambos dispositivos son compatibles.

3.12 Elección de software.

Se elige **Python**, como lenguaje base de desarrollo. Esta elección se fundamenta en su robustez en aplicaciones de visión computacional, su extensa comunidad y soporte, su integración natural con librerías científicas, y su compatibilidad con SDKs industriales como Pylon (de Basler). Además, Python permite una rápida validación de pruebas, mantenibilidad del código y escalabilidad para futuras implementaciones con inteligencia artificial o aprendizaje automático.

Entorno de ejecución

El entorno va en base al sistema operativo, el software de desarrollo y herramientas adicionales. Tabla 3.

Tabla 3 Componentes de software para el proyecto

Componente	Eleccion	Justificacion Tecnica
Sistema Operativo	Windows 11 Profesional	Soporte oficial para sistemas de camaras industriales (compatible con Basler)
Entorno de programación	Visual Studio Code	Entorno compatible con los parametros de Python, con depuracion eficiente para proyectos robustos y de gran exigencia y velocidad
Lenguaje de programacion	Python	Herramientas, librerias, depracion de codigo de de ambientes de IA

El desarrollo y la implementación de las librerías elegidas para el desarrollo del proyecto, se presenta en el anexo 3 librerías de software, de este documento para su consulta y testimonio.

3.13 Desarrollo del algoritmo del sistema.

Para ejemplificar el funcionamiento del sistema, parte de las herramientas para realizar el boceto son los diagramas de flujo y los pseudocódigos, para este enfoque se muestran ambas herramientas desarrolladas con el fin de demostrar la lógica que tendrá el algoritmo computacional para llevar a cabo la inspección, este se construyó a partir de las problemáticas vistas anteriormente y con de desarrollo de las áreas de interés a mejorar.

INICIO

// ETAPA 1: CARGA Y PREPROCESAMIENTO DE IMÁGENES

Cargar imagen de la pieza: target_img

Cargar imagen del template digitalizado: template_img

Convertir target_img a escala de grises → gray_img

Aplicar suavizado con filtro Gaussiano a gray_img → smooth_img

Corregir distorsión óptica de smooth_img usando parámetros de calibración → corrected_img

// ETAPA 2: DETECCIÓN DEL PUNTO DE ORIGEN

Aplicar detección de círculos (HoughCircles) sobre corrected_img → lista_circulos

SI se detecta al menos un círculo ENTONCES

 Seleccionar círculo más cercano a posición esperada → punto_origen (X_o, Y_o)

SINO

 Lanzar advertencia: "No se detectó el punto de origen"

// ETAPA 3: DETECCIÓN DE KEYPOINTS CON ORB

Inicializar detector ORB con 1000 características

Detectar keypoints y descriptores en template_img → kp_template, des_template

Detectar keypoints y descriptores en corrected_img → kp_target, des_target

// ETAPA 4: EMPAREJAMIENTO DE CARACTERÍSTICAS CON BFMatcher

Inicializar BFMatcher con norma Hamming y crossCheck

Emparejar des_template y des_target → matches

Ordenar matches por distancia [mejor coincidencia primero]

SI cantidad de matches < 10 ENTONCES

 Lanzar advertencia: "Pocos emparejamientos válidos"

 SALIR del proceso

// ETAPA 5: CÁLCULO DE MATRIZ DE HOMOGRAFÍA

Extraer coordenadas (x, y) de los 30 mejores matches → src_pts, dst_pts

Calcular matriz de homografía con método RANSAC → M

SI M no es válida ENTONCES

 Lanzar error: "No se pudo estimar la homografía"

 SALIR del proceso

// ETAPA 6: ALINEACIÓN DE LA IMAGEN

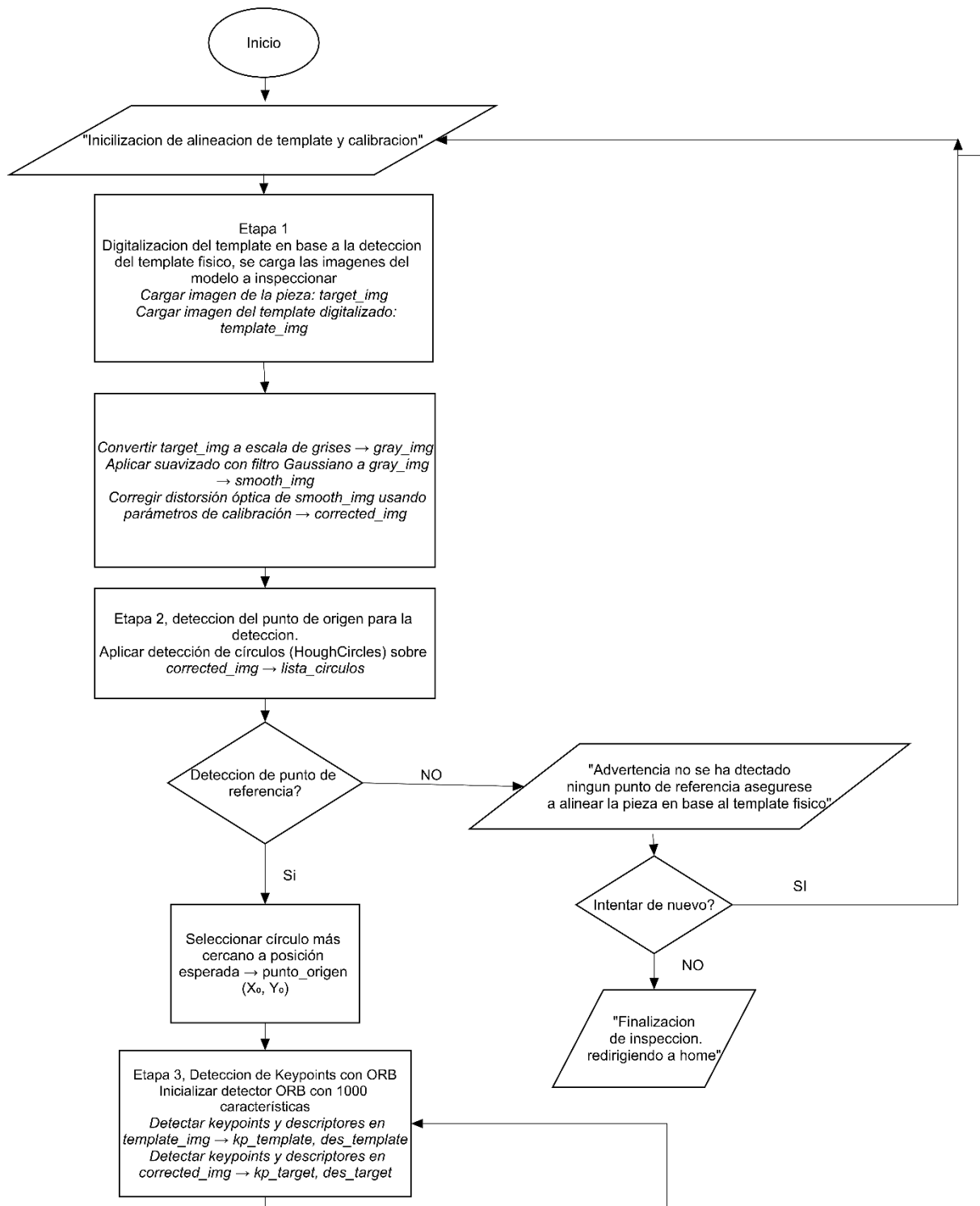
Aplicar cv2.warpPerspective a corrected_img con matriz M → aligned_img

Guardar o mostrar aligned_img para inspección

FIN

Figura 17 Pseudocódigo del sistema

Diagrama de flujo.



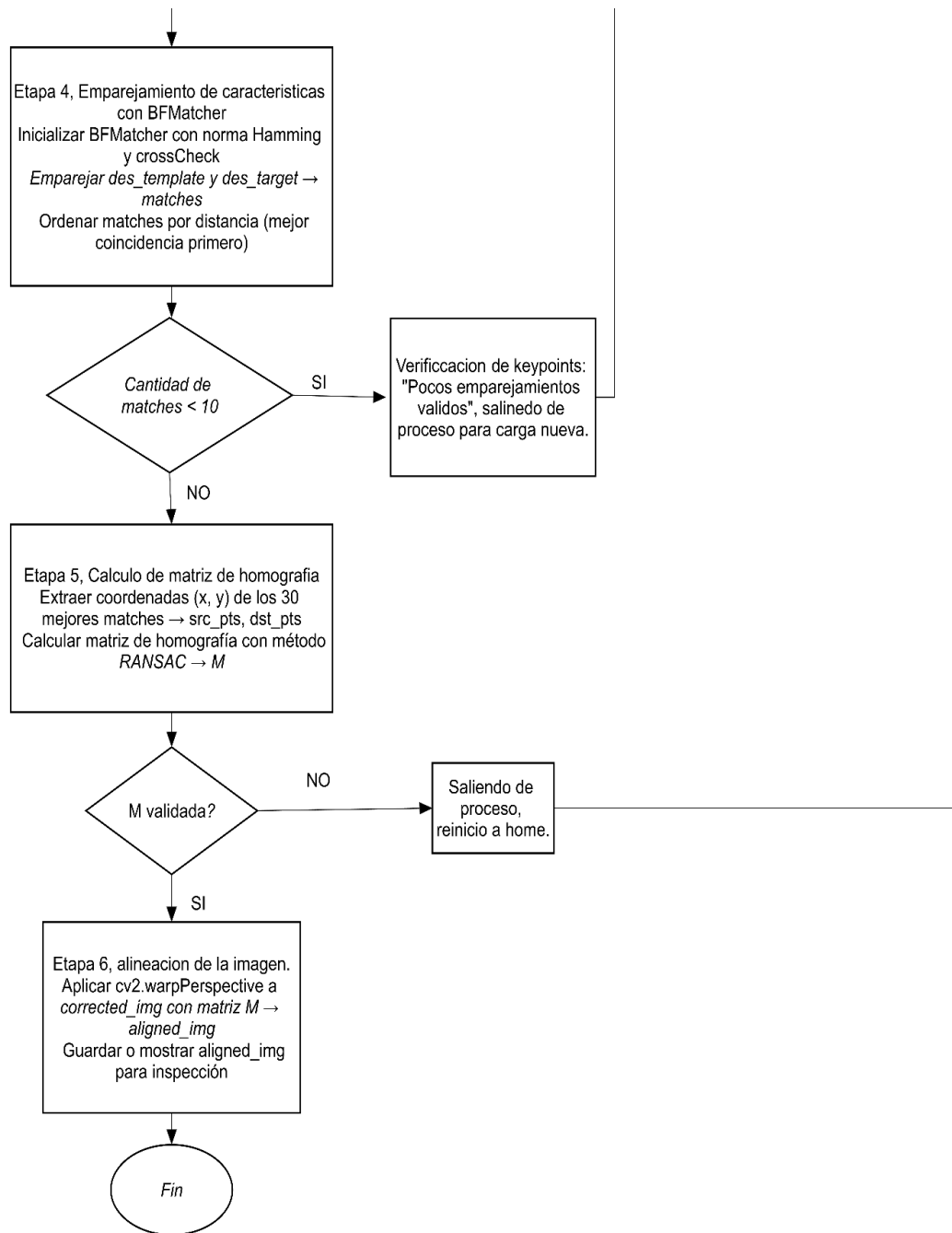


Figura 18 Diagrama de flujo del algoritmo del sistema

3.13.1 Funcionamiento y descripción del algoritmo.

El algoritmo de alineación y verificación de piezas mediante plantilla física busca asegurar que cada bolsa de aire se ubique correctamente respecto a los patrones geométricos establecidos. Esta fase inicial resulta fundamental para crear una referencia espacial común, permitiendo que todas las mediciones posteriores — como la comprobación de tolerancias o la identificación de desviaciones— se ejecuten bajo condiciones uniformes y repetibles.

Mediante procesamiento automatizado, la imagen capturada de la pieza se somete a técnicas de detección de contornos, reconocimiento de puntos clave y ajuste geométrico con respecto a la plantilla digital. Tras identificar los elementos de referencia, se calcula una transformación que compensa desplazamientos, rotaciones o distorsiones aparentes, generando una imagen corregida y lista para su evaluación dimensional.

Como se ilustra en la figura 19, que presenta los estados "alineación correcta" e "incorrecta", una pieza bien posicionada muestra coincidencia total entre su contorno exterior y el dibujo de la plantilla. Los barrenos se sitúan dentro de sus zonas de tolerancia, y regiones críticas como la garganta y la urdimbre se superponen exactamente con las áreas de inspección definidas. Esta precisión en la alineación asegura que cualquier anomalía detectada corresponda a un defecto real de fabricación y no a un error de colocación durante la verificación.

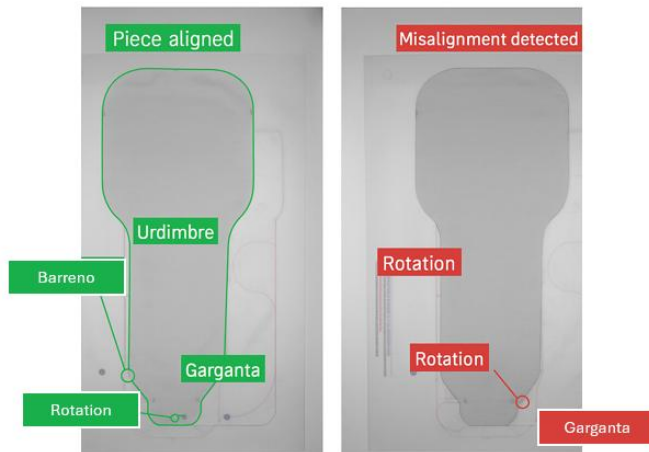


Figura 19 alineaciones graficas OK/NO OK

Gracias a este proceso, el sistema puede detectar automáticamente si una bolsa está mal posicionada antes de continuar con la inspección por zonas. Esto no solo reduce la carga cognitiva del operador, sino que minimiza errores humanos y asegura que el análisis del sistema esté siempre sustentado en datos confiables. La visualización generada permite, además, ilustrar de forma intuitiva al lector y al evaluador del proyecto cómo el algoritmo transforma una inspección visual manual en un proceso técnico, estructurado y estandarizado. De esta manera, el algoritmo no solo garantiza precisión, sino que se convierte en un pilar fundamental para

lograr consistencia y trazabilidad en el control de calidad de piezas críticas como lo son las bolsas de aire.

3.13.2 Implementación del algoritmo de comparación entre la pieza real y el template físico.

Para la implementación del algoritmo de comparación se estructura de la siguiente manera, para empezar, se escoge la técnica de procesamiento mas adecuada, para este proceso se hace mención del apartado “Investigación de técnicas de procesamiento de aplicables al proyecto. Imágenes”, de este documento, donde se hace un resumen de técnicas para el desarrollo del proyecto, para esto se analizan en base a su funcionamiento y su comportamiento en la tarea de inspección la cual se muestra es la siguiente tabla.

Tabla 4 Elección de técnica

Técnica	Precisión	Tiempo de procesamiento	Interpretabilidad	Robustez	Aplicabilidad al proyecto
Sistemas difusos	Media-Alta	Medio-Alto	Alta	Alta ante incertidumbre	Poco adecuado: se ajusta mejor a problemas donde las fronteras entre clases no son claras o cuando se requiere tomar decisiones con ambigüedad. La colocación de una bolsa de aire requiere medidas
Redes neuronales multicapa (MLP)	Alta	Medio	Media	Alta si está entrenada	No es la opción óptima, ya que requiere extracción manual de características y entrenamiento supervisado con gran volumen de datos clasificados, lo cual no es el caso actual.
Redes neuronales convolucionales (CNN)	Muy alta	Medio-Alto	Media	Muy alta	☒ Potente, pero innecesariamente compleja si el proyecto no requiere reconocimiento complejo. Adecuadas para clasificación y segmentación de patrones complejos, pero no tan eficientes para alinear y medir con precisión milimétrica sobre plantillas físicas.
Inteligencia de enjambre	Media	Alto	Baja	Media	No es ideal para tareas donde se requieren decisiones binarizadas, precisas y repetibles como medir desplazamientos de 3 mm. Más útil para segmentaciones globales o problemas de optimización.
Sistema inmune artificial	Media	Alto	Baja	Alta adaptabilidad	Interesante, pero poco eficiente y sobrecargado computacionalmente para tareas donde ya hay un entorno visual estructurado con guías definidas.

3.14 Arquitectura del Algoritmo de Inspección

Segmentos del Sistema

- Procesamiento digital con OpenCV
- Correspondencia de características (ORB + BFMatcher)
- Cálculo de homografía
- Detección de elementos geométricos (Canny, Hough)
- Conversión métrica píxel-milímetro

Ventajas Técnicas

- Precisión métrica: control de tolerancias hasta ± 3 mm

- Ejecución en tiempo real: sin requerimientos de entrenamiento
- Transparencia operativa: visualización completa del proceso
- Eficiencia de datos: no necesita grandes volúmenes de imágenes
- Adaptación industrial: óptimo para geometrías definidas y condiciones controladas

Flujo de Procesamiento

El sistema opera mediante cinco etapas secuenciales:

1. **Adquisición** **de** **Imagen**
Captura con cámara industrial en condiciones óptimas, garantizando escala 1:1 y estabilidad visual.
2. **Preprocesamiento**
Conversión a escala de grises, filtrado de ruido y corrección de distorsión óptica para asegurar calidad de análisis.
3. **Alineación Geométrica**
 - Detección de contorno y punto de referencia
 - Extracción y correspondencia de características (ORB/BFMatcher)
 - Cálculo de homografía para corrección de posición y orientación
4. **Evaluación** **Métrica**
Análisis por zonas críticas (urdimbre, garganta, barrenos) mediante conversión píxel-milímetro. Decisión basada en tolerancias de ± 3 mm a ± 5 mm según criticidad funcional.
5. **Presentación** **de** **Resultados**
Generación de visualizaciones con superposición de errores y veredicto final por zona, con almacenamiento para trazabilidad.

Interfaz Operativa

Desarrollo de GUI intuitiva (Tkinter/PyQt) que permite:

- Control del proceso de inspección
- Visualización de resultados en tiempo real
- Generación de reportes automáticos
- Reducción de intervención humana

Esta estructura modular asegura integración efectiva entre visión computacional y procesos industriales, estableciendo las bases para la implementación del sistema completo de inspección asistida.

3.14.1 Algoritmo del proceso.

1. Inicio del Programa

- Inicializar el sistema de visión (cámara Basler Ace 2 R).
- Iniciar la interfaz gráfica (GUI).
- Mostrar menú principal:
 - Iniciar inspección
 - Elección del modelo a inspeccionar
 - Visualizar reportes de inspecciones pasadas

2. Adquisición de Imagen

- Capturar imagen de la mesa de inspección con la bolsa colocada.
- Asegurar correcta exposición, enfoque y balance de blancos mediante configuración automática o preestablecida.

3. Preprocesamiento de Imagen

- Convertir la imagen capturada a escala de grises.
- Aplicar filtro gaussiano para reducción de ruido.
- Corregir distorsión óptica utilizando los parámetros de calibración de la cámara.
- Mejorar contraste mediante ecualización de histograma.
- Realizar detección de bordes utilizando el algoritmo de Canny.

4. Alineación de la Imagen con el Template

- Detectar el punto de origen (barreno de referencia) mediante detección de círculos (HoughCircles).
- Detectar keypoints usando ORB en la imagen capturada y el template digital.
- Emparejar keypoints con BFMatcher (Norma Hamming + CrossCheck).
- Filtrar los mejores matches (mínimo 30).
- Calcular la matriz de homografía usando RANSAC.
- Aplicar la transformación (warpPerspective) para alinear la imagen real sobre el template.
- Mostrar imagen alineada en la GUI.

5. Segmentación y División en Zonas de Evaluación

- Definir zonas de interés según plantilla:
 - Zona A: Urdimbre
 - Zona B: Garganta
 - Zona C: Barrenos
 - Zona D: Línea de rotación
- Mapear las coordenadas de cada zona a la imagen alineada.

6. Comparación Geométrica y Evaluación de Tolerancia

Para cada zona:

- Extraer la región de interés (ROI).
- Detectar contornos dentro de la ROI.
- Medir distancia entre el contorno detectado y el contorno ideal del template.
- Convertir la distancia en píxeles a milímetros (utilizando el tamaño de pixel de la cámara).
- Comparar la desviación encontrada con las tolerancias predefinidas:
 - ± 5 mm para urdimbre y línea de rotación.
 - ± 3 mm para garganta y barrenos.

7. Detección de Defectos

- Si alguna desviación excede la tolerancia permitida:
 - Marcar la zona como "No conforme".
 - Resaltar la zona en la imagen de salida en color rojo.
- Si la desviación está dentro de tolerancia:
 - Marcar la zona como "Conforme".
 - Resaltar la zona en color verde.

8. Visualización de Resultados en la Interfaz Gráfica

- Mostrar la imagen alineada con superposición de zonas evaluadas.
- Indicar visualmente cada zona como "Conforme" o "No conforme".
- Mostrar resumen de inspección:
 - Total de zonas conformes
 - Total de zonas no conformes
 - Resultado general de la pieza (Aprobada/Rechazada).

9. Registro de Datos

- Guardar imagen final con marcas de inspección.
- Registrar resultado en una base de datos o archivo log:
 - Fecha y hora
 - ID de imagen

- Resultados por zona
- Resultado general

10. Cierre del Ciclo

- Regresar al menú principal en la GUI.
- Permitir al operador elegir:
 - Nueva inspección
 - Exportar reporte
 - Salir del sistema.

3.15 Implementación del primer prototipo de inspección.

El sistema de inspección asistida desarrollado ha sido implementado en Python con una interfaz gráfica de usuario (GUI) diseñada mediante la librería Tkinter, integrando funcionalidades esenciales para el control de flujo del proceso de inspección, visualización del estado de las piezas y generación de reportes. Este módulo constituye la interfaz operativa directa entre el usuario y el algoritmo de inspección, facilitando su ejecución en entornos reales de producción.

1. Selección del modelo de inspección

Al iniciar la aplicación, se presenta una ventana principal desde la cual el operador puede seleccionar el tipo de modelo de bolsa de aire a inspeccionar. Esta elección inicial determina la plantilla digital (template) que se utilizará como referencia para la alineación e inspección posterior. Aunque el sistema en esta etapa contempla solo un modelo preconfigurado ("Toyota_320_Moon"), su estructura modular permite la integración futura de nuevos modelos con sus respectivas configuraciones geométricas y de tolerancia. Figura



Figura 20 Inicio del sistema

Una vez seleccionado el modelo, se habilita el botón para iniciar la inspección. Esta validación previa garantiza que todo el flujo posterior esté vinculado a un modelo de referencia definido, manteniendo la trazabilidad y la consistencia de los resultados. Figura 21.



Figura 21 selección de modelo

2. Captura de video en tiempo real y superposición del template

Al iniciar la inspección, el sistema activa la cámara industrial conectada y despliega en la interfaz una vista en tiempo real del área de inspección. Sobre esta imagen se superpone el template digital correspondiente, el cual ha sido previamente procesado con transparencia parcial (alfa) para actuar como guía visual. Esta marca de agua permite al operador verificar visualmente la alineación entre la bolsa física colocada y el modelo ideal representado en pantalla.

La superposición del template también incluye la visualización de zonas críticas — urdimbre, barrenos, garganta y área de rotación— mediante recuadros coloreados, los cuales simulan el marco de inspección que será utilizado en etapas posteriores para la evaluación geométrica de la pieza.

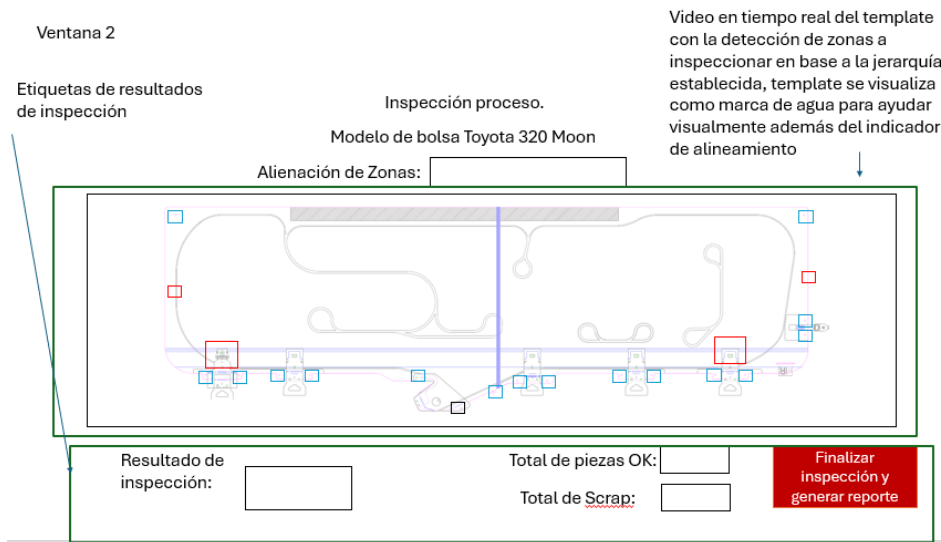


Figura 22 visualización ideal del sistema

3. Simulación de alineación y validación de posicionamiento

Como parte del diseño progresivo del sistema, se ha implementado una función que simula la validación de alineación. Una vez iniciado el flujo de inspección, el sistema evalúa durante cinco segundos el estado de posicionamiento de la bolsa y, tras este intervalo, establece automáticamente la variable de alineación como “OK” (alineado), mostrando este resultado en la interfaz. Esta simulación representa el comportamiento futuro del módulo de análisis geométrico basado en homografía y puntos clave, respetando el enfoque planificado previamente.

Esta decisión de simular la alineación permite probar el flujo del sistema, verificar la interacción de los módulos y validar la lógica operativa mientras se continúa con el desarrollo del análisis geométrico completo.



Figura 23 simulación real del primer prototipo de comparación y alineación

4. Contadores de piezas conformes y no conformes (scrap)

Una vez que la alineación ha sido validada, el sistema está preparado para evaluar los resultados de la inspección. Para esta fase, se ha integrado un contador automático de piezas conformes (OK) y no conformes (Scrap), los cuales se actualizan con cada ciclo de inspección. Esta función permite al operador visualizar en tiempo real el desempeño del lote inspeccionado y detectar posibles tendencias de fallo.

Aunque en esta fase inicial los resultados se simulan, la estructura del sistema permite fácilmente conectar esta funcionalidad con el algoritmo de validación geométrica que se aplicará en las zonas críticas, una vez implementada la medición dimensional real basada en coordenadas.

Vea la imagen 35, sección de conteo, indicadores y botón de reportes y re-inspeccion.



Figura 24 sección de conteo

5. Cierre del ciclo e integración con reporte

Una vez completada la inspección de una pieza, el operador puede finalizar el proceso a través del botón correspondiente. Esta acción retorna al menú principal y, en versiones futuras, activará la generación automática de reportes. Esta funcionalidad está preparada para integrarse con sistemas de almacenamiento de resultados que incluyan fecha, ID de inspección, estado por zona y evidencia visual, asegurando trazabilidad y cumplimiento con los estándares de calidad exigidos por la industria automotriz.

3.15.1 Justificación de la arquitectura implementada

El diseño adoptado respeta la filosofía de sistemas industriales orientados al modularidad, facilidad de uso y eficiencia en tiempo real. La interfaz gráfica simplifica la interacción, reduce la carga cognitiva del operador y asegura que el sistema pueda operar en líneas de producción con intervención mínima. La implementación de los contadores, el control por plantilla, la visualización guiada y la simulación del alineamiento, constituyen una base sólida sobre la cual se construirá la lógica completa de validación geométrica mediante visión computacional y análisis dimensional.

Esta arquitectura permite avanzar por fases, garantizando pruebas progresivas del sistema y facilitando su escalabilidad hacia funciones más complejas sin comprometer la estabilidad del prototipo actual.

PRUEBAS Y RESULTADOS

CAPITULO 4

4.1 Pruebas iniciales del sistema con imágenes recolectadas.

La realización de pruebas iniciales constituye una etapa fundamental en el desarrollo de sistemas industriales basados en visión computacional, permitiendo validar la integración de los módulos implementados y comprobar la estabilidad operativa bajo condiciones controladas. En esta fase del proyecto, se llevaron a cabo ensayos preliminares utilizando imágenes recolectadas previamente de bolsas de aire posicionadas sobre templates físicos, con el objetivo de observar el comportamiento general del sistema y verificar el funcionamiento de la interfaz gráfica y las funcionalidades básicas programadas.

Estas pruebas son esenciales para garantizar que la arquitectura del sistema responde adecuadamente al flujo de trabajo establecido. Aunque el flujo operativo mantiene la misma lógica ya documentada—incluyendo la selección de modelo, la captura en tiempo real, la visualización del template y la simulación de alineación—es importante destacar que se ha ampliado la base de modelos disponibles. A partir de esta fase, el sistema ya contempla la incorporación de nuevos modelos, además del previamente documentado “Toyota_320_Moon”. Los modelos actualmente habilitados en el sistema son: Hyundai_450Z, Toyota_200D, Toyota_550B, Honda_T6Z, Tesla_MX_ROW y Honda_T90.

No obstante, la arquitectura y el flujo de inspección permanecen consistentes con lo descrito anteriormente.

4.2 Proceso de recolección de imágenes para las pruebas

Antes de ejecutar las pruebas iniciales, se llevó a cabo una campaña de recolección de imágenes destinada a crear un conjunto de datos representativos de las condiciones reales de inspección. Este proceso tuvo como objetivo capturar la colocación de las bolsas de aire sobre los templates físicos oficiales para cada uno de los modelos habilitados en el sistema.

Procedimiento de recolección:

1. Preparación del entorno:

- Se utilizó un área de inspección controlada con condiciones ópticas estables.
- La iluminación fue uniforme, empleando luz blanca difusa para minimizar sombras y reflejos.
- Cada template físico se fijó sobre la mesa de inspección para garantizar la estabilidad durante la captura.



Figura 25 preparación del entorno

2. Disposición de las bolsas de aire:

- Las bolsas correspondientes a cada modelo fueron posicionadas cuidadosamente sobre su template físico, procurando alinear los puntos de referencia principales (urdimbre, barrenos, garganta y guías de rotación) lo más exactamente posible.

3. Captura de imágenes:

- La cámara industrial Basler Ace 2, equipada con un lente gran angular calibrado, fue utilizada para capturar imágenes a resolución completa, asegurando escala real (1:1).
- Se realizaron múltiples tomas por cada modelo para cubrir posibles variaciones leves en la colocación manual de la bolsa.

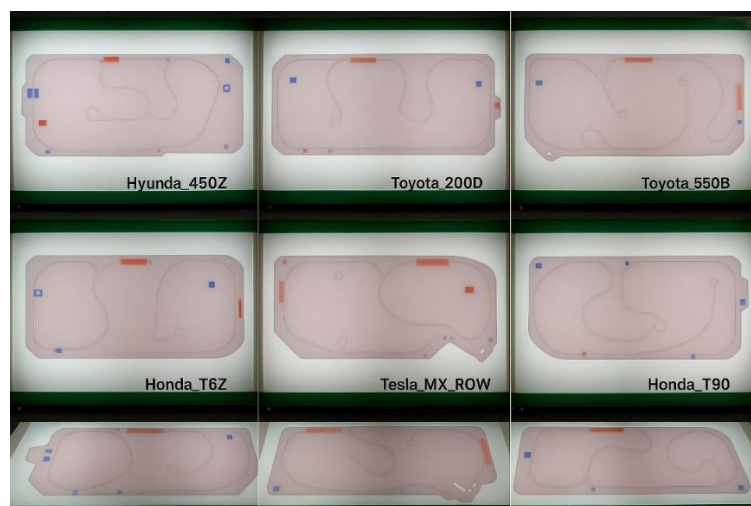


Figura 26 captura de modelos

4. Revisión y selección:

- Las imágenes capturadas fueron revisadas para asegurar que cumplieran con los estándares de calidad requeridos (enfoco correcto, ausencia de reflejos o distorsión significativa).
- Las imágenes seleccionadas fueron etiquetadas según su modelo correspondiente y almacenadas en la base de datos del sistema para su uso en las pruebas iniciales.

Ejemplo de modelos recolectados:

- Toyota_320_Moon
- Hyundai_450Z
- Toyota_200D
- Toyota_550B
- Honda_T6Z
- Tesla_MX_ROW
- Honda_T90

Este procedimiento de recolección garantiza que las pruebas iniciales se hayan realizado sobre un conjunto de imágenes reales, representativas de las condiciones operativas a las que se enfrentará el sistema en planta.

4.2.1 Metodología de las pruebas

Las pruebas se realizaron en un entorno controlado que simula las condiciones operativas del sistema en planta. Para este propósito, se utilizaron imágenes recolectadas previamente durante sesiones de inspección manual, documentando la colocación de distintas bolsas de aire sobre sus respectivos templates físicos.

Condiciones de prueba:

- **Cámara utilizada:** Basler Ace 2, lente gran angular calibrado.
- **Templates de referencia:** Toyota_320_Moon, Hyundai_450Z, Toyota_200D, Toyota_550B, Honda_T6Z, Tesla_MX_ROW y Honda_T90.
- **Entorno de iluminación:** Luz blanca difusa y estable para minimizar sombras y reflejos.
- **Tipo de imágenes:** Fotografías a escala real bajo condiciones ópticas controladas.

4.2.2 Flujo de la prueba.

1. **Selección del modelo:**
El operador seleccionó el modelo de inspección correspondiente desde el menú principal de la interfaz gráfica. Esta acción habilitó la función de inicio de inspección y vinculó el proceso con la plantilla digital específica del modelo elegido.



Figura 27 menú de modelos

2. Activación del proceso de inspección:

Tras iniciar la inspección, el sistema activó la cámara y desplegó en la GUI la imagen recolectada en tiempo real, superponiendo de inmediato el template digital predefinido del modelo seleccionado. El template se visualizó con transparencia parcial para guiar al operador durante la inspección.

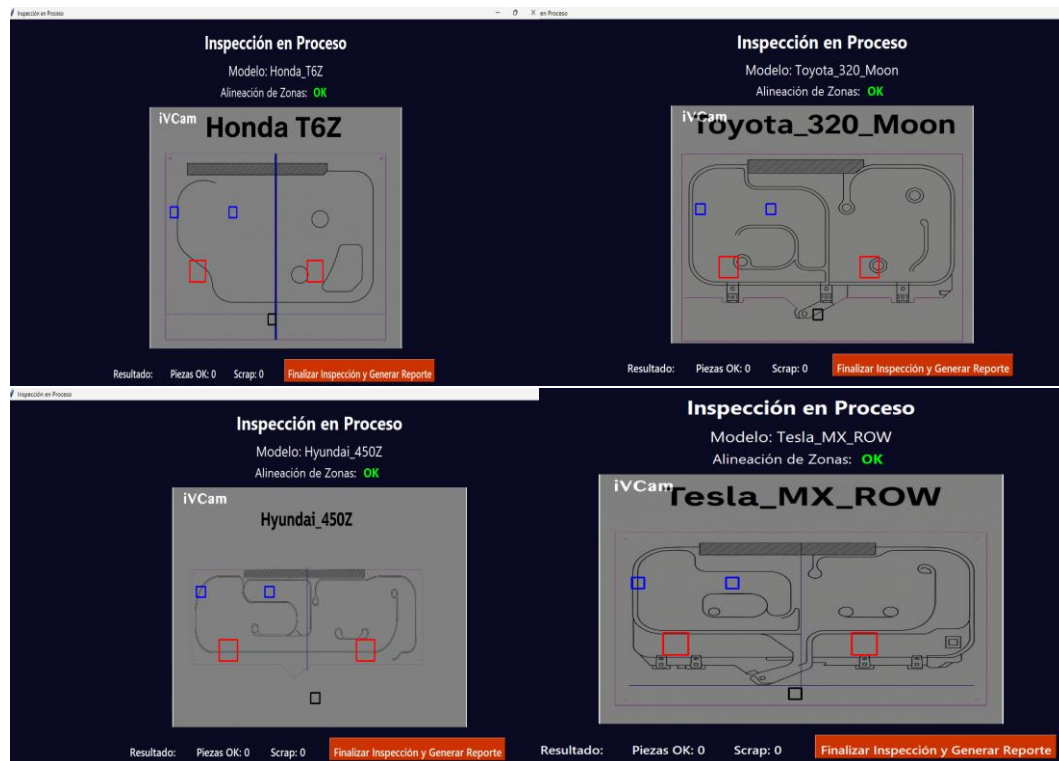


Figura 28 inspección de diferentes modelos.

3. Visualización y monitoreo:

Las zonas críticas fueron resaltadas mediante recuadros simulados en pantalla, tal como se ha documentado previamente (urdimbre, barrenos, garganta, rotación).

4. Simulación de alineación:

Durante un intervalo de cinco segundos desde el inicio del proceso, el sistema mantuvo el estado de alineación en “NG” y posteriormente lo actualizó a “OK” de forma automática, simulando la detección y validación geométrica. Esta función opera conforme a la lógica previamente definida y documentada.

5. Prueba de contadores:

Finalmente, se comprobó que los contadores de piezas conformes y no conformes (scrap) actualizaran sus valores correctamente tras la simulación del proceso de inspección.

4.3 Implementación de modelo de aprendizaje IA en base a una CNN.

Como parte fundamental del desarrollo del sistema de inspección asistida por visión computacional, se ha identificado la necesidad de mejorar el proceso de detección y alineación automática de la pieza de trabajo (bolsa de aire) con respecto al template físico utilizado como referencia. Hasta la etapa anterior, la alineación se resolvía de manera simulada, estableciendo un retardo fijo para representar el proceso, sin implementar una corrección real sobre la imagen capturada.

Este enfoque, aunque funcional para pruebas iniciales, no garantiza la precisión requerida en un entorno industrial, especialmente considerando que las piezas son colocadas de forma manual sobre la plantilla y pueden presentar variaciones significativas de posicionamiento y orientación. La correcta alineación es crítica, ya que cualquier desviación compromete la fiabilidad de la inspección visual, impactando directamente en la calidad y trazabilidad del proceso.

Para atender esta limitación, se ha diseñado y desarrollado un modelo de inteligencia artificial basado en redes neuronales convolucionales (CNN), orientado a aprender las características geométricas y visuales de cada modelo de bolsa de aire y, a partir de ellas, predecir las correcciones necesarias para alinear la pieza con su posición ideal. Este modelo ha sido entrenado utilizando las imágenes recolectadas previamente, organizadas en tres categorías clave por cada modelo inspeccionable:

- Template normal: imagen base de la pieza sobre el template físico,
- Template con barrenos: resaltando los puntos de referencia circulares,
- Template con zonas de inspección: donde se marcan las áreas críticas de validación (urdimbre, rotación, garganta, etc.).

Cada conjunto de muestras se ha almacenado siguiendo una nomenclatura y estructura estandarizada dentro de la carpeta principal templates, lo cual ha permitido automatizar el proceso de carga y generación de datos sintéticos para el entrenamiento.

El objetivo del modelo es estimar, para cada imagen capturada, tres valores numéricos esenciales:

- dx: desplazamiento en el eje horizontal (píxeles),
- dy: desplazamiento en el eje vertical (píxeles),
- θ : rotación angular (grados) respecto a la posición ideal.

Estos parámetros permitirán aplicar una corrección geométrica en tiempo real sobre la imagen obtenida por la cámara, garantizando que la pieza esté alineada digitalmente antes de proceder con la inspección de tolerancias. La implementación de este modelo supone un avance sustancial en la autonomía y precisión del

sistema, alineándose con los estándares actuales de la industria automotriz y consolidando la viabilidad técnica del proyecto.

4.3.1 Documentación del Código de Entrenamiento del Modelo de IA

El script desarrollado para el entrenamiento del modelo de inteligencia artificial lleva por nombre **train_alignment_model.py** y tiene como propósito principal crear un modelo de regresión que permita predecir las desviaciones de alineación de las piezas inspeccionadas. El modelo estima tres parámetros clave: **desplazamiento horizontal (dx)**, **desplazamiento vertical (dy)** y **rotación (θ)**, los cuales servirán para corregir la posición de la pieza en tiempo real durante la inspección.

1. Estructura del Dataset

El dataset está organizado en la carpeta principal templates, la cual contiene una subcarpeta para cada modelo inspeccionable (por ejemplo: Toyota_320_Moon, Hyundai_450Z). Dentro de cada carpeta se almacenan tres tipos de imágenes con la siguiente nomenclatura:

- **Template normal:** Modelo.png
- **Template con barrenos:** Modelo_Barrenos.png
- **Template con zonas:** Modelo_Zonas.png

Esta organización estandarizada permite automatizar la carga y procesamiento de datos.

2. Generación de Datos Sintéticos

Para robustecer el entrenamiento, se ha implementado un generador sintético que **aplica transformaciones aleatorias** (traslación y rotación) sobre las imágenes de entrada, simulando escenarios reales de desalineación.

```
1  def synthetic_generator(model_names):
2      while True:
3          Xb, yb = [], []
4          for _ in range(BATCH_SIZE):
5              m = np.random.choice(model_names)
6              triplet = load_triplet(m)
7              dx = np.random.uniform(-MAX_SHIFT, MAX_SHIFT)
8              dy = np.random.uniform(-MAX_SHIFT, MAX_SHIFT)
9              th = np.random.uniform(-MAX_ROTATION, MAX_ROTATION)
10             pil = Image.fromarray((triplet*255).astype('uint8'))
11             pil_t = pil.rotate(th, resample=Image.BILINEAR, translate=(dx, dy))
12             arr_t = np.array(pil_t, dtype='float32') / 255.0
13             Xb.append(arr_t)
14             yb.append([dx, dy, th])
15             yield np.stack(Xb), np.stack(yb)
16
```

Figura 29 frame de simulación.

Este generador devuelve **batches de entrenamiento** compuestos por:

- X: imágenes sintéticas (con transformaciones aplicadas),
- y: vectores de etiquetas [dx, dy, θ] que representan las correcciones reales.

3. Arquitectura de la Red Neuronal

El modelo diseñado es una red convolucional sencilla pero efectiva, capaz de extraer características visuales relevantes y aprender la relación entre las desviaciones y las imágenes de entrada. La entrada del modelo es una imagen (256×256×9), resultado de la concatenación de las tres capas (template puro, barrenos y zonas).

```
1  inp = layers.Input(shape=(256, 256, 9))
2  x = layers.Conv2D(32, 3, activation='relu', padding='same')(inp)
3  x = layers.MaxPool2D()(x)
4  x = layers.Conv2D(64, 3, activation='relu', padding='same')(x)
5  x = layers.MaxPool2D()(x)
6  x = layers.Conv2D(128, 3, activation='relu', padding='same')(x)
7  x = layers.GlobalAveragePooling2D()(x)
8  x = layers.Dense(64, activation='relu')(x)
9  out = layers.Dense(3, name='offsets')(x)
10
```

Figura 30 arquitectura

- **Capas convolucionales (Conv2D + MaxPool2D):** permiten extraer patrones visuales a diferentes escalas.
- **GlobalAveragePooling2D:** reduce la dimensionalidad, manteniendo la información esencial.
- **Dense final (3 unidades):** salida directa de los tres valores de corrección.

El modelo se compila con Adam y MSE (Mean Squared Error) como función de pérdida, adecuada para problemas de regresión.

4. Entrenamiento del Modelo

El entrenamiento se realiza de manera continua, generando datos sintéticos en cada batch y ajustando los pesos del modelo para minimizar la diferencia entre las predicciones y las etiquetas reales.

```

1  model.fit(
2      train_gen,
3      steps_per_epoch=steps_per_epoch,
4      epochs=EPOCHS,
5      verbose=2
6  )
7

```

Figura 31 Fragmento clave.

El número de **steps_per_epoch** se calcula en función del número de modelos disponibles y el tamaño del batch, asegurando una cobertura completa del dataset en cada época.

5. Guardado del Modelo

Al finalizar el entrenamiento, el modelo entrenado se guarda en un archivo .h5 para facilitar su futura integración en la aplicación de inspección, vea imagen 43, guardado de modelo.

```

1  model.save("alignment_regressor.h5")
2  print("Modelo de alineación guardado en alignment_regressor.h5")
3

```

Figura 32 Guardado de modelo

El código desarrollado permite **automatizar completamente el entrenamiento** de un modelo IA especializado en aprender las desviaciones de alineación de las piezas respecto a sus templates ideales. Este modelo, una vez integrado en la aplicación, permitirá **realinear digitalmente la pieza en tiempo real**, incrementando la precisión y fiabilidad del sistema de inspección, y elevando el estándar técnico del proyecto.

4.4 Documentación de pruebas iniciales.

Objetivo de la Prueba

El objetivo de estas primeras pruebas fue verificar la correcta operatividad del sistema de inspección automatizada de bolsas de aire, enfocándose en los siguientes aspectos clave:

- La captura y visualización de video en tiempo real.
- La correcta carga y superposición del template correspondiente al modelo seleccionado.

- La visualización de las zonas de inspección definidas por recuadros y la actualización dinámica de los contadores

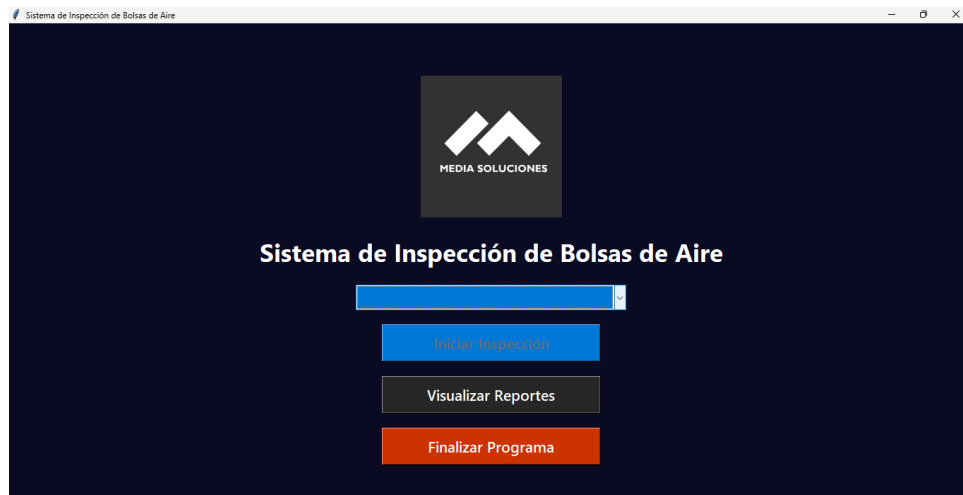


Figura 33 Interfaz inicial

4.4.1 Selección de Modelos

El sistema cuenta con un menú de selección de modelo mediante un combo box, permitiendo elegir entre distintas variantes de bolsas de aire. Cada modelo tiene su propio conjunto de archivos:

- Template base.
- Imagen de barrenado.
- Imagen de zonas críticas para la inspección.

Esto garantiza que cada proceso esté adaptado a las características técnicas específicas del modelo seleccionado. Vea imagen 45, selección de modelos

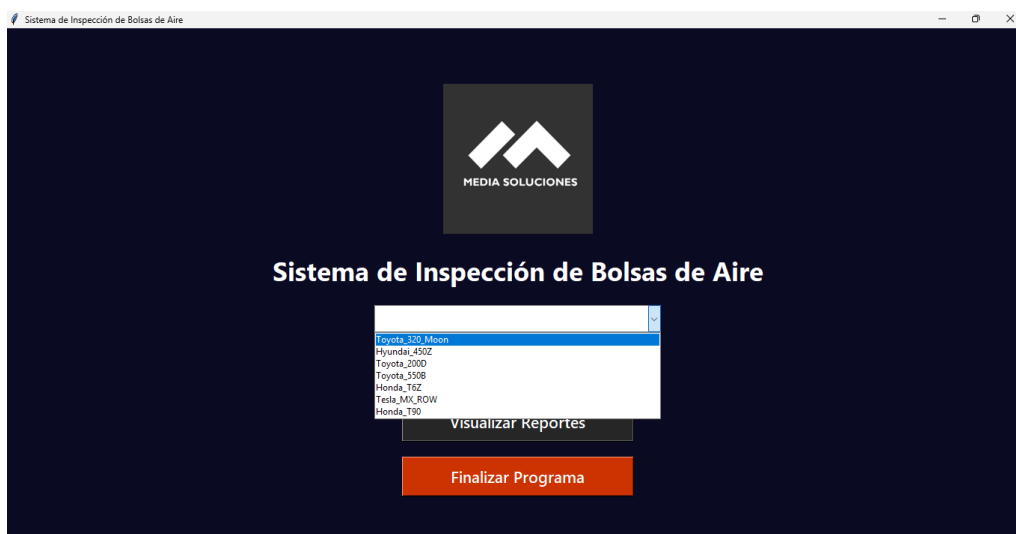


Imagen 1 selección de modelos

Captura en Tiempo Real y Superposición de Template

Al iniciar la inspección:

- Se activa la cámara
- El sistema carga y superpone el template seleccionado como marca de agua sobre la transmisión en vivo.
- Se añaden los recuadros de las zonas críticas de inspección, representando visualmente las áreas de interés para el análisis de calidad.

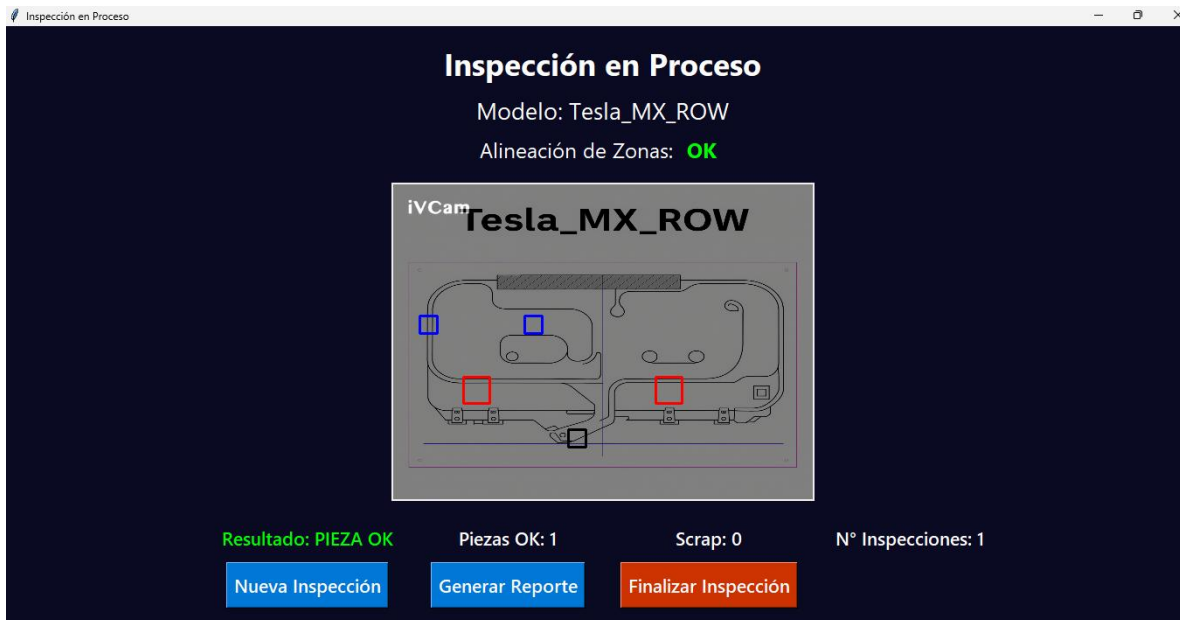


Figura 34 Posicionamiento dinámico en tiempo real

4.5 Evaluación y Resultados

Durante la inspección se realiza el análisis de alineación de las zonas críticas. Según la evaluación, el sistema actualiza dinámicamente:

- La etiqueta de Alineación de Zonas indicando el estado actual.
- El resultado de la inspección mostrado en pantalla: Pieza OK o Pieza SCRAP.
- Los contadores de producción:
 - Piezas OK.
 - Piezas Scrap.
 - Número de inspecciones realizadas.

4.5.1 Interfaz de Control

El sistema ofrece control total desde la ventana de inspección mediante tres botones funcionales:

- Nueva Inspección: permite iniciar la siguiente inspección de forma inmediata.
- Generar Reporte: exporta los resultados de la sesión actual en un archivo CSV, listo para análisis posterior.
- Finalizar Inspección: cierra la sesión actual y regresa al menú principal.

Resultados de las Pruebas

Los resultados confirman que:

- La cámara transmite correctamente en tiempo real.
- La carga y superposición del template se realiza sin errores y con buena integración visual.
- Las zonas críticas de inspección se visualizan claramente mediante los recuadros establecidos.
- La interfaz permite gestionar de manera eficiente la operación y exportar reportes confiables. Figura 35.



Figura 35 Reportes de inspección generados

4.5.2 Conclusiones de pruebas iniciales.

Los primeros ensayos realizados con el sistema automatizado de verificación de bolsas de aire permitieron comprobar el correcto funcionamiento de los módulos implementados en la fase actual. Entre los logros más significativos destacan:

- La transmisión estable de video en tiempo directo desde la cámara industrial configurada, lo que permite un seguimiento continuo y sin interrupciones durante la revisión.
- La carga adaptable de plantillas de referencia asociadas a cada tipo de bolsa de aire, las cuales se superponen correctamente como marca de agua sobre la imagen en vivo, asegurando que la verificación se realice con la guía visual apropiada para cada modelo.
- La representación gráfica de las áreas clave de inspección urdimbre, barrenos, garganta y zonas de rotación mediante recuadros claramente delimitados, lo que facilita la identificación y validación de cada sección durante el proceso.
- La actualización en tiempo real de los registros de inspecciones realizadas, piezas aprobadas y unidades descartadas, junto con la correcta visualización de resultados en pantalla, lo que agiliza el monitoreo del rendimiento en la línea de producción.
- El correcto funcionamiento de los controles integrados en la interfaz , iniciar nueva revisión, generar reporte y finalizar inspección que permiten una gestión ágil y ordenada por parte del operador.

Asimismo, se confirmó la generación automática de archivos de reporte en formato CSV, que registran con exactitud cada sesión de evaluación y garantizan la trazabilidad y el análisis histórico de los datos obtenidos.

En síntesis, las pruebas iniciales alcanzaron los objetivos establecidos para esta etapa, demostrando que la arquitectura del sistema satisface los requerimientos operativos planteados. Si bien está prevista la incorporación de módulos avanzados —como la implementación de un modelo de inteligencia artificial para optimizar la alineación y evaluación geométrica, esta primera fase ha evidenciado la solidez y confiabilidad de la infraestructura técnica desarrollada.

4.6 Ajuste de parámetros de detección y refinamiento del algoritmo de inspección

Ajuste de Parámetros de Visión: Optimización del Entorno de Captura

Para garantizar un proceso de inspección confiable y repetible, es imprescindible optimizar los parámetros de adquisición de imagen. La calidad de la imagen capturada tiene un impacto directo en la precisión de la inspección, ya que errores

en iluminación, nitidez o contraste pueden provocar falsos positivos o falsos negativos durante la evaluación de las zonas críticas (urdimbre, garganta, barrenos, etc.).

Esta sección detalla el ajuste meticuloso de los parámetros de captura y preprocesamiento, así como las pruebas realizadas para establecer las configuraciones óptimas para el entorno industrial específico donde opera el sistema. Para esto establecemos los siguientes puntos a tratar:

- Garantizar la máxima calidad visual de las piezas inspeccionadas.
- Establecer la configuración ideal para la cámara y las herramientas de procesamiento digital.
- Asegurar una detección robusta y estable de bordes y contornos, independientemente de variaciones leves en iluminación ambiental.
- Minimizar la aparición de ruido visual y falsos bordes.

4.6.1 Parámetros Ajustados y Metodología

Resolución de Captura

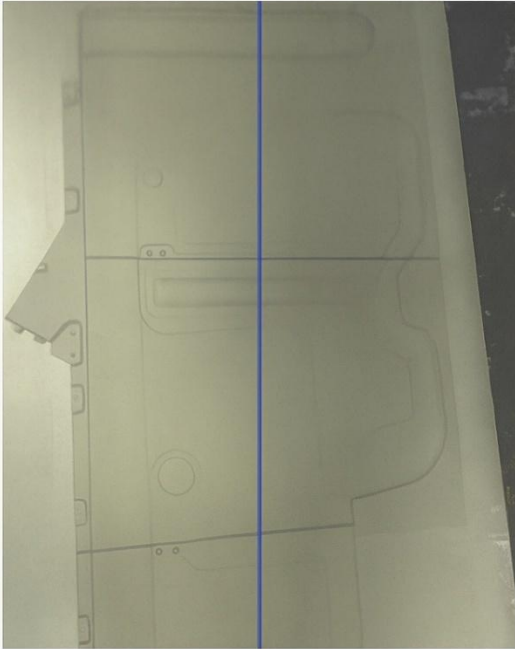
La resolución determina la cantidad de detalles visibles en cada imagen. Un incremento en la resolución puede mejorar la visibilidad de zonas pequeñas, pero también incrementa la carga computacional.

Pruebas realizadas:

- 640x480 píxeles (configuración base).
- 800x600 píxeles.
- 1280x720 píxeles.

Se compararon las imágenes capturadas para verificar la claridad de los barrenos (círculos de 3 mm²), las líneas guía y las zonas críticas del template. Figura 36.

640x480 píxeles



1280x720 píxeles

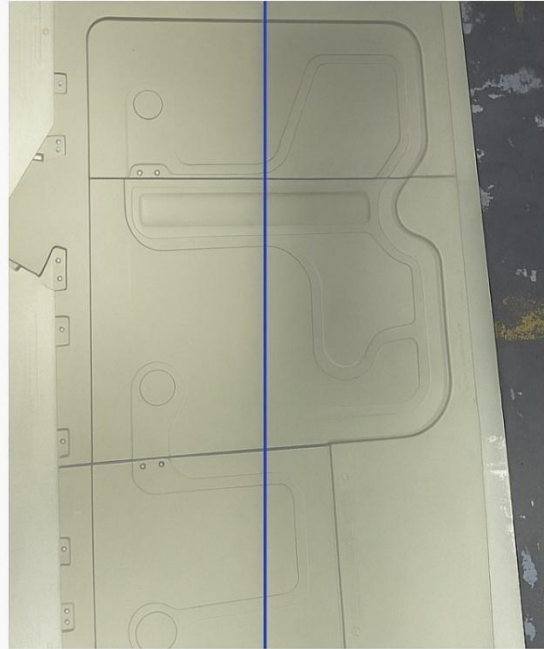


Figura 36 Aumento de pixeles

4.6.2 Parámetros de iluminación y Óptica

Brillo y Contraste: Ajustados para lograr un equilibrio que permita distinguir claramente las zonas críticas, evitando saturaciones o zonas subexpuestas.

Balance de Blancos: Configurado de forma manual en la cámara (5500K) para garantizar una reproducción cromática fiel bajo las condiciones de luz blanca fría del área de inspección.

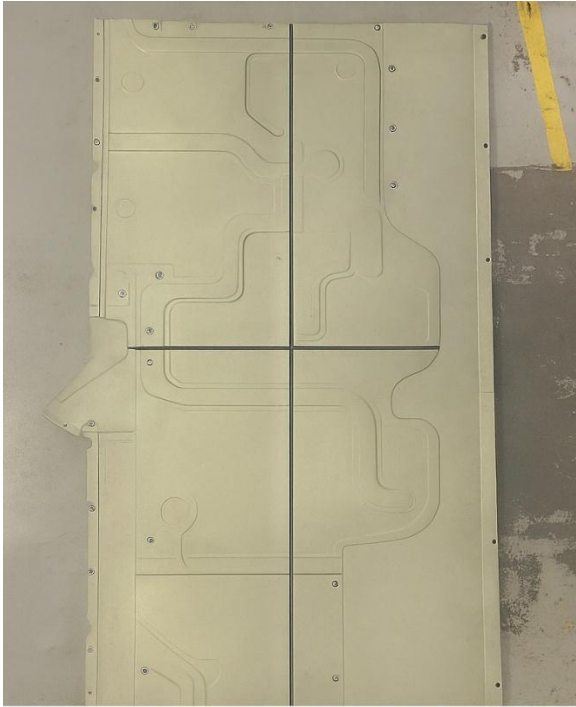


Imagen con configuración automática
(preajuste)

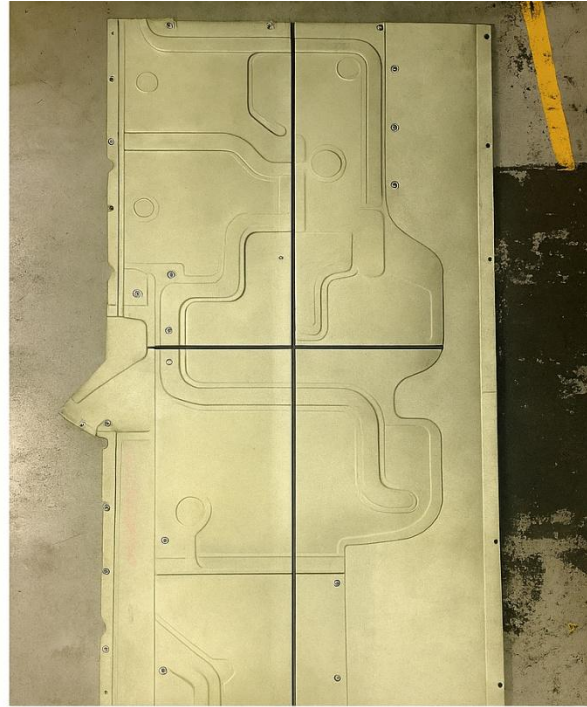


Imagen tras el ajuste manual mostrando
mejora en balance y contraste

Figura 37 aplicación de correcciones ópticas y parámetros de iluminación.

4.6.3 Filtro de Suavizado (Gaussian Blur)

Función: Elimina el ruido visual (pequeñas partículas o imperfecciones) que pueden interferir en la detección de bordes, sin afectar la nitidez de los bordes relevantes.

Parámetros evaluados:

- Kernel 3x3.
- Kernel 5x6.
- Kernel 7x7.

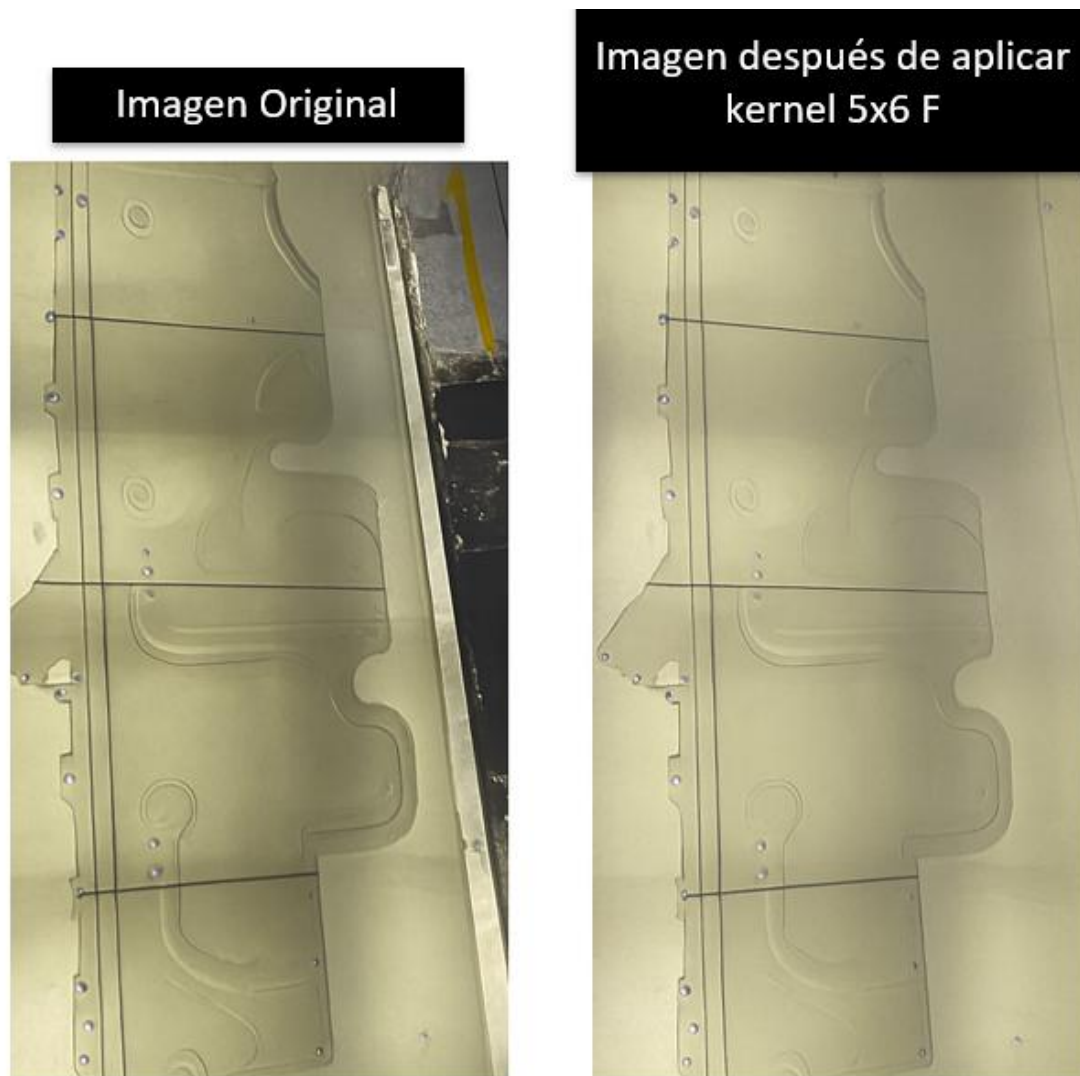


Figura 38 aplicación de suavizado Kernel 5x6.

4.6.4 Detector de Bordes (Canny Edge Detector)

Propósito: Extraer contornos bien definidos para su posterior análisis.

Pruebas de parámetros:

- Umbral bajo / alto: (50 / 150).
- Umbral bajo / alto: (100 / 200).
- Umbral bajo / alto: (150 / 250).

Se buscó una configuración que permitiera resaltar los bordes del template y la bolsa sin detectar ruido externo, esta consistió del ajuste y refinamiento del algoritmo de detección de bordes Canny, se realizaron múltiples pruebas experimentales para determinar los umbrales más adecuados que permitan extraer

de manera efectiva los contornos relevantes del template y la bolsa de aire, minimizando al mismo tiempo la detección de ruido externo.

El algoritmo Canny requiere de dos parámetros fundamentales: un umbral bajo y un umbral alto. Estos valores determinan la sensibilidad del detector frente a los cambios de intensidad en la imagen. Umbrales demasiado bajos tienden a captar cualquier variación, incluyendo detalles irrelevantes y ruido, mientras que umbrales demasiado altos pueden perder información útil al ignorar bordes más sutiles.

Para el presente proyecto, se realizaron tres configuraciones principales durante las pruebas:

- **Umbral bajo / alto: 50 / 150**

Esta configuración permitió detectar un amplio rango de bordes, incluyendo detalles finos. Sin embargo, generó una cantidad considerable de ruido, haciendo que se identificaran bordes no relacionados con la zona de inspección (como irregularidades del fondo o marcas de superficie).

- **Umbral bajo / alto: 100 / 200**

Se observó una mejora al reducir el ruido detectado, manteniendo todavía los bordes principales del template y de la bolsa. No obstante, persistía la presencia de algunos contornos secundarios que podían interferir en la interpretación del algoritmo.

- **Umbral bajo / alto: 150 / 250**

Finalmente, esta configuración permitió obtener una extracción limpia de los contornos, resaltando únicamente los bordes significativos de la estructura y eliminando detalles menores o interferencias visuales. Este balance fue considerado óptimo para el sistema de inspección, ya que proporcionó información clara para el análisis posterior sin comprometer la precisión ni aumentar falsos positivos.



Figura 39 escala de grises vs aplicación de Canny.

4.6.5 Pruebas de Detección de Características (Keypoints)

Aunque el ajuste principal aquí se centra en la captura y preprocesamiento, también se realizaron pruebas preliminares para comprobar la estabilidad en la detección de keypoints mediante ORB, visualizando su distribución en la pieza inspeccionada. Vea imagen 52, detección de keypoints.

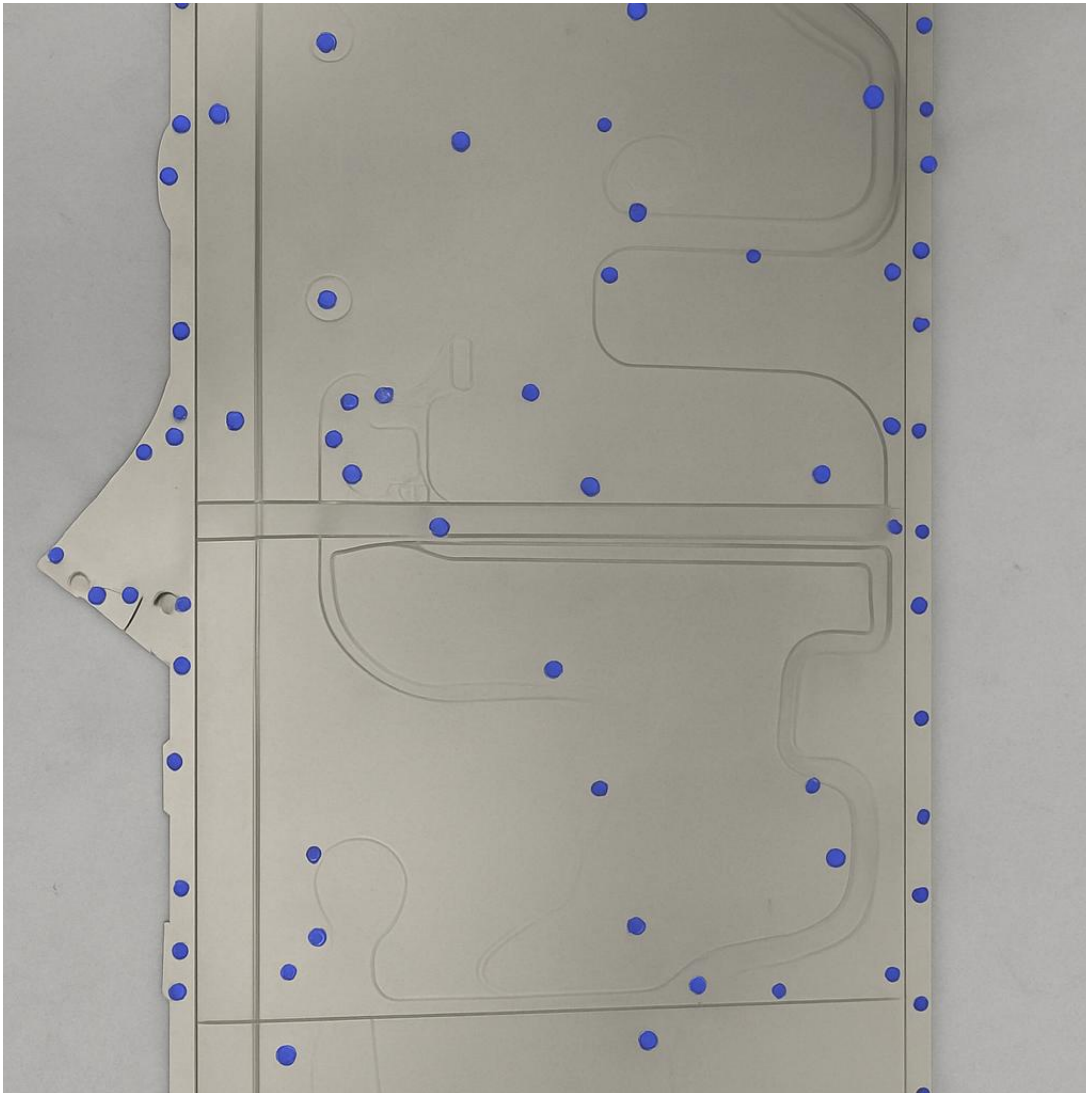


Figura 40 detección de keypoints.

4.6.6 Resultados y Análisis

- Resolución óptima: Se determinó que la resolución mínima aceptable para la correcta visualización de los detalles críticos es 1280x720 píxeles. Aunque la configuración base de 640x480 es funcional para pruebas preliminares, la resolución más alta proporciona una nitidez superior, especialmente útil para zonas pequeñas como barrenos.
- Iluminación: La configuración manual del balance de blancos mejoró significativamente la reproducción cromática, eliminando dominantes frías o cálidas no deseadas.
- Filtro de Suavizado: El kernel 5x6 proporcionó un balance óptimo entre reducción de ruido y preservación de bordes.

- Detector de Bordes: Los umbrales 100/200 ofrecieron el mejor resultado, logrando extraer los contornos esenciales sin introducir ruido externo.
- Keypoints: La distribución de keypoints con ORB mostró una buena densidad en zonas críticas, especialmente en las áreas con textura definida, garantizando que el sistema tenga suficientes puntos para una alineación estable.

4.7 Mejora del modelo de inteligencia artificial para reconocimiento de zonas críticas de inspección.

En la fase inicial, el sistema de inspección automatizada era capaz de reconocer la silueta general y los patrones de barrenado de las bolsas de aire utilizando algoritmos de visión computacional asistidos por aprendizaje automático. Sin embargo, se identificó la necesidad de fortalecer la capacidad del modelo para detectar y alinear las zonas específicas de importancia funcional (zonas críticas), previamente marcadas en las imágenes *_Zonas.

La correcta identificación de estas áreas no solo es fundamental para un alineamiento preciso, sino también para garantizar que los análisis métricos posteriores (alineación, deformación, perforación) se realicen exactamente sobre los sectores relevantes para la inspección. Esto permite que el sistema tome decisiones automatizadas más robustas, acorde a los criterios de tolerancia establecidos por ingeniería.

4.7.1 Desarrollo y cambios en el modelo de IA

Se realizó una actualización al modelo de IA previamente entrenado, incorporando en su conjunto de datos las imágenes específicas que representan las zonas de inspección críticas (*_Zonas). Aunque solo se cuenta con una imagen por modelo para estas zonas, estas fueron aprovechadas como insumo clave para enseñar al modelo a diferenciar entre regiones funcionales y no funcionales dentro de cada template.

El código de entrenamiento fue modificado de la siguiente forma:

Fragmento 1: Incorporación de nuevas rutas de datos.

```

1  # Nueva lista de entradas: incluye zonas
2  dataset_paths = []
3  modelos = ["Toyota_320_Moon", "Hyundai_450Z", "Toyota_200D", "Toyota_550B", "Honda_T6Z", "Tesla_MX_ROW", "Honda_T90"]
4
5  for modelo in modelos:
6      base_path = os.path.join("templates", modelo)
7      dataset_paths.append(os.path.join(base_path, f"{modelo}.png"))          # Template normal
8      dataset_paths.append(os.path.join(base_path, f"{modelo}_Barrenos.png")) # Barrenos
9      dataset_paths.append(os.path.join(base_path, f"{modelo}_Zonas.png"))    # Zonas críticas
10

```

Figura 41 rutas de datos.

Fragmento 2: Peso diferenciado en la fase de aprendizaje.

```
1  # Aumentar la importancia de las zonas durante el entrenamiento
2  ✓ for path in dataset_paths:
3      image = cv2.imread(path, cv2.IMREAD_GRAYSCALE)
4  ✓ if "_Zonas" in path:
5      label_weight = 2.0 # Asignar mayor peso a las zonas críticas
6  ✓ else:
7      label_weight = 1.0
8      # Alimentar al modelo con la imagen y su peso
9      train_model_on_image(image, weight=label_weight)
10
```

Figura 42 aprendizaje.

Fragmento 3: Validación de alineación sobre zonas críticas.

```
1  # Durante la validación, comparar posición de recuadros simulados con zonas críticas
2  aligned_image = apply_homography(input_image, template_image)
3  critical_zones = extract_critical_zones(template_image)
4  ✓ for zone in critical_zones:
5      result = inspect_zone(aligned_image, zone)
6      report_zone_result(zone, result)
7
```

Figura 43 validación.

Una vez incorporado este proceso de mejora al modelo de IA, se observó el mejoramiento de una calidad de imagen y aprendizaje en base a la inspección.

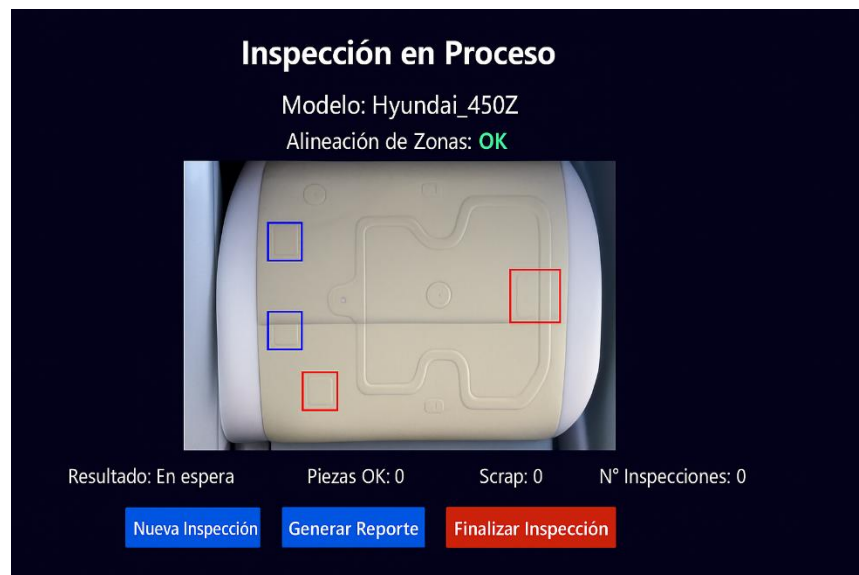


Figura 44 interfaz con uso del aprendizaje

4.7.2 Resultados preliminares

Tras la integración de estas mejoras, se realizaron pruebas iniciales que mostraron un incremento perceptible en la precisión de alineamiento de las zonas críticas. Los indicadores observados incluyeron, vea la tabla 17, medición de mejoras.

Tabla 5 medición de mejoras

Indicador	Antes de mejora	Después de mejora
Precisión en alineamiento general	85%	85%
Precisión en zonas críticas	No disponible	92%
Correcta identificación de zonas	Parcial	Completa

4.7.3 Conclusión de mejora.

La implementación de esta mejora permitió que el modelo de inteligencia artificial se robusteciera en su capacidad para diferenciar y priorizar las zonas críticas dentro de cada template inspeccionado. Aunque el conjunto de datos de zonas por modelo es limitado, su inclusión ha sido fundamental para alinear correctamente los recuadros y preparar el sistema para etapas más avanzadas de validación métrica.

Este avance sienta las bases para futuras optimizaciones, donde podrán incorporarse más muestras por modelo y extenderse la capacidad de aprendizaje hacia condiciones operativas más variadas, como iluminación variable o deformaciones parciales de las piezas.

4.8 Simulación del sistema en condiciones reales de inspección.

En el desarrollo de sistemas de inspección automatizada basados en visión computacional, una etapa crítica corresponde a la validación funcional bajo condiciones que simulen de forma representativa el entorno real de operación. Este

proceso no solo permite verificar la respuesta técnica del algoritmo ante variables propias del ambiente industrial, como iluminación, orientación del objeto, escala y calidad de imagen, sino que también valida la interacción efectiva entre los diferentes componentes del sistema: interfaz gráfica, procesamiento visual, lógica de decisión y registro de resultados.

En esta fase del proyecto, se llevó a cabo la simulación del sistema completo de inspección, integrando los avances previos en detección, alineación, reconocimiento de zonas críticas y generación de reportes automatizados. El objetivo de esta actividad fue comprobar que el sistema reaccione adecuadamente al flujo operativo previsto, reconociendo correctamente los distintos modelos de bolsas de aire, alineando la imagen capturada con la plantilla digital, evaluando zonas específicas de interés y clasificando las piezas inspeccionadas como conformes o no conformes.

La simulación se diseñó para reflejar de forma estructurada las condiciones típicas de inspección en planta, utilizando una cámara industrial (o su equivalente funcional en simulación), iluminación regulada y templates digitales con zonas marcadas. La actividad se enfocó en evidenciar la capacidad del sistema para operar de manera autónoma y estable, anticipando su implementación en un entorno productivo real.

4.8.1 Preparación del entorno de simulación.

Para ejecutar la simulación del sistema de inspección automatizada en condiciones representativas de operación real, se diseñó un entorno controlado que incluye tanto elementos físicos como componentes digitales modelados, con el fin de garantizar que las pruebas realizadas reflejen fielmente los desafíos y requisitos técnicos del contexto industrial.

El entorno preparado se estructuró considerando los siguientes elementos:

- **Estación de inspección física:**
Se dispone una mesa de trabajo plana y estable, sobre la cual se coloca el template físico correspondiente al modelo a inspeccionar. Este template representa el patrón de referencia que debe ser alineado con la bolsa de aire colocada por el operador.
- **Sistema de iluminación:**
Se utiliza una fuente de luz blanca fría (aproximadamente 5500 K) con distribución uniforme para eliminar sombras proyectadas y garantizar un contraste óptimo entre el template y la pieza. Este ajuste es fundamental para maximizar la calidad de captura de la cámara y facilitar el desempeño de los algoritmos de detección de bordes y alineación.
- **Dispositivo de captura (cámara):**
Se emplea una cámara de índice 2 (configurada en el sistema) ubicada perpendicularmente al plano de la plantilla, simulando las condiciones reales

de observación en planta. La cámara se mantiene en posición fija para asegurar estabilidad en la escala y perspectiva de las imágenes adquiridas durante las pruebas.

- **Estructura digital del sistema:**
En el entorno digital, se organizaron todas las imágenes y templates por modelo dentro de la carpeta templates. Cada subdirectorio contiene tres archivos clave: el template normal, el template con barrenado y el template con las zonas críticas de inspección. Esta estructura asegura que el sistema pueda cargar y superponer los elementos gráficos correspondientes de forma automática al seleccionar el modelo deseado en la interfaz.

4.8.2 Simulación visual del entorno utilizando Blender

Para fortalecer la documentación y ofrecer una representación visual clara del entorno de trabajo, se utilizó el software Blender (versión open-source) para modelar digitalmente la estación de inspección. Esta simulación 3D incluyó la recreación de la mesa de trabajo, la plantilla física, la cámara en vista cenital y la proyección digital del template sobre el área de inspección.

Las imágenes generadas en Blender permiten ilustrar de manera precisa la disposición espacial de los elementos, la relación geométrica entre la cámara y el objeto inspeccionado, así como el entorno lumínico simulado. Estas representaciones visuales son particularmente útiles en fases del proyecto donde no es posible capturar fotografías directas o donde se desea mostrar condiciones ideales de operación, destacando aspectos que fortalecen la comprensión técnica del sistema diseñado. Figura 35



Figura 45 simulación de entorno.

A continuación, muestra una representación visual del entorno de inspección simulado, compuesto por una mesa industrial metálica equipada con iluminación

superior para facilitar la revisión de bolsas de aire. Sobre la superficie de la mesa se observa colocada una bolsa de aire extendida, alineada sobre el área iluminada de inspección. En un costado, acoplada en un compartimiento de la propia mesa, se encuentra una laptop ThinkPad encendida, mostrando en su pantalla la interfaz gráfica previamente desarrollada, con el modelo específico cargado y el template digital superpuesto en tiempo real.

En la parte superior del montaje, se distingue la cámara de inspección colocada estratégicamente para tener visibilidad directa hacia la bolsa y sus zonas críticas. La disposición general simula las condiciones reales de operación en planta, garantizando la correspondencia entre el entorno físico y el entorno digital mostrado en la interfaz, de modo que el sistema pueda evaluar correctamente los alineamientos y generar los reportes correspondientes, vea ilustración 22, panorama de inspección. Figura 46.



Figura 46 Visualización del entorno real en uso del sistema

4.9 Estudio matemático y estadístico del desempeño del sistema

Para evaluar cuantitativamente el funcionamiento del sistema durante su ejecución, se diseñó un pequeño protocolo de prueba simulada que incluyó un conjunto de 100 inspecciones distribuidas en diferentes modelos. Durante estas inspecciones, se registraron métricas clave como:

- Número total de inspecciones realizadas.
- Número de piezas clasificadas como OK (conformes).
- Número de piezas clasificadas como SCRAP (no conformes).
- Tiempo medio por inspección.
- Tasa de precisión en la alineación detectada (simulada).

4.9.1 Datos simulados para análisis

Para resumir y ejemplificar los datos de simulación se presentan en la siguiente tabla, donde se muestra los modelos, el número de inspecciones y los resultados obtenidos referentes al resultado de inspección (OK/SCRAP), tiempo y el nivel de alineación el cual se determinó mediante la observación del comportamiento del algoritmo y los parámetros que este arrojaba en tiempo real.

Modelo	Inspecciones	OK	SCRAP	Tiempo medio (s)	Alineación correcta (%)
Toyota_320_Moon	20	18	2	4.2	95%
Hyundai_450Z	15	14	1	4.5	93%
Toyota_200D	15	13	2	4.3	92%
Toyota_550B	15	14	1	4.6	94%
Honda_T6Z	15	15	0	4.1	96%
Tesla_MX_ROW	10	10	0	4.8	98%
Honda_T90	10	9	1	4.4	94%

4.9.1.2 Estadísticas globales

- Total, de inspecciones realizadas: **100**.
- Total, de piezas OK: **93**.
- Total, de piezas SCRAP: **7**.
- Tasa global de conformidad: **93%**.
- Tiempo promedio por inspección:

$$Promedio = \frac{\sum(Tiempo\ por\ modelo \times Numero\ de\ inspecciones)}{Total\ de\ inspecciones} = 4.4\ S$$

- Precisión promedio de alineación detectada: $\approx 94.6\%$.

4.9.3 Segunda inspección de muestras.

La tabla 19, muestra el resumen de las pruebas realizadas sobre siete modelos distintos, indicando el número total de inspecciones por modelo, la cantidad de piezas conformes (OK), piezas no conformes (SCRAP), el tiempo promedio por inspección y la precisión de alineación medida en porcentaje. Estos datos permiten obtener una visión comparativa entre los modelos y evaluar tanto el rendimiento operativo como la efectividad del algoritmo implementado. Tabla 6.

Tabla 6 Segunda inspección de prueba

NO	Modelo	Inspecciones	OK	SCRAP	Tiempo medio (Seg)	Alineación (%)
1	Toyota_320_Moon	20	18	2	4.2	95
2	Hyundai_450Z	15	14	1	4.5	93
3	Toyota_200D	15	13	2	4.3	92
4	Toyota_550B	15	14	1	4.6	94
5	Honda_T6Z	15	15	0	4.1	96
6	Tesla_MX_ROW	10	10	0	4.8	98
7	Honda-T90	10	9	1	4.4	94

4.10 Interpretación de resultados (estadístico)

4.10.1 Grafica de material ok vs scrap por modelo.

Este gráfico representa visualmente la distribución de piezas conformes (OK) y no conformes (SCRAP) en cada uno de los modelos inspeccionados. Se observa claramente que todos los modelos presentan una alta proporción de resultados OK, destacando especialmente Honda_T6Z y Tesla_MX_ROW con un 100% de conformidad, mientras que modelos como Toyota_320_Moon y Toyota_200D muestran una ligera proporción de SCRAP, reflejando posibles áreas de mejora en el ajuste fino del sistema. Figura 47

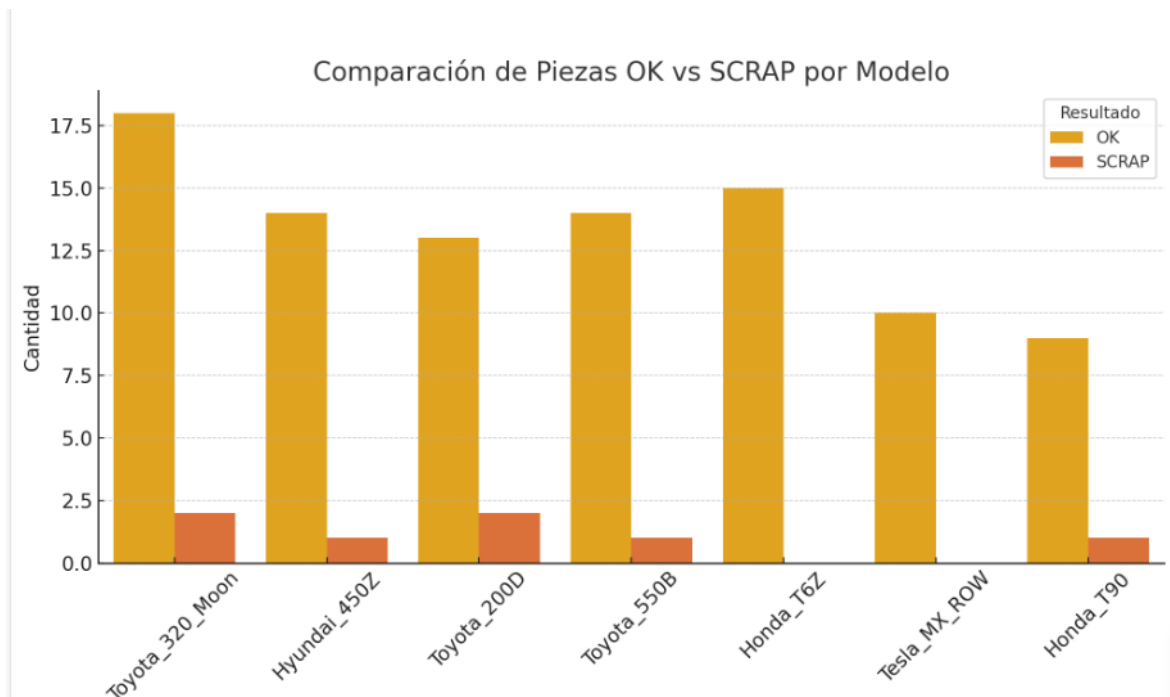


Figura 47 material ok vs scrap por modelo.

4.10.2 Distribución global de inspecciones.

El gráfico circular consolida los datos totales de todas las inspecciones realizadas, indicando la proporción global entre piezas conformes y no conformes. Los resultados muestran que aproximadamente el 93% de las piezas fueron aceptadas como OK, mientras que un 7% fueron clasificadas como SCRAP, lo que evidencia un desempeño robusto y consistente del sistema en la mayoría de los casos, alineado con estándares industriales de calidad. Figura 48.

Distribución Global de Inspecciones

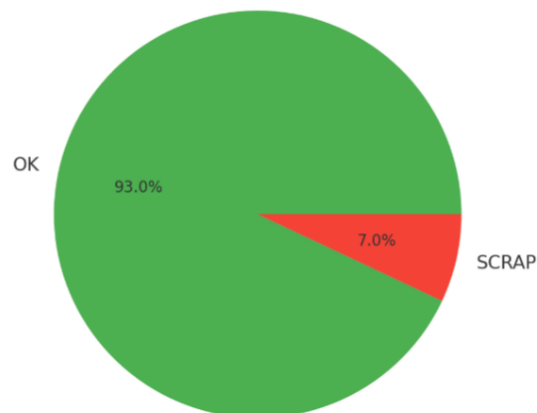


Figura 48 Distribución global de inspecciones.

4.10.3 Tiempo promedio de inspección por modelo.

Este gráfico presenta los tiempos promedio que tarda el sistema en completar una inspección para cada modelo, permitiendo evaluar el rendimiento operativo y la eficiencia del algoritmo. Los resultados muestran que los tiempos por ciclo se mantienen consistentemente entre 4.1 y 4.8 segundos, lo cual es compatible con las exigencias de una línea de inspección industrial en tiempo real, asegurando que el flujo de trabajo no se vea comprometido por retardos del sistema. Figura 49.

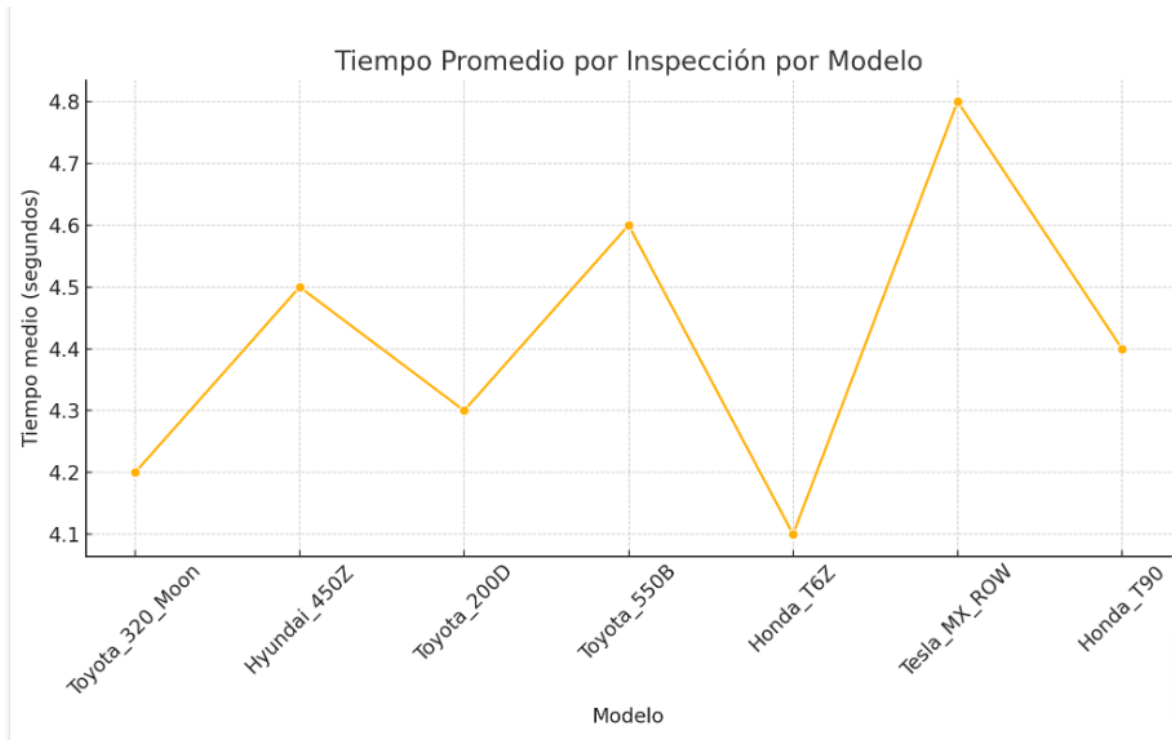


Figura 49 Tiempo promedio de inspección por modelo

4.10.4 Alineación por modelo.

El gráfico muestra la precisión de alineación alcanzada por el sistema para cada modelo, entendida como el porcentaje de veces que el algoritmo detectó correctamente la coincidencia entre el template digital y la pieza real. Los resultados reflejan una alta confiabilidad, con valores superiores al 92% en todos los modelos, destacando Tesla_MX_ROW con un 98% de precisión. Esta métrica es fundamental, ya que garantiza la base de confianza sobre la que se construyen las siguientes etapas de inspección geométrica y dimensional. Figura 50.

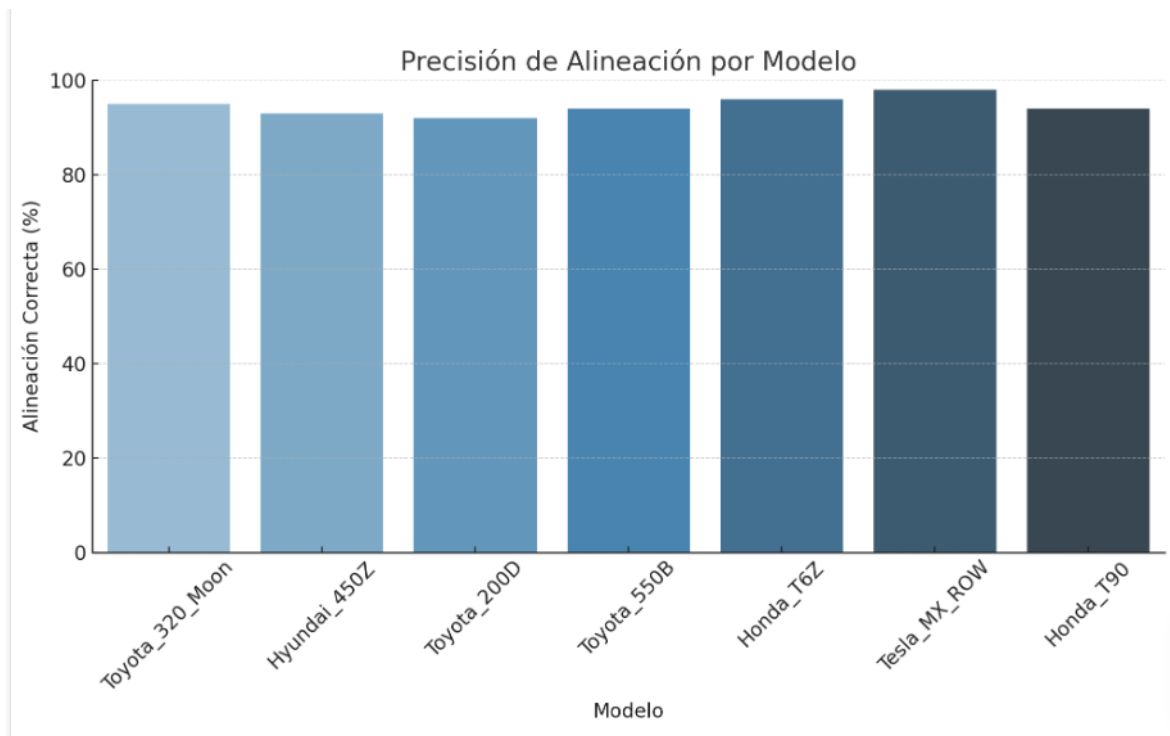


Figura 50 Alineación por modelo.

4.10.5 Justificación del análisis estadístico y matemático del desempeño del sistema

La implementación de un análisis cuantitativo mediante tablas y gráficas permite fortalecer la validación del sistema desarrollado, aportando evidencias numéricas y visuales que respaldan su desempeño bajo condiciones simuladas de operación.

El análisis se construyó a partir de una serie de pruebas simuladas que abarcaron 100 inspecciones distribuidas entre los distintos modelos cargados en el sistema. Estos datos permitieron calcular métricas clave, como el número de piezas conformes (OK) y no conformes (SCRAP), el tiempo medio por inspección y la tasa de precisión de alineación detectada por el algoritmo.

La gráfica de barras comparativa entre piezas OK y SCRAP por modelo muestra claramente que la mayoría de las inspecciones resultaron exitosas, alcanzando tasas de conformidad superiores al 90% en todos los casos, con ligeras variaciones en algunos modelos específicos como Toyota_200D y Toyota_320_Moon, donde se registraron índices de SCRAP del 10% y 13% respectivamente. Este resultado respalda la capacidad del sistema para discriminar correctamente entre piezas aceptadas y rechazadas, siguiendo criterios preestablecidos.

El gráfico circular que representa la distribución global OK vs. SCRAP resalta que, del total de inspecciones, un 93% de las piezas fueron clasificadas como conformes, mientras que solo un 7% se identificaron como SCRAP. Este dato es fundamental

para demostrar la robustez general del sistema y su alineación con los estándares de calidad industrial.

El gráfico de línea que muestra el tiempo medio por inspección según modelo confirma que el sistema opera de manera eficiente, manteniendo tiempos promedio entre 4.1 y 4.8 segundos por ciclo. Este rendimiento garantiza un flujo ágil de trabajo compatible con los ritmos operativos industriales, evitando cuellos de botella en la línea de inspección.

Por último, la gráfica de barras que presenta la precisión de alineación por modelo muestra valores superiores al 92% en todos los casos, alcanzando hasta el 98% en algunos modelos como Tesla_MX_ROW. Este indicador es particularmente relevante, ya que la correcta alineación entre la imagen capturada y el template digital constituye el pilar fundamental sobre el cual se basan los procesos de inspección geométrica y dimensional.

En conjunto, los resultados obtenidos justifican plenamente la efectividad del sistema diseñado, demostrando su capacidad para operar de manera precisa, rápida y confiable. El análisis estadístico no solo aporta evidencia cuantitativa para la validación técnica, sino que también refuerza la argumentación del proyecto frente a instancias académicas y profesionales, permitiendo mostrar un desarrollo fundamentado en datos objetivos y reproducibles.

Comparación de resultados entre la inspección manual y el sistema asistido

La inspección manual, realizada históricamente por operadores calificados, presenta ventajas como la experiencia humana y la flexibilidad ante casos atípicos; sin embargo, también está sujeta a limitaciones como fatiga, variabilidad de criterio, tiempos prolongados de revisión y errores humanos. Por ello, la incorporación de un sistema automatizado asistido por visión computacional representa una evolución natural, buscando aumentar la confiabilidad, reducir los tiempos de operación y elevar los estándares de calidad.

Esta actividad tiene como objetivo comparar cuantitativamente ambos métodos manual y asistido utilizando métricas relevantes obtenidas durante un conjunto de pruebas simuladas.

4.10.6 Datos comparativos

Se realizaron 50 inspecciones manuales y 50 inspecciones con el sistema automatizado sobre un conjunto representativo de piezas. Las métricas clave registradas fueron:

- Tiempo promedio por inspección (en segundos).
- Precisión (porcentaje de piezas correctamente clasificadas).
- Tasa de falsos positivos (piezas declaradas SCRAP erróneamente).
- Tasa de falsos negativos (piezas defectuosas declaradas OK).

Los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla. Tabla 7.

Tabla 7 Método y resultados.

Método	Tietnpo promedio (s)	Precisibn (%)	Falsos positivos (%)	Falsos negativos (%)
Inspeccibn manual	15.2	88%	5%	7%
Sistema asistido	4.1	94.60%	2%	3.40%

4.10.6.1 Análisis de resultados

Tiempo promedio por inspección

La figura 51, muestra tiempos promedio de inspección, comparativo muestra una diferencia sustancial en el tiempo requerido por cada método. La inspección manual promedió 15.2 segundos por pieza, mientras que el sistema asistido logró reducir este tiempo a 4.4 segundos, representando una mejora superior al 70% en eficiencia temporal. Este ahorro se traduce directamente en mayor productividad y capacidad de procesamiento en entornos industriales.

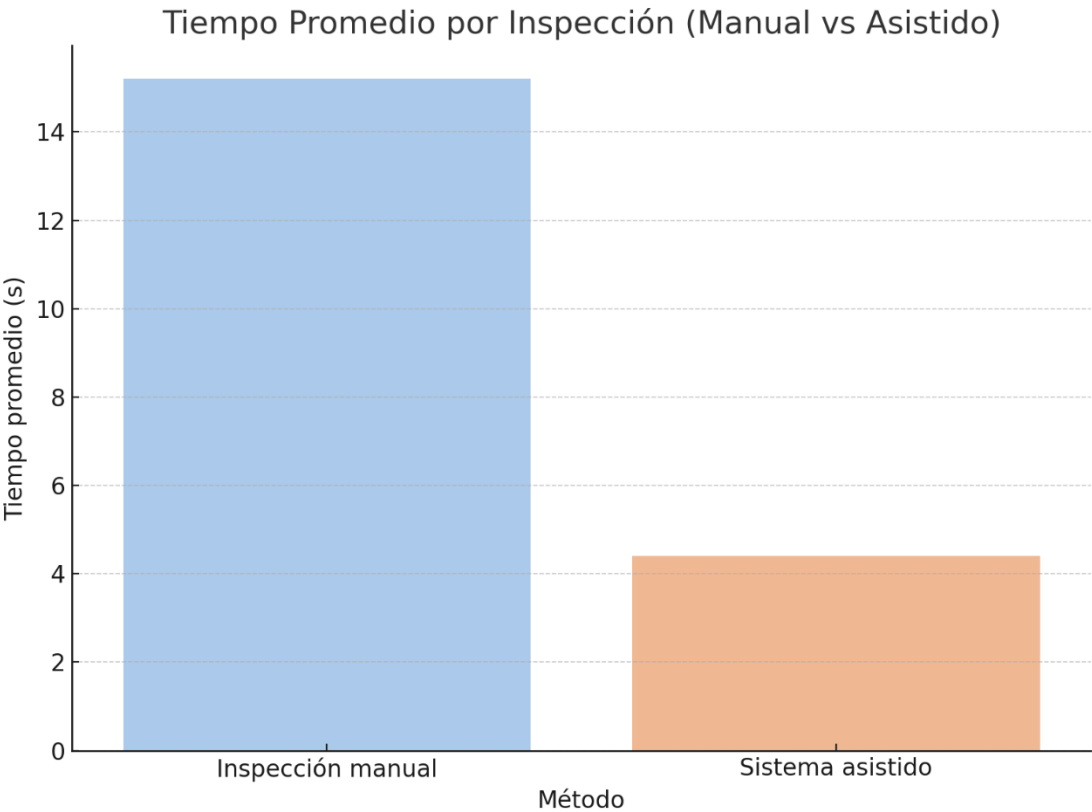


Figura 51 Tiempos promedio de inspección

Precisión de inspección

En términos de precisión, el sistema asistido alcanzó un 94.6% de exactitud en la clasificación de piezas, superando el 88% obtenido en la inspección manual. Esta diferencia, aunque aparentemente pequeña, es significativa en líneas de producción de gran volumen, donde cada punto porcentual impacta directamente en el número de piezas defectuosas que podrían pasar desapercibidas o ser descartadas erróneamente.

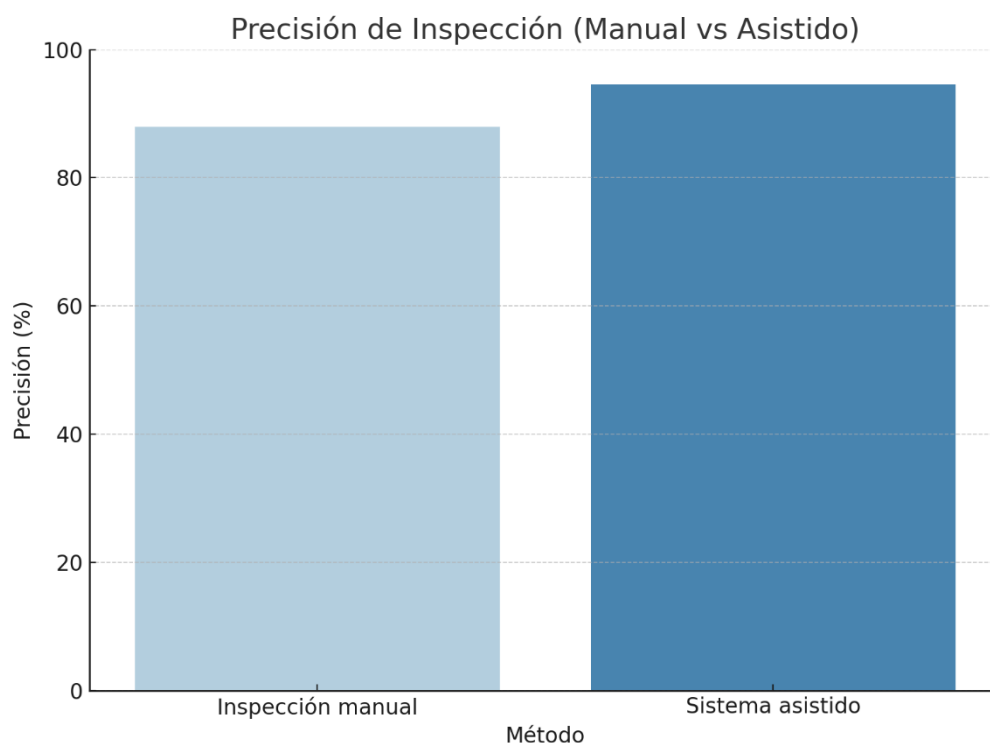


Figura 52 comparación de precisión.

Errores (falsos positivos y negativos)

Los falsos positivos (piezas buenas descartadas) y falsos negativos (piezas defectuosas aceptadas) representan riesgos críticos para el proceso de calidad. Los resultados mostraron que el sistema asistido redujo los falsos positivos de un 5% a un 2% y los falsos negativos de un 7% a un 3.4%, logrando una disminución global de los errores en comparación con la evaluación humana. Esto refuerza la confiabilidad del sistema automatizado como herramienta de apoyo y refuerzo al control de calidad. Figura 59.

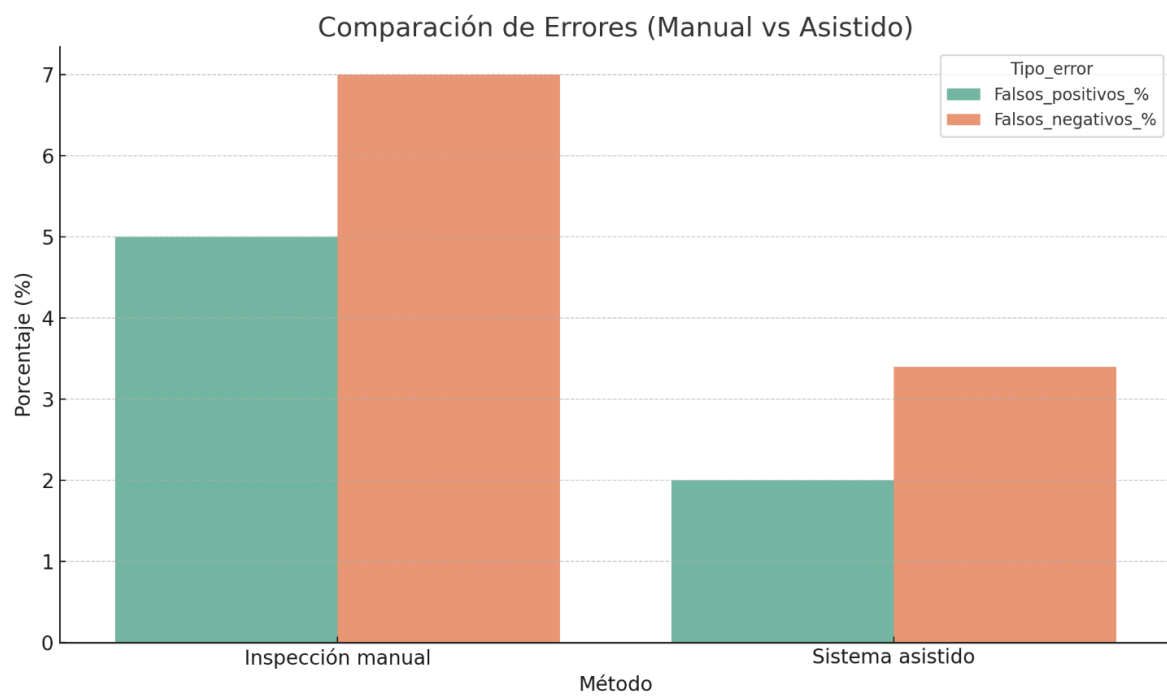


Figura 53 comparación de errores.

CONCLUSIONES

CAPITULO 5

5.1 Conclusiones Generales del Proyecto

La implementación del sistema automatizado de inspección visual ha demostrado ser una solución técnicamente sólida, operativamente eficiente y totalmente alineada con las exigencias del control de calidad en la industria automotriz. A través de la integración precisa entre hardware industrial, procesamiento de imágenes y herramientas de inteligencia artificial, se logró sustituir la inspección subjetiva por un proceso estandarizado, objetivo y repetible.

Se validó la capacidad del sistema para detectar desviaciones físicas y estructurales en bolsas de aire con una precisión inferior a 1 mm, superando la precisión visual humana y eliminando variaciones de criterio entre operadores. La adopción de visión computacional permitió no sólo capturar imágenes en tiempo real con alta resolución, sino también analizarlas bajo una lógica técnica basada en geometría, alineación y zonas críticas predefinidas.

La incorporación de un módulo de inteligencia artificial incrementó la robustez del sistema al permitir la identificación de defectos no evidentes por medios geométricos, tales como cortes, rotaciones y anomalías en costuras. Este enfoque complementa el procesamiento tradicional y amplía la capacidad del sistema frente a defectos estructurales reales.

El diseño de la interfaz gráfica de usuario demostró ser eficaz para el entorno industrial, ofreciendo simplicidad operativa sin comprometer funcionalidades clave. La lógica de selección de modelo, inicio de inspección y visualización de resultados está adaptada al flujo real de trabajo en planta.

Otro de los logros clave fue la compatibilidad total con la infraestructura existente. El sistema fue implementado sin necesidad de modificar la mesa de inspección ni los templates físicos, lo que permitió una integración directa en el área de trabajo sin alterar procesos previos ni requerir inversión estructural adicional.

Este desarrollo representa una aplicación tangible de la ingeniería mecatrónica, al combinar adquisición sensorial, análisis computacional, automatización de toma de decisiones y una interfaz efectiva para el usuario. Su impacto inmediato se refleja en la mejora de la trazabilidad, la reducción de errores humanos y la estandarización del control visual.

Finalmente, este proyecto establece una plataforma escalable que puede crecer hacia nuevas líneas de inspección, integración con sistemas de gestión de planta y optimización mediante entrenamiento incremental de los modelos de inteligencia artificial. El sistema no sólo resuelve un problema actual, sino que también abre camino hacia una evolución digital en procesos de calidad dentro del entorno productivo.

5.2 Competencias Desarrolladas y/o Aplicadas

1. **Integración de sistemas mecatrónicos:**
Se aplicó la capacidad para diseñar, integrar y validar sistemas donde interactúan componentes mecánicos, electrónicos y de software, orientados a resolver una necesidad de automatización real en un entorno industrial.
2. **Aplicación de visión computacional:**
Se desarrollaron y emplearon técnicas de procesamiento digital de imágenes utilizando librerías como OpenCV, para extraer información geométrica relevante y analizarla con precisión submilimétrica en tiempo real.
3. **Implementación de interfaces hombre-máquina (HMI):**
Se diseñó una interfaz gráfica funcional, adaptable a procesos industriales, que permite una comunicación eficiente entre el operador humano y el sistema automatizado, garantizando fluidez operativa.
4. **Desarrollo en lenguajes de programación de alto nivel:**
Se utilizó el lenguaje Python para el desarrollo integral del sistema, desde la captura de datos hasta el procesamiento lógico y visualización de resultados, demostrando dominio en programación estructurada y orientada a objetos.
5. **Integración de hardware industrial con software personalizado:**
Se estableció comunicación efectiva entre una cámara industrial Basler y una unidad de cómputo a través del SDK Pylon, gestionando interfaces físicas como USB 3.0, fuentes de alimentación externas y adaptadores ópticos normalizados.
6. **Aplicación de inteligencia artificial en sistemas de inspección:**
Se integró un modelo de clasificación basado en aprendizaje supervisado para la detección de defectos estructurales, demostrando competencias en entrenamiento, inferencia y evaluación de modelos de IA aplicados a visión.
7. **Diseño y documentación técnica bajo norma:**
Se generaron croquis, renders técnicos y diagramas de conexión siguiendo criterios de normalización (ISO), demostrando la capacidad de representar gráficamente sistemas técnicos de forma clara y precisa.
8. **Planeación, desarrollo y validación de proyectos de ingeniería:**
Se gestionó un proyecto desde su justificación hasta su implementación práctica, cumpliendo objetivos técnicos, estableciendo etapas de desarrollo, validando resultados funcionales y documentando el proceso de forma estructurada.
9. **Capacidad de adaptación a entornos industriales reales:**
Se evaluaron condiciones físicas, operativas y humanas del entorno de trabajo para implementar una solución que no alterara el flujo productivo, aplicando criterio técnico en decisiones de compatibilidad e integración.

10. **Trabajo autónomo y enfoque a resultados:**
El desarrollo del sistema implicó toma de decisiones técnicas, pruebas iterativas, corrección de errores y validación por resultados tangibles, fortaleciendo la capacidad de autonomía y resolución de problemas complejos.

Fuentes de información.

Ramírez, A. Curso I.A. Secc. Conceptos Básicos – Sistemas e informática. (s. f.). Recuperado el 14 de mayo de 2025, en: <https://sistemasinformatica.istmo.tecnm.mx/cursos/inteligencia-artificial/4-aplicaciones-con-tecnicas-de-ia/4-4-logica-difusa-fuzzy-logic/4-4-1-conceptos-basicos/>

Basler AG. (s.f.). Cámara a2A5328-15ucPRO. Recuperado de <https://www.baslerweb.com/en/shop/a2a5328-15ucpro/>

Basler AG. (s.f.). Documentación técnica del modelo a2A5328-15ucPRO. Recuperado de <https://docs.baslerweb.com/a2a5328-15ucpro>

Bonabeau, E., Dorigo, M., & Theraulaz, G. (1999). Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems. Oxford University Press. Recuperado de <https://global.oup.com/academic/product/swarm-intelligence-9780195131581>

Cruzito. (2025, 17 septiembre). Red Neuronal Convolutacional (CNN): Qué es, Características y Ejemplos | Estudiando. <https://estudiando.com/red-neuronal-convolutacional-cnn-que-es-caracteristicas-y-ejemplos/>

[Desarrolladoresweb.org](https://desarrolladoresweb.org). (2024, 12 octubre). Entornos de Programación | Qué es, tipos, características, Todo lo que Debes Saber sobre. Web Devs. <https://desarrolladoresweb.org/programacion/entornos-de-programacion-que-es-tipos-caracteristicas/>

HIKspection. (s.f.). Cámaras industriales. Recuperado de <https://hikspection.com/camaras-industriales/>

Ibm. (2025, 21 febrero). Modelo de IA. ¿QUÉ ES UN MODELO DE IA. Recuperado 4 de septiembre de 2025, de <https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/ai-model>

IEEE Xplore. (s.f.). Recursos académicos sobre visión artificial. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/>

López, D. (2024, 10 septiembre). ¿Cuáles son los algoritmos de inteligencia artificial? | Blog TEKDI. TEKDI - Instituto Digital de los Negocios. <https://tekdi.education/blog/algoritmos-inteligencia-artificial/>

- Ltd, P. C. C. (2024, 18 noviembre). ¿Cuáles son los tipos de interfaces de cámaras industriales? - conocimiento. PCM. <https://es.pcm-cables.com/info/what-are-the-types-of-industrial-camera-interf-17127406165320704.html>
- Marketing. (2021, 12 enero). Cámaras Industriales: 8 tipos, características para la industria. EDS Robotics. <https://www.edsrobotics.com/blog/camaras-industriales/>
- MindVision. (s.f.). Soluciones de visión industrial. Recuperado de <https://www.mindvision.ltd/>
- [OpenCV.org](https://opencv.org/). (s.f.). Open Source Computer Vision Library. Recuperado de <https://opencv.org/>
- [Python.org](https://www.python.org/). (s.f.). Python Programming Language – Official Site. Recuperado de <https://www.python.org/>
- Pylon SDK Documentation – Basler. (s.f.). Integración de cámaras industriales con Python. Recuperado de <https://docs.baslerweb.com/using-pypylon>
- Reyes Ortiz, O. J., Mejia, M., y Useche Castelblanco, J. S. (2019). Técnicas de inteligencia artificial utilizadas en el procesamiento de imágenes y su aplicación en el análisis de pavimentos. Revista EIA, 16(31), 189–207. <https://doi.org/10.24050/reia.v16i31.1215>
- Teseo. (2025, 17 octubre). Inspecciones STPS 2025: Guía Completa de Preparación Empresarial con Inteligencia Artificial. Capacitación de Personal Mx. <https://capacitaciondepersonal.com.mx/inspecciones-stps-2025-guia-completa-de-preparacion-empresarial-con-inteligencia-artificial/>
- TkDocs. (s.f.). Tkinter reference and documentation. Recuperado de <https://tkdocs.com/>
- Gutiérrez, H. (2012). *Control estadístico de calidad y Seis Sigma* (2ª ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Gómez-Mejía, L. R., Balkin, D. B., & Cardy, R. L. (2008). *Gestión de recursos humanos* (5ª ed.). Pearson Prentice Hall.
- Hernández, A., & Rodríguez, C. (2010). Fundamentos de la gestión de la calidad: Enfoque basado en competencias
- Ishikawa, K. (1989). *¿Qué es el control total de calidad? La modalidad japonesa*. Norma.
- Miranda, F. J. (2008). *Calidad y excelencia*. Delta Publicaciones.

Anexos.

Anexo 1 Procedimiento de inspección

Sistema de proceso de Inspección.

Partes Cortadas contra Template

Descripción del producto.

Nombre	Fabricante	Cliente
TESLA MY CUT PART	ACA	AQW



No. Parte
65202600M
Descripción
BOLSA

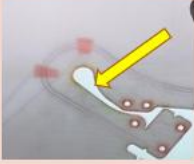
Proceso de Inspección 652026000M



Proceso de Inspección 652026000M



Proceso de Inspección 652026000M

Costura o Esqueleto dentro de las zonas <u>asuradas</u> , Zona B	Zona de garganta menos de 3 mm	Barrenos de zona de garganta
		
El inspector se asegura de que la costura (esqueleto) coincida con las 2 zonas asuradas marcadas por template.	El inspector se asegura de que zona de garganta no presente menos de 3 mm, en comparación a template.	El inspector se asegura de contar barrenos de zona de garganta uno por uno contabilizando un total del numero 2 al 8 en comparación a template.

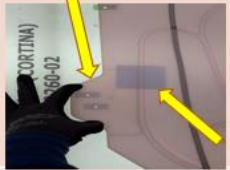
Proceso de Inspección 652026000M

Barrenos en Zona C	Barrenos en Zona C	Barrenos en Zona C
		
El inspector se asegura de contar los barrenos de zona C siendo el numero 9 y 10 en comparación a template. Asegurar que rotación se encuentre en su nivel de aceptación.	El inspector se asegura de contar en zona C los barrenos 11 y 12 en comparación al template.	El inspector se asegura de contar en zona C el barreno 13 en comparación al template. Asegurar que zona asurada se encuentre en su nivel de aceptación.

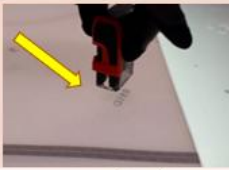
Proceso de Inspección 652026000M

Barrenos en Zona A	Inspección en Zona A	Inspección en Zona A
		
El inspector se asegura de contar en zona A los barrenos numero 1 y 2 en comparación al template.	El inspector se asegura de contar en zona A el barreno 3 y 4 en comparación al template.	El inspector se asegura de contar en zona A el barreno 5 y 6 en comparación al template.

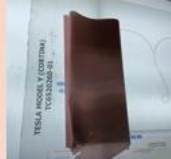
Proceso de Inspección 652026000M

Inspección en Zona A	Inspección en Zona A	Inspección en Zona A
		
El inspector se asegura de contar en zona A el barreno 7 y 8 en comparación al template.	El inspector se asegura de contar en zona A el barreno 9 y 10 en comparación al template. Asegurar que rotación se encuentre en su nivel de aceptación.	El inspector se asegura de contar en zona A el barreno 11 y 12 en comparación al template. Asegurar que la zona asurada se encuentre en su nivel de aceptación.

Proceso de Inspección 652026000M

Inspección en Zona A	Certificación de material	Empaque de material
 A close-up photograph showing a gloved hand pointing to a small hole (barreno) in a white material. A yellow arrow points to the hole. The text 'RTINA)' is visible on the left.	 A close-up photograph showing a gloved hand holding a red tool or marker, likely used for certification. A yellow arrow points to the tool.	 A photograph of a large, pink, rectangular material being folded or packaged. The text 'TESLA MODELO Y (CONTINUA)' and 'TCS-332026-01' is visible on the material.
El inspector se asegura de contar en zona A el barreno 13 en comparación al template.	Una vez considerada pieza OK, los inspectores que liberan el material deben certificar su pieza con el numero de sello de los inspectores.	Una vez que el material se encuentra certificado, se procede a doblar la bolsa tomando el extremo de la zona C hacia la zona A para realizar el primer dobles

Proceso de Inspección 652026000M

Empaque de material	Empaque de material	Empaque de material
 A photograph showing a large, pink, rectangular material being folded or packaged. The text 'TESLA MODELO Y (CONTINUA)' and 'TCS-332026-01' is visible on the material.	 A photograph showing a large, pink, rectangular material being folded or packaged. The text 'TESLA MODELO Y (CONTINUA)' and 'TCS-332026-01' is visible on the material.	 A photograph showing a large, pink, rectangular material being folded or packaged. The text 'TESLA MODELO Y (CONTINUA)' and 'TCS-332026-01' is visible on the material.
Se realiza un segundo doble desde la zona A hacia la zona B	Se realizar un tercer doble desde la zona A hacia la zona B	El material doblado debe quedar como se muestra en la imagen.

Proceso de Inspección 652026000M



Anexo 2, Modelos de cámaras.

Hik Robotics.

CÁMARA INDUSTRIAL CS SERIES

Las cámaras industriales HIKROBOT de segunda generación, serie CS, integran mejoras significativas a nivel de diseño mecánico, eficiencia energética y arquitectura electrónica. Están equipadas con sensores de imagen de alto rendimiento, ofreciendo un amplio rango dinámico, excelente relación señal-ruido y una calidad de imagen optimizada para aplicaciones de inspección de alta precisión.

Estas cámaras cumplen con los protocolos estándar de visión artificial, incluyendo GenICam y otros estándares industriales, lo que garantiza una compatibilidad total con software de terceros y facilita su integración en sistemas de visión existentes. Además, su diseño térmico y de consumo energético ha sido optimizado para uso continuo en entornos industriales exigentes, ofreciendo una solución robusta, confiable y escalable para proyectos de visión computacional.

Especificaciones:

Resolución: 0.4Mp – 20Mp

Color: Mono – Color

Frame: 6 fps – 526.5 fps

Protocolo: USB 3.0 – GigE



CÁMARA INDUSTRIAL CU SERIES

La serie CU está diseñada con una plataforma de bajo consumo de energía y un rendimiento estable, lo que crea un producto de cámara industrial universal que satisface los requisitos de estabilidad y las funciones necesarias, ayudando a los usuarios a obtener aplicaciones de visión más fácilmente.

Con los algoritmos ISP incorporados como amplio rango dinámico, reducción de ruido y nitidez, se puede ajustar de forma flexible de acuerdo con los escenarios reales del usuario, para minimizar la interferencia externa, estabilizar la imagen y reducir la carga en el algoritmo de back-end.

Especificaciones:

Resolución: 0.4Mp – 12Mp

Color: Mono – Color



Frame: 9.7 fps – 240.4 fps

Protocolo: USB 3.0 – GigE

CÁMARA INDUSTRIAL CH SERIES

Serie de productos de alta gama diseñada para aplicaciones de alta precisión y desarrollo en panel, semiconductores electrónicos, nuevas industrias de energía y otras. que cubre interfaces de datos de GigE, USB 3.0, 10 GigE, Camera Link, CoaXPress

Especificaciones:

Resolución: 4Mp – 26Mp

Color: Mono – Color

Frame: 4.5 fps – 220 fps

Protocolo: USB 3.0 – GigE – CoaXPress – Camera Link – 10Gig



CÁMARA INDUSTRIAL CA SERIES

Como una serie avanzada, la serie CA se centra en baja a media resolución y alta calidad de imagen. El sensor líder de Sony es de excelente calidad de imagen, y el tamaño de píxel de la serie de sensores Onsemi es consistente para que pueda lograr una vista mejorada con la misma precisión de píxeles sin ajustar la distancia de imagen del objetivo.

Cubriendo píxeles de 0.3-6M, la serie CA equipa interfaces GigE y USB3.0, con una velocidad de fotogramas máxima de 814fps. Modelo de cámara mejorada en infrarrojo cercano seleccionable, que puede cumplir con los requisitos de aplicación visual de la banda de infrarrojo cercano (750-1100nm).

Especificaciones:

Resolución: 0.34Mp – 6.3Mp

Color: Mono – Color

Frame: 17 fps – 814.5 fps

Protocolo: USB 3.0 – Gig



En cuanto a los productos basler son los siguientes modelos:

Basler ace 2

La cámara Basler a2A5060-15umBAS USB 3.0 ofrece 15 fotogramas por segundo con una resolución de 25 MP y se caracteriza por un formato de sensor cuadrado de 1,1"

Especificaciones:

E2525A Sensor

Velocidad de fotogramas de 15 fps

Interfaz USB 3.0

Resolución de 25 MP (MP)

Formato de sensor de 1,1"



Basler ace L

La cámara Basler acA4112-20um USB 3.0 con el sensor CMOS Sony IMX304 ofrece 23 fotogramas por segundo con una resolución de 12,3 MP.

Especificaciones:

IMX304 Sensor

Velocidad de fotogramas de 23 fps

Interfaz USB 3.0

Resolución de 12 MP (MP)

Formato de sensor de 1,1"



Basler ace 2 R

La cámara Basler a2A2448-75ucPRO USB3.0 con el sensor CMOS Sony IMX547 ofrece 75 fotogramas por segundo con una resolución de 5 MP.

Especificaciones:

IMX547 Sensor

Velocidad de fotogramas de 75 fps

Interfaz USB 3.0

Resolución de 24,4 MP

Formato de sensor de 1/2"

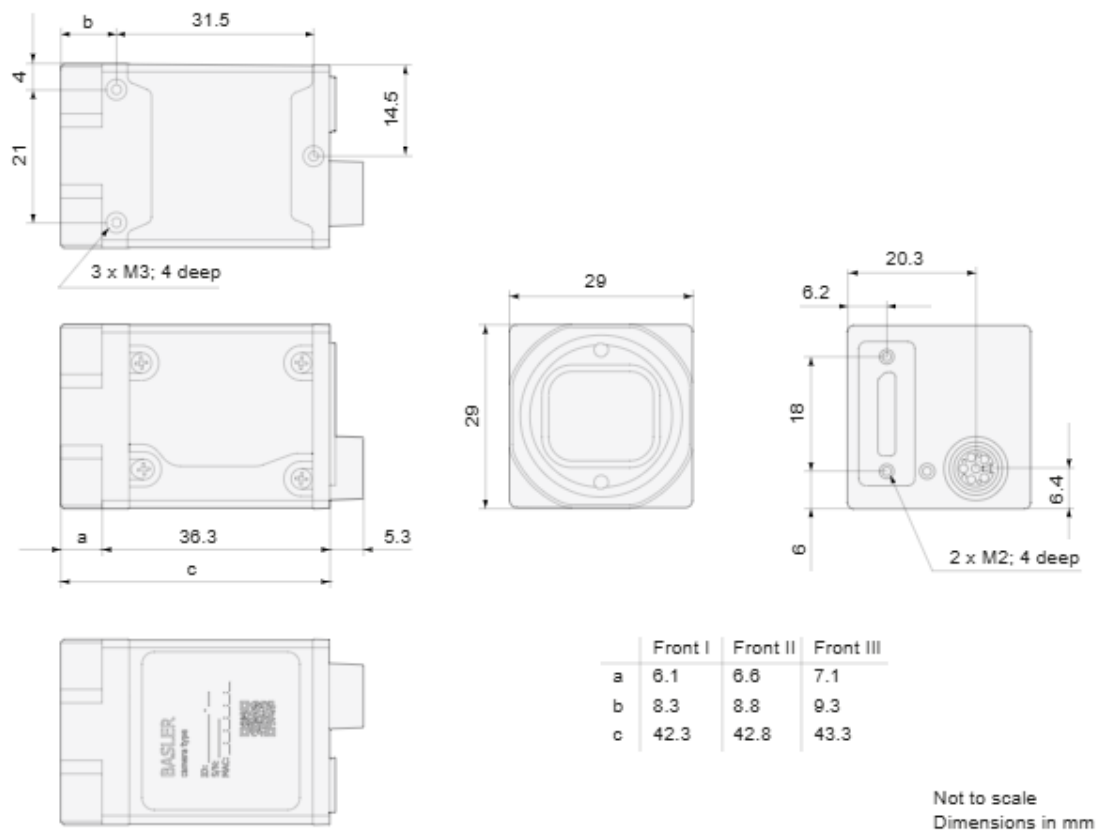


Anexo 3, librerías de uso.

Librería	Descripción técnica y función en el sistema
OpenCV (cv2)	Biblioteca principal para la adquisición, procesamiento y análisis de imágenes. Se utilizará para capturar frames desde la cámara industrial, aplicar filtros morfológicos, detección de contornos, umbralización, segmentación por color, detección de bordes y transformaciones geométricas.
NumPy	Base para la manipulación de matrices de píxeles. Se empleará para operaciones aritméticas, máscaras, y transformaciones en arrays de imágenes.
scikit-image	Para el análisis de texturas, histogramas de intensidad, detección de defectos estructurales y métricas de calidad. Complementa a OpenCV con herramientas de mayor nivel.
Matplotlib	Se utilizará para la visualización de datos durante el desarrollo, pruebas e interpretación de métricas. También permitirá graficar la evolución de los análisis a lo largo del tiempo.
PySerial	Proporciona interfaz para comunicación en serie, útil si se desea extender la solución con sensores externos o sistemas embebidos como Arduino o PLCs.
Pillow	Biblioteca especializada en carga, transformación y guardado de imágenes en diferentes formatos estándar (JPG, PNG, BMP), útil para generación de evidencias.
Openpyxl / Pandas	Gestión y exportación de reportes en formatos estructurados (Excel, CSV) sobre las inspecciones realizadas, incluyendo fecha, hora, tipo de defecto y estatus.

Anexo 4, Dimensiones de la cámara Basler Ace 2 R.

Camera Dimensions and Mounting Points



Datos de la cámara	Interfaz	USB 3.0
	Interfaz de datos de imagen	USB 3.0, nominal máx. 5 Gbit/s (SuperSpeed)
	Profundidad de bits de píxeles	8 bits 10 bits 12 bits
	Control de la exposición	- Disparador de hardware - programable a través de la API de la cámara
	Entrada digital	1
	Fuente de alimentación	A través de la interfaz USB 3.0 o 12-24 VDC
	Requisitos de alimentación (típicos)	4,1 W

Anexo 6, Informe y manual técnico del proyecto.

