

ENTREGABLE 5.1

PROYECTOS—

2023-2024

INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA A LA MEJORA DIMENSIONAL DE LAS
PIEZAS DE FABRICACIÓN ADITIVA MEDIANTE INSPECCIÓN
AUTOMATIZADA
“AURORA”

Entregable: Desarrollo del sistema automatizado para la detección de defectos

Programa: Proyectos de I+D en colaboración con empresas

Número de proyecto: 22300044

Expediente: IMDEEA/2023/16

Duración: Junio 2023- Noviembre 2024

Coordinado en AIDIMME por: Olga Jordá Ferrando



GENERALITAT
VALENCIANA

IVACE+i

INSTITUTO VALENCIANO
DE COMPETITIVIDAD
E INNOVACIÓN



Financiado por
la Unión Europea

AIDIMME
INSTITUTO TECNOLÓGICO

ÍNDICE

1	Introducción y objetivos del entregable	1
1.1	Resumen del trabajo realizado	1
2	Actividades realizadas.....	3
2.1	Diseño conceptual y de detalle del sistema (T5.1)	3
2.1.1	Diseño conceptual	3
2.1.1.1	Tipologías de piezas a manipular	3
	Definición de especificaciones funcionales.....	5
	Definición conceptual	9
2.1.2	Diseño de detalle	11
2.2	Desarrollo, fabricación y validación del sistema (T5.2)	12
2.2.1	Desarrollo inicial sistema de identificación y medición de piezas	12
2.2.1.1	Instalación de cámara de visión e iluminación.....	12
2.2.1.2	Herramienta de reconocimiento del patrón geométrico.....	14
2.2.1.3	Herramienta de reconocimiento del código identificativo	15
2.2.1.4	Herramienta de medición de dimensiones.	17
2.2.1.5	Generación del fichero de datos	21
2.2.2	Desarrollo del sistema automatizado completo	22
2.3	Pruebas preliminares y validación del sistema (T5.3)	26
2.3.1	Pruebas con el programa de detección de defectos.	26
2.3.2	Pruebas del prototipo automatizado para la alimentación de piezas	33
2.3.3	Medición de las piezas manualmente	34
3	Resultados obtenidos.....	36
3.1	Sistema de identificación y medición automatizado.....	36
3.2	Fichero de datos de piezas medidas	37
4	Conclusiones	38
5	Anexos y bibliografía	39
5.1	Anexo 1. Datos medidos manualmente	39

1 Introducción y objetivos del entregable

El objetivo general del proyecto AURORA es el desarrollo de un sistema automatizado para la identificación e inspección de piezas de polímero fabricadas con tecnologías aditivas, de forma rápida, precisa y sin intervención humana para el análisis mediante inteligencia artificial de las causas de las posibles desviaciones geométricas de las piezas. Para alcanzar este objetivo se han establecido los siguientes objetivos específicos:

- Evaluación de las desviaciones dimensionales de las piezas poliméricas fabricadas con tecnologías aditivas de lecho de polvo en función de diferentes variables del proceso de fabricación.
- Desarrollo de un sistema automatizado de identificación de piezas capaz de captar la información característica de dichas piezas.
- Desarrollo de un sistema automatizado de inspección de las dimensiones reales de una pieza y la comparativa con las dimensiones teóricas de dicha pieza.
- Desarrollo de un sistema de inteligencia artificial capaz de correlacionar las desviaciones de los defectos dimensionales de las piezas con las variables y características intrínsecas de la misma.
- Demostración del sistema para la identificación e inspección de casos reales.

El presente entregable está relacionado con las actividades desarrolladas en el paquete de trabajo 5, “diseño e implementación del sistema automatizado para la correcta presentación y medición de piezas de fabricación aditiva”, cuyo objetivo es diseñar el sistema de inspección de forma que se pueda, en primer lugar, identificar cada pieza para registrar su posición espacial y seguidamente verificar las características dimensionales que se defina. Tras el diseño del sistema, éste se desarrollará para implementar el piloto demostrador. Está relacionado con los siguientes objetivos específicos:

- Desarrollo de un sistema automatizado de identificación de piezas capaz de captar la información característica de dichas piezas.
- Desarrollo de un sistema automatizado de inspección de las dimensiones reales de una pieza y la comparativa con las dimensiones teóricas de dicha pieza.

1.1 Resumen del trabajo realizado

A continuación, se muestra un resumen de las actividades técnicas del proyecto:



Ilustración 1. Resumen de las actividades técnicas del proyecto

En este paquete de trabajo se ha trabajado en las siguientes actividades:

- Desarrollo de un sistema de identificación e inspección de piezas, mediante VISION ARTIFICIAL. La visión artificial es la capacidad de extraer información de las imágenes que se toman. Para ello se ha diseñado unas piezas sencillas y se han incluido diferentes códigos para conocer si la cámara es capaz de reconocer los códigos y realizar sencillas mediciones.
- Mediante el sistema de visión artificial se capta la información de todas las piezas fabricadas generando un conjunto de metadatos que contienen la posición y medidas de cada una de las piezas. Se ha desarrollado un sistema de colocación semiautomático para la medición de las piezas.

2 Actividades realizadas

2.1 Diseño conceptual y de detalle del sistema (T5.1)

2.1.1 Diseño conceptual

2.1.1.1 Tipologías de piezas a manipular

La tipología de piezas a manipular se ha definido en el paquete de trabajo PT4.

Inicialmente se realizaron pruebas preliminares de lectura de caracteres alfanuméricos con piezas rectangulares como las mostradas en la siguiente imagen.



Ilustración 2. Piezas iniciales usadas en pruebas preliminares (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

Tras las pruebas iniciales de la cámara, y una vez determinado el tamaño y relieve más adecuado de los caracteres, se generaron piezas nuevas sobre las que seguir probando las herramientas de reconocimiento de caracteres y realizar pruebas preliminares sobre el proceso de medición de cotas.

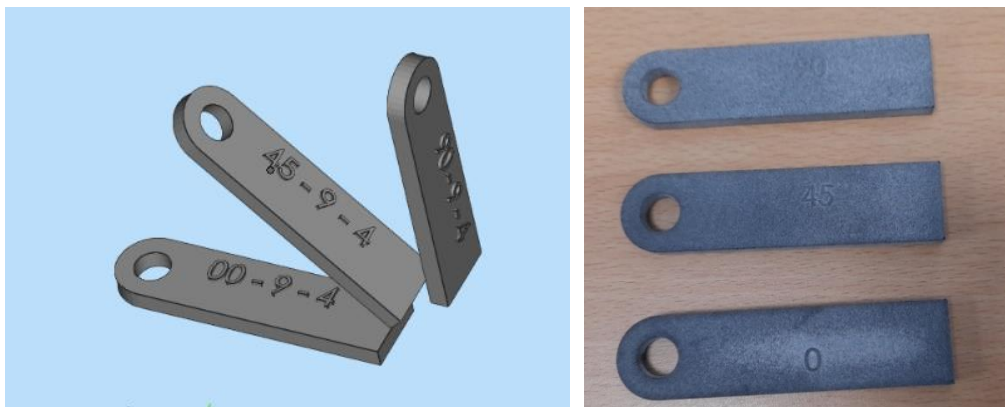


Ilustración 3. Piezas usadas en la segunda ronda de pruebas preliminares (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

Este tipo de pieza permitía la posibilidad de probar la medición de cotas:

- A: distancia entre una curva y una recta
- B1, B2, B3: distancia entre rectas paralelas
- C1, C2: diámetro de un agujero interior.

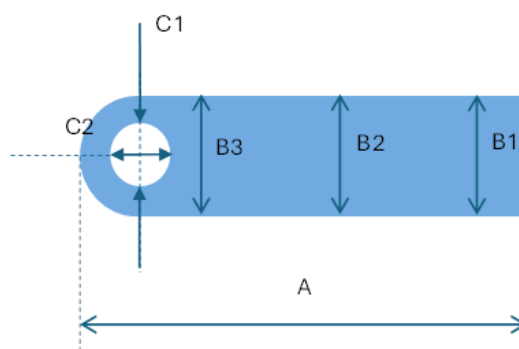


Ilustración 4. Cotas a medir en la pieza (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

Finalmente, con las herramientas de reconocimiento de caracteres y de mediciones validadas, se desarrolló un tercer tipo de pieza con mayor complejidad y cantidad de cotas a medir.

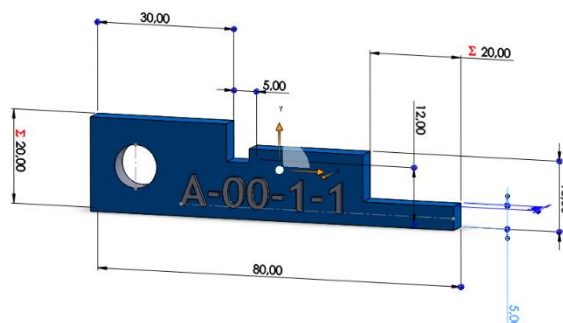


Ilustración 5. Cotas a medir en el tercer tipo de pieza (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

Esta pieza se ha diseñado con soportes en sus extremos para que en el sistema de lectura automatizado pueda ser leída por las dos caras de igual forma.



Ilustración 6. Detalle de soporte en el tercer tipo de pieza (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

Definición de especificaciones funcionales

Si se considera el sistema como una caja negra, una definición funcional básica del mismo constaría de un único input y dos outputs.

El input serían las piezas de fabricación aditiva objeto de estudio. El primer output serían estas mismas piezas de fabricación aditiva una vez han sido identificadas y medidas (se trata de un output físico). El segundo output sería un fichero con los datos de cada pieza procesada por el sistema (se trata de un output de información).

En la siguiente figura se muestra un diagrama IDEF 0 de alto nivel donde se muestran en color azul los inputs/outputs físicos en color azul, y los inputs/outputs de información en color verde.

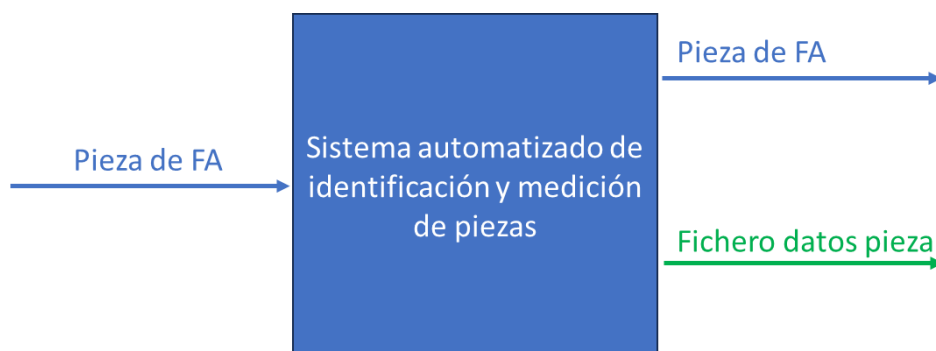


Ilustración 7. Diagrama IDEF 0 general del sistema (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

Tras realizar un análisis funcional de las necesidades de identificación y medición de piezas se ha desarrollado el detalle del diagrama IDEF 0 anterior considerando las actividades principales de: cargar piezas, posicionar pieza, fotografiar pieza, reconocer patrón de pieza, leer código d pieza, obtener dimensiones de pieza, evacuar pieza, grabar fichero de datos.

En la siguiente imagen se muestra el diagrama IDEF 0 detallado.

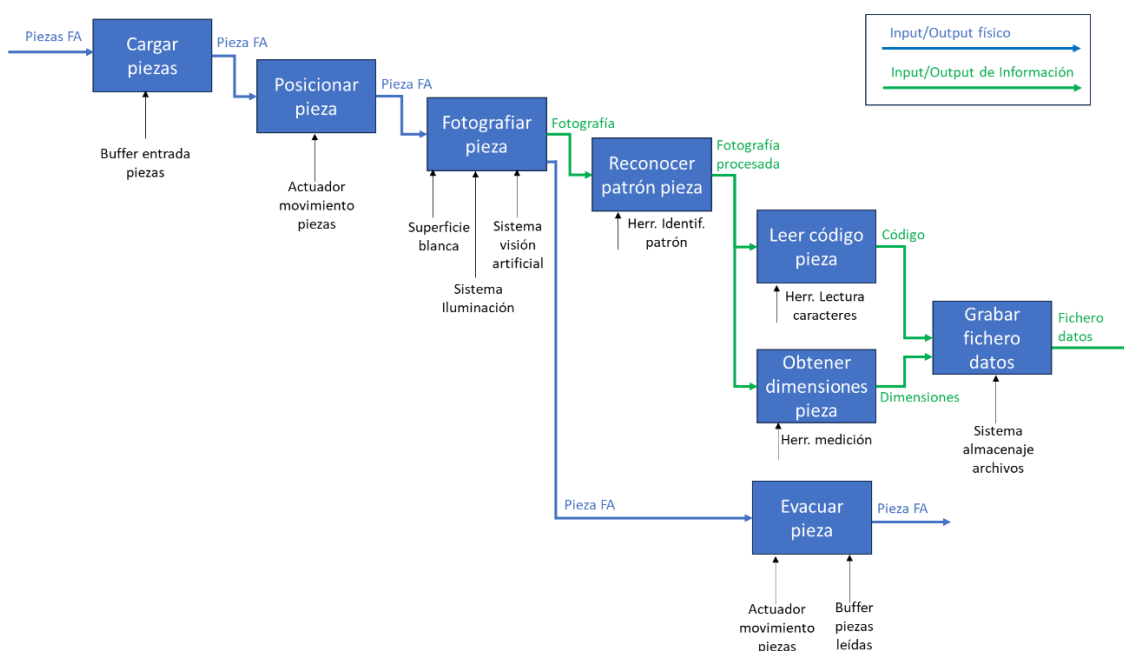


Ilustración 8. Diagrama IDEF 0 de detalle (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

En el diagrama anterior se han representado tanto el flujo físico de piezas, como el flujo de información asociado a las mismas. A continuación, se describen las principales funciones que debe de cumplir el sistema automatizado de identificación y medición, así como los principales mecanismos (componentes) que deben dar soporte a dicha

funcionalidad, organizadas según pertenezcan al flujo físico o al flujo de información.

Flujo físico.

Cargar piezas.

El usuario del sistema depositará en un buffer de entrada un lote de piezas que van a ser medidas. Las piezas de un mismo lote serán iguales en geometría y dimensiones. Para dotar de la mayor autonomía al sistema (en cuanto a reducir la dependencia del usuario humano) el buffer admitirá la mayor cantidad de piezas posible, dentro de los límites de tamaño físico del buffer que se establecen en el diseño de detalle.

Posicionar pieza.

Del buffer salen / se extraen una a una las piezas, y se hacen avanzar hasta llegar a la zona donde se debe tomar la fotografía con el sistema de visión.

La pieza no hace falta que quede fijada en unas coordenadas exactas de un plano xy perpendicular a la cámara, ni una orientación exacta, ya que el sistema puede reconocer el patrón (geometría exterior) de la misma. El área de lectura de la cámara puede abarcar un cuadrado de alrededor de 150 mm de lado y variará en función de la altura final de la cámara de visión.

Si la pieza dispone del código identificativo en ambas caras y éstas están diseñadas con la misma superficie de apoyo, la pieza podrá colocarse en cualquiera de sus dos caras.

Fotografiar pieza.

Según la estimación inicial se tomarán entre 1-5 fotografías de la misma pieza para generar un dataset de mediciones suficiente amplio, y comprobar la repetitividad del sistema.

Se parte de la premisa en que la pieza está dentro del área de lectura de la cámara.

El sistema debe reconocer que hay una pieza en el área de trabajo (utilización de sensores de presencia o tecnología similar) y entonces tomar la fotografía de forma autónoma.

Para que la calidad de la fotografía sea adecuada para las herramientas de trabajo del sistema de visión se requiere de un sistema de iluminación focalizado en la pieza, que haga que las condiciones lumínicas del proceso sean estándar (las adecuadas) e independientes de las condiciones lumínicas ambientales.

Para que el sistema de iluminación no moleste al usuario debe de contar con un sistema que apantalle la luz hacia el exterior y la focalice sobre la pieza a medir.

Evacuar pieza.

Se debe esperar a que el sistema de visión tome las fotografías oportunas sobre la pieza (puede tardar varios segundos).

Una vez las fotografías han sido tomadas, se puede desplazar la pieza de la zona de fotografiado y ubicar en una zona de buffer donde se acumulan todas las piezas que se vayan leyendo de ese lote.

Este buffer debería de tener una capacidad de almacenaje de piezas similar al buffer de entrada. En este buffer no importa que las piezas estén desordenadas o mezcladas.

El usuario del sistema será responsable de retirar y archivar las piezas del buffer una vez finalizado el lote.

Flujo de información.

Reconocer patrón de pieza.

Sobre cada fotografía tomada se deben implementar herramientas software de reconocimiento del patrón geométrico de la pieza a identificar y medir. De esta manera se evitar tener que posicionar físicamente la pieza siempre en una ubicación y orientación exacta.

Al reconocer el patrón, la pieza solo requiere que sea colocada dentro del área de lectura al tomar la fotografía.

Leer código de pieza.

Se deben de implementar herramientas software para a partir del patrón detectado reconocer el código identificativo de la pieza. Este código será alfanumérico, conteniendo letras y números.

Obtener dimensiones de pieza.

Se deben de implementar herramientas software para a partir del patrón detectado medir las cotas representativas de la pieza. Estas cotas se plantean inicialmente como ancho y largo de la pieza, así como posibles diámetros de agujeros existentes en la pieza.

Grabar fichero de datos.

Los datos de las mediciones de dimensiones de cada pieza deben ser almacenados junto

con el código identificativo de cada pieza en un fichero de datos que podrá ser extraído y que será empleado para la fase de análisis en el paquete de trabajo PT6.

Definición conceptual

Se ha llevado a cabo una definición conceptual de los principales elementos o componentes físicos que deben dar forma al sistema final de identificación y medición automatizada de piezas.

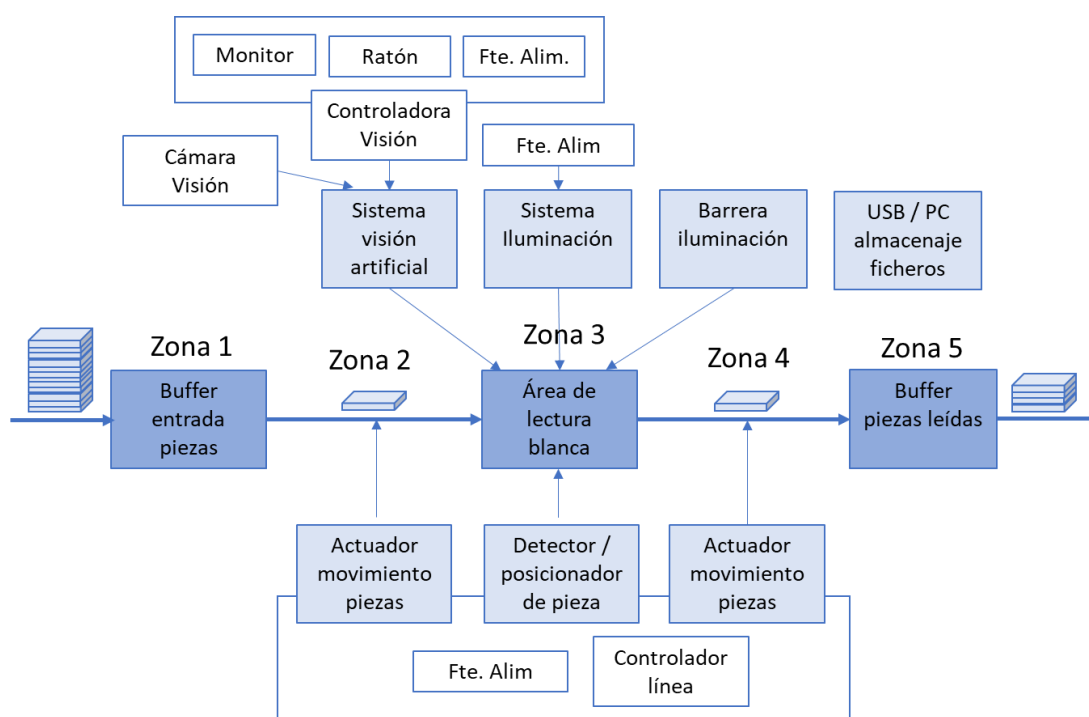


Ilustración 9. Diagrama de componentes para el sistema físico (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

Zona 1.

Se corresponde con el área donde se ubican o almacenan todas las piezas que deben ser procesadas por el sistema.

Zona 2.

Se trata de la zona de tránsito entre la zona 1 (almacenaje de piezas) y la zona 3 (fotografiado de piezas). Contendrá los elementos necesarios para sacar una a una las piezas de la zona 1 y hacerlas avanzar hasta la zona 3 donde la cámara de visión puede tomar la fotografía.

Zona 3.

La pieza debe estar ubicada sobre un fondo blanco, y sobre ella estarán colocados el sistema de iluminación de la pieza, las barreras que impiden deslumbrar al usuario y focalizan la luz sobre la pieza, así como la cámara de visión.

Junto a estos elementos o en una zona próxima se ubicarán la controladora de la cámara, un monitor, ratón y teclado, fuentes de alimentación para distintos elementos, así como el elemento de almacenaje del fichero de datos (podría ser un pc externo o bien un USB en la propia controladora).

Zona 4.

Se trata de la zona de tránsito entre la zona 3 (fotografiado de piezas) y la zona 4 (almacenaje de piezas ya leídas). Contendrá los elementos necesarios para sacar la pieza de la zona 3 y hacerlas avanzar hasta la zona 4 donde se puede mezclar con el resto de las piezas ya leídas.

Zona 5.

Se corresponde con el área donde se ubican o almacenan todas las piezas que ya han sido procesadas (leídas) por el sistema.

Por otro lado, para alcanzar el flujo de información asociado al objetivo del sistema de identificación y medición, se debe programar la controladora del sistema de visión artificial de modo que se secuencien cuatro actividades básicas:

- Reconocer el patrón geométrico de la pieza a medir.
- Reconocer el código alfanumérico propio de una pieza
- Medir de forma precisa diferentes cotas de una pieza
- Almacenar de forma coordinada (con un único timestamp) la información del código de la pieza con las mediciones realizadas sobre la misma.

En el siguiente diagrama se muestra las cuatro herramientas a programar en el sistema de visión.

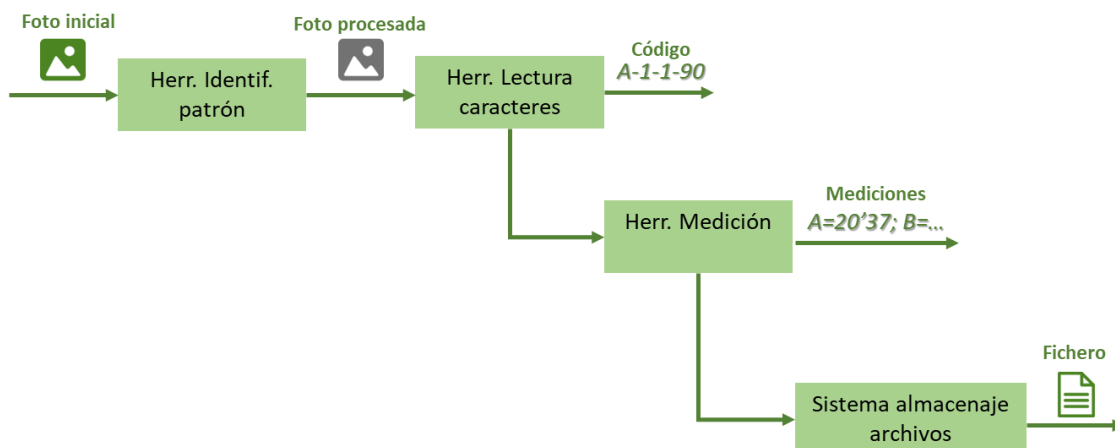


Ilustración 10. Diagrama de componentes para el sistema software de identificación y medición (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

2.1.2 Diseño de detalle

El diseño conceptual mostrado se ha materializado en un diseño de detalle, apoyándose en la subcontratación llevada a cabo con la empresa TAM Industrial Energy, S.L. En las siguientes imágenes se muestra el diseño CAD 3D del sistema mecánico para la automatización del proceso de detección de defectos mediante visión artificial.

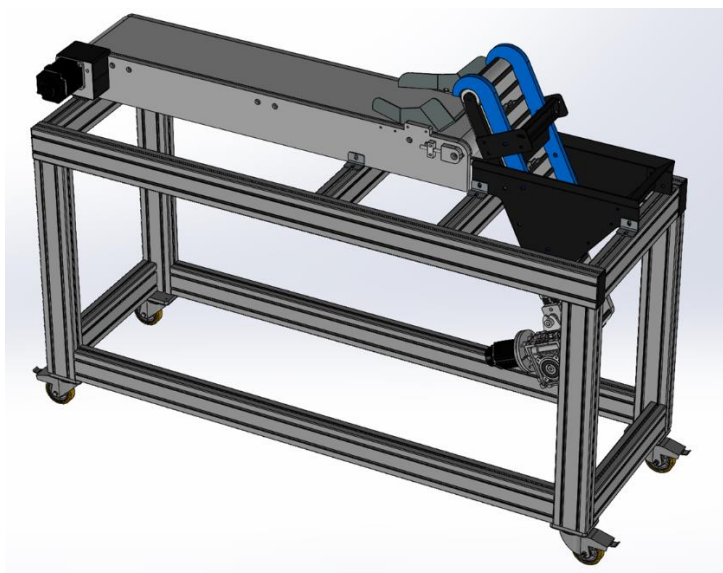


Ilustración 11. CAD 3D módulo móvil

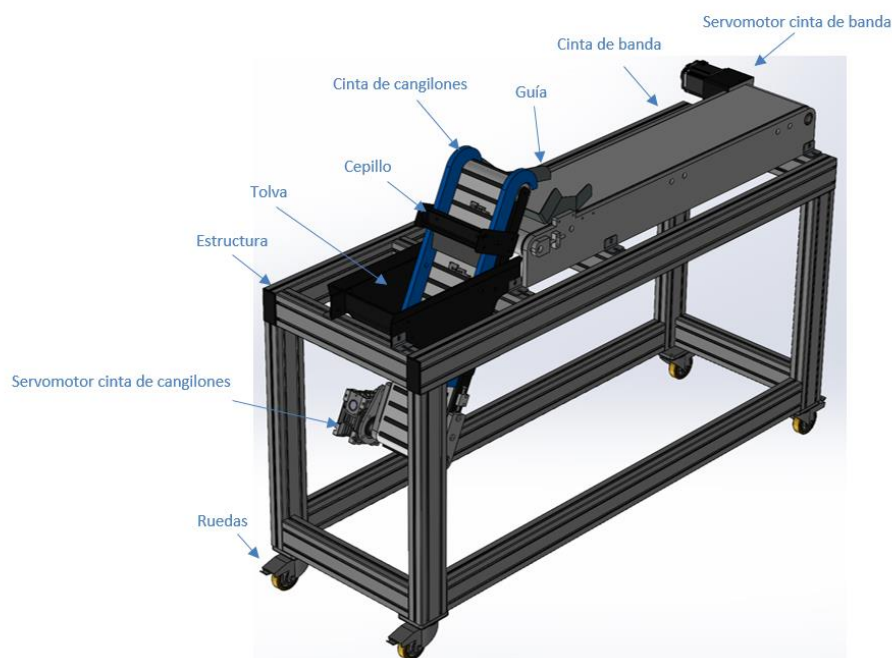


Ilustración 12. Despiece CAD 3D módulo móvil

2.2 Desarrollo, fabricación e implementación del sistema (T5.2)

2.2.1 Desarrollo inicial sistema de identificación y medición de piezas

2.2.1.1 Instalación de cámara de visión e iluminación

Selección de cámara.

Para desarrollar inicialmente el sistema de visión se ha empleado un sistema de visión de la marca Keyence modelo CA-200M. Este sistema está compuesto de cámara, lente controladora y fuente de alimentación propia.

Dentro de este sistema, inicialmente se probó con una cámara de 2 megapixel. Aunque este sistema se mostró como satisfactorio para leer códigos alfanuméricos sobre papel, no pudo leer caracteres sobre piezas reales con textura y color gris.

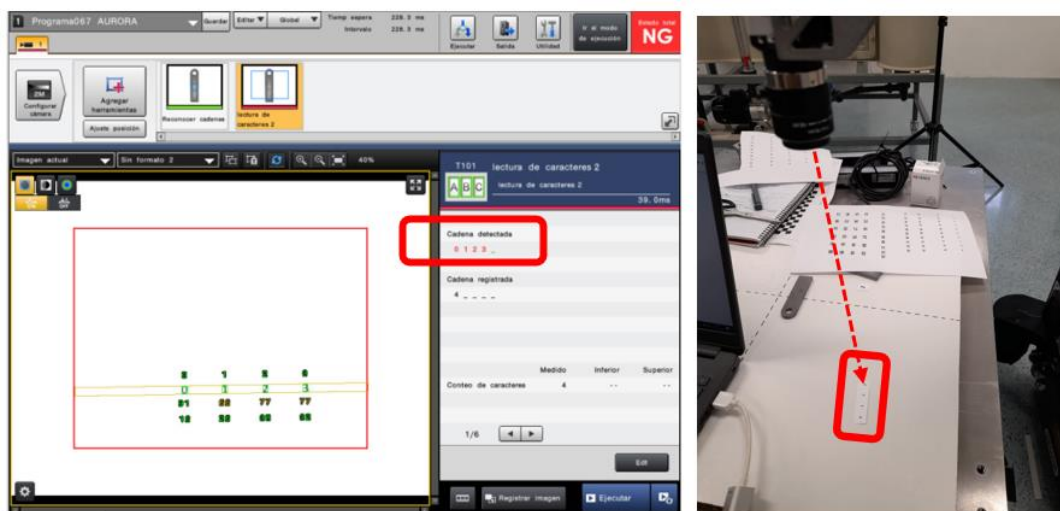


Ilustración 13. Ejemplo de lectura de caracteres sobre un papel (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

Finalmente, se sustituyó la cámara de 2 megapixels por otra de 5 megapixels compatible con la controladora y software de programación del sistema modelo CA-200M. En la siguiente imagen se muestra una fotografía del modelo empleado.



Ilustración 14. Cámara de 5 megapixels empleada (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

Sistema de iluminación.

Se realizaron pruebas sin iluminación forzada y con diferentes tipos de iluminación con diferente potencia e intensidad lumínica.

Tras las pruebas realizadas, se optó por emplear cuatro sistemas de iluminación LED alrededor de la pieza, de forma que todo el perímetro de la pieza recibe una iluminación similar, tal y como se muestra en la siguiente imagen.

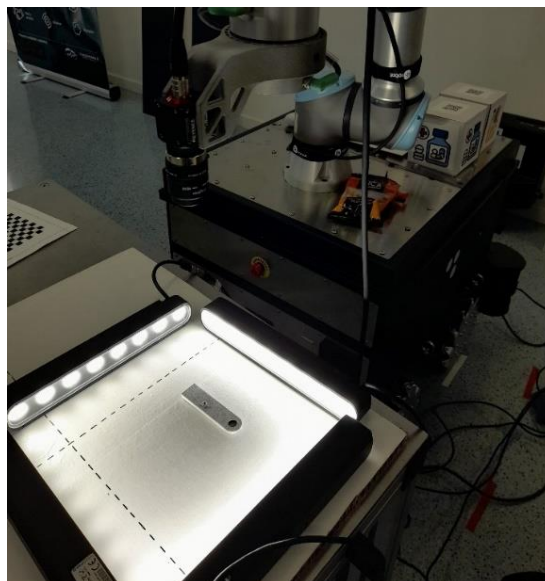


Ilustración 15. Sistema de iluminación seleccionado (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

Sistema inicial de soporte de cámara.

La instalación inicial de la cámara se realiza sobre brida y soportes acoplados a la mesa de trabajo, de modo que la cámara queda en posición vertical y perpendicular a un plano de trabajo xy donde se coloca la pieza a medir.

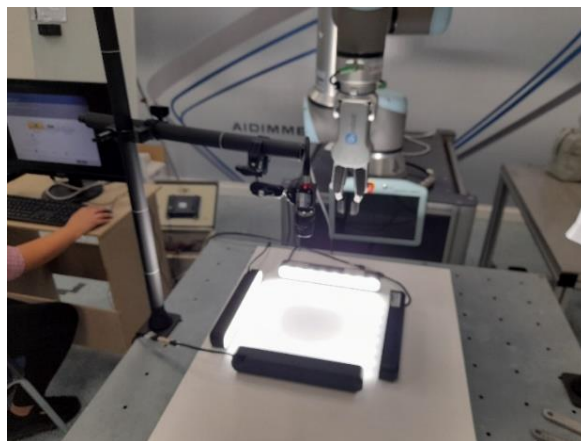


Ilustración 16. Montaje de la cámara (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

2.2.1.2 Herramienta de reconocimiento del patrón geométrico

Para poder realizar la identificación y medición de cotas de las piezas deben de concatenarse la programación de tres herramientas del sistema de visión: posición patrón de perfiles, reconocimiento de caracteres y ancho de borde.

La primera herramienta, “posición patrón de perfiles” permite reconocer el perfil de la pieza mediante comparación con un patrón previo, y es la base para la aplicación de las dos herramientas que permiten reconocer el código que lleva grabado y medir dimensiones.

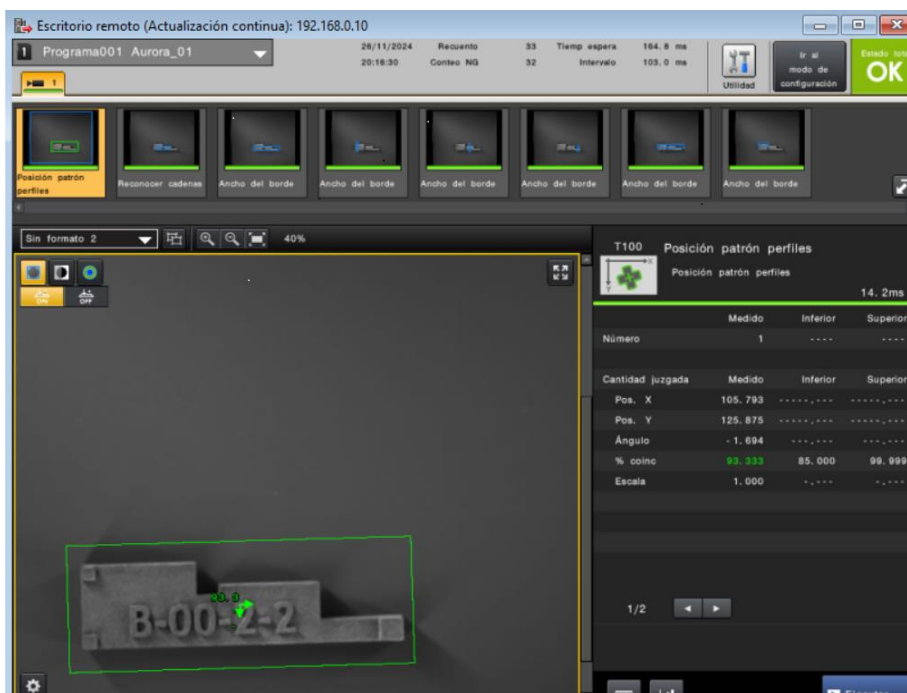


Ilustración 17. Resultado reconocimiento perfiles (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

2.2.1.3 Herramienta de reconocimiento del código identificativo

Se ha programado la herramienta “reconocimiento de caracteres” para reconocer el código alfanumérico que llevarán impreso las piezas.

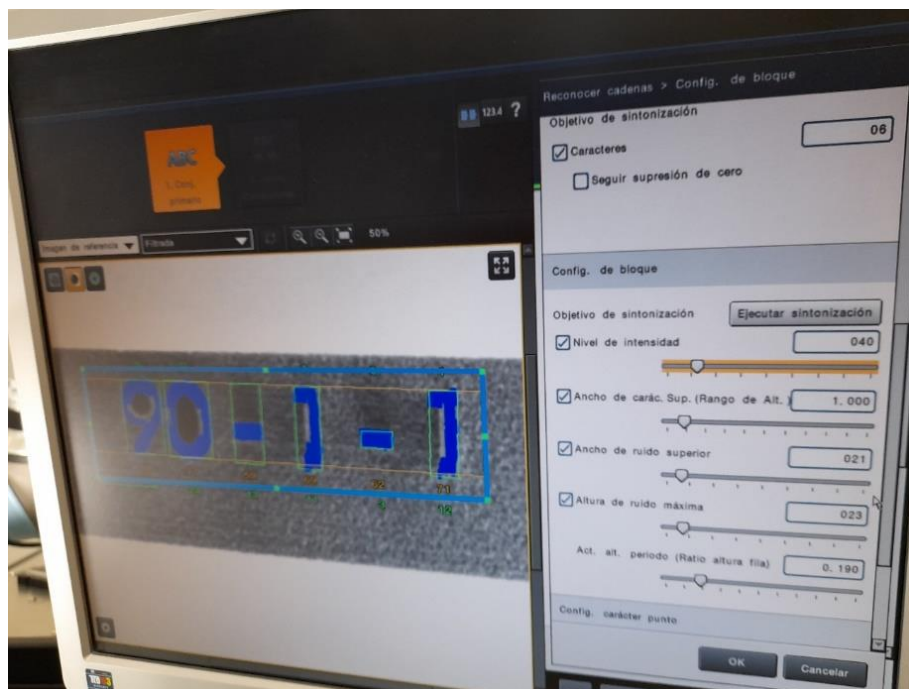


Ilustración 18. Programación herramienta reconocimiento caracteres (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

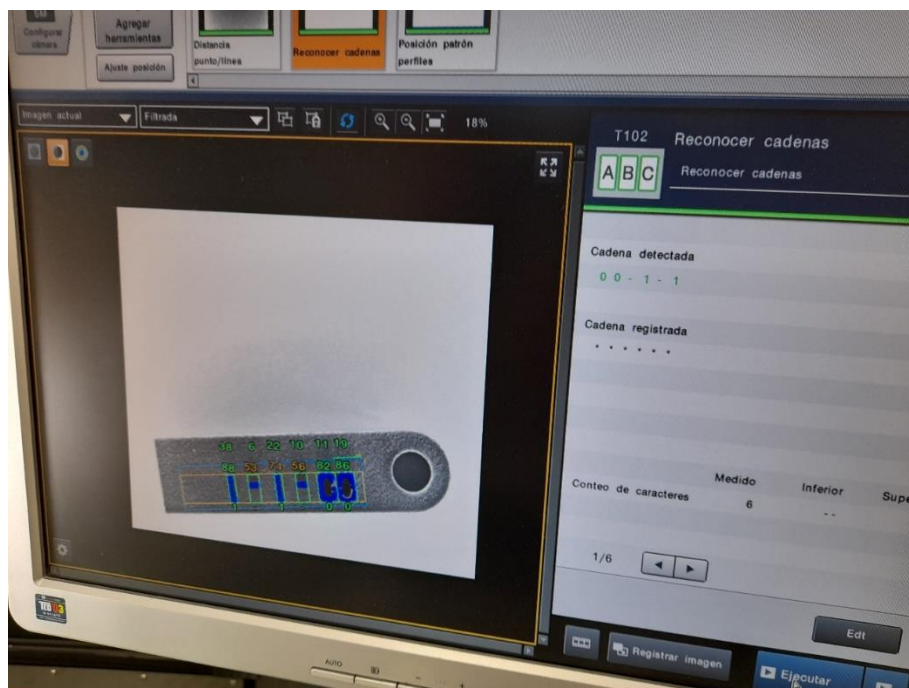


Ilustración 19. Resultado herramienta reconocimiento caracteres (i) (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

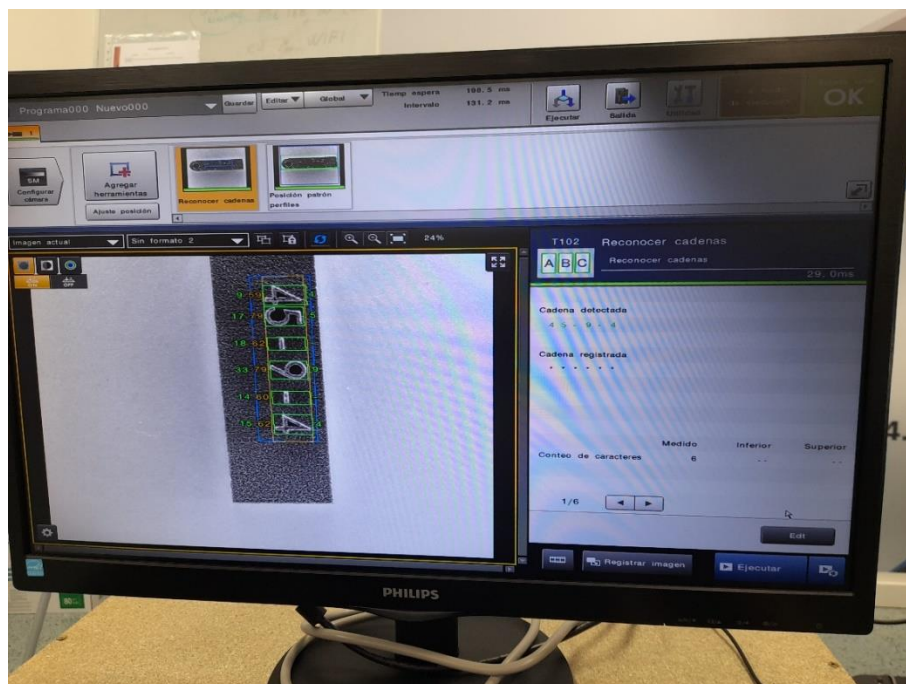


Ilustración 20. Resultado herramienta reconocimiento caracteres (ii) (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

2.2.1.4 Herramienta de medición de dimensiones.

La tercera herramienta que se ha programado es la de toma de medidas sobre la pieza. Se ha realizado la programación de dos opciones: medición de cotas entre líneas paralelas de una pieza, y mediciones de diámetros de agujeros.

2.2.1.4.1 Cotas entre líneas paralelas de una pieza.

Se ha programado la medición del ancho de una pieza en tres puntos diferentes de la misma, con el objetivo de ver variaciones entre las mismas.

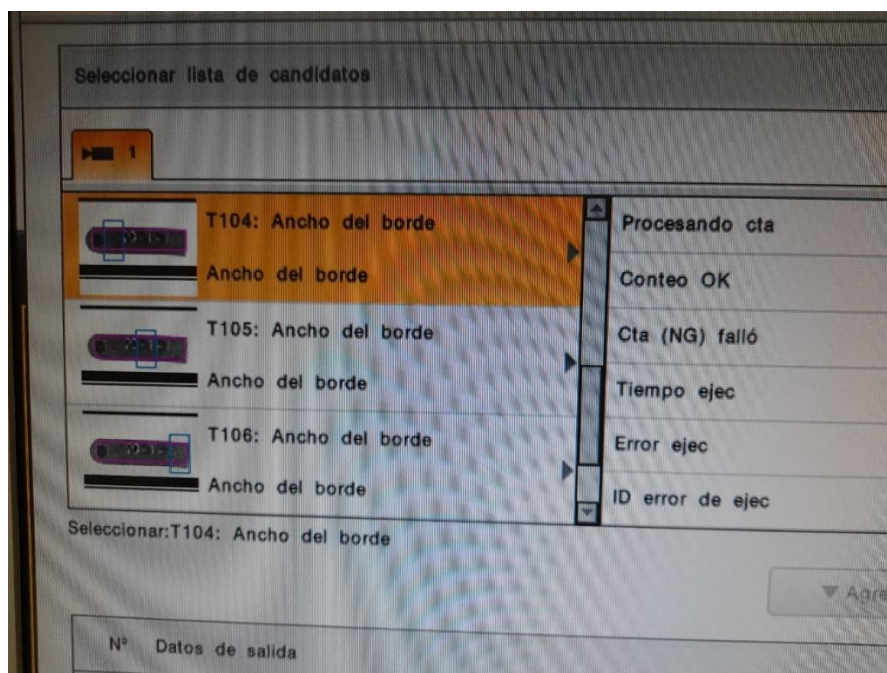


Ilustración 21. Mediciones del ancho de pieza en tres zonas diferentes (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

En las siguientes dos imágenes se aprecia la medición realizada para una pieza en dos puntos diferentes de la misma.



Ilustración 22. Mediciones del ancho en el extremo (Fuente: elaboración propia AIDIMME)



Ilustración 23. Mediciones del ancho en el centro (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

2.2.1.4.2 Cotas sobre curvas (diámetros)

Se ha programado una herramienta de medición de diámetro para el agujero interior de un de las piezas de muestra iniciales.

Esta herramienta comete errores a la hora de localizar el agujero interior, ya que las sombras interiores generan confusión de localización. En la siguiente imagen se muestra como el círculo interior está desubicado y la medición de diámetro realizada es de 11'129 mm cuando la cota teórica es de 10 mm.

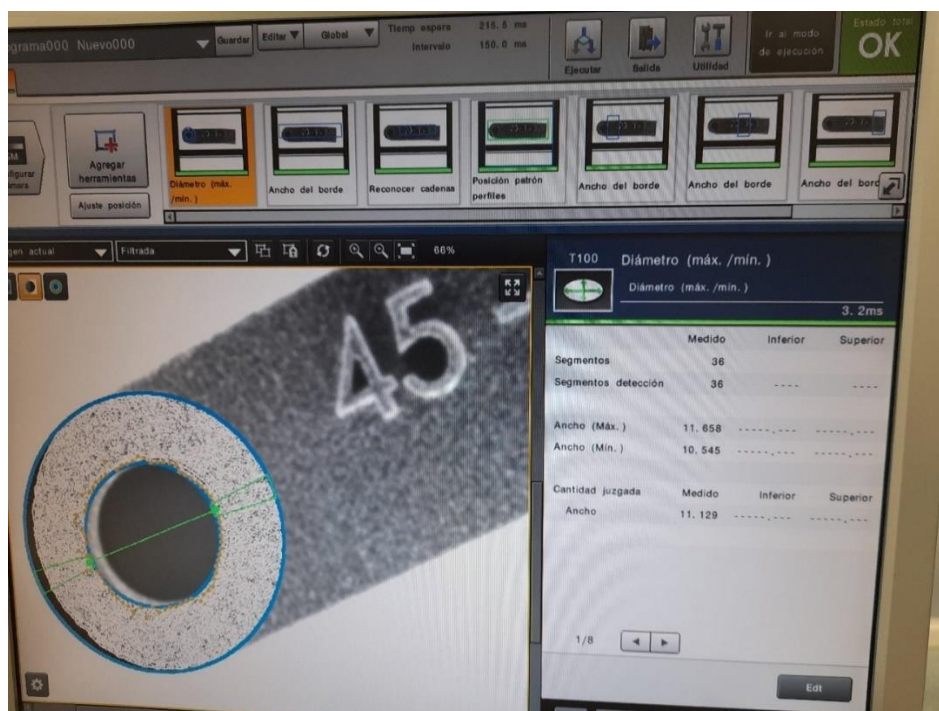


Ilustración 24. Error en el cálculo del diámetro (i) (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

En esta otra imagen, el error cometido en la lectura es de 10'993 mm, frente a los 10 mm teóricos.

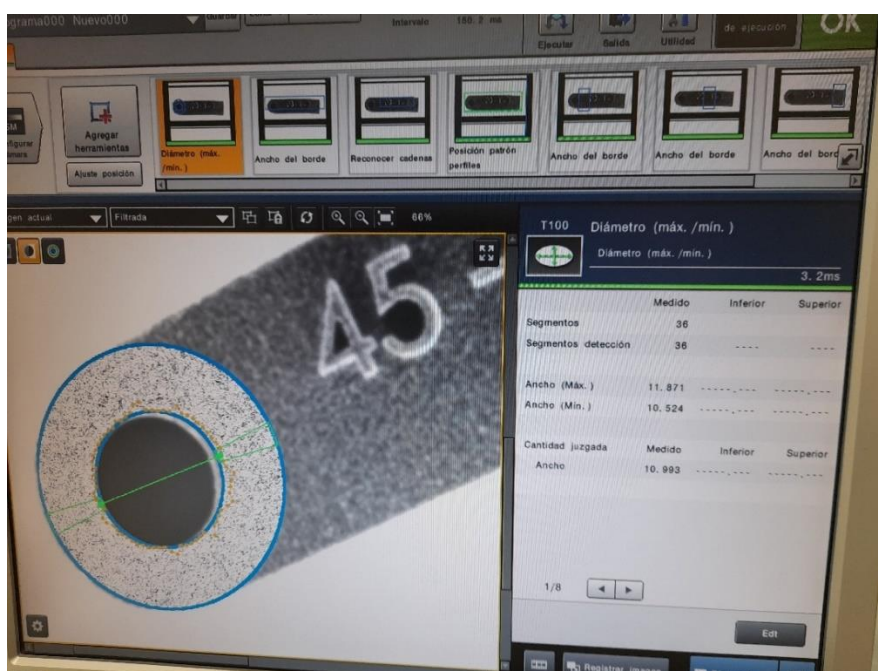


Ilustración 25. Error en el cálculo del diámetro (ii) (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

Por tanto, se concluye que las herramientas de obtención de medidas de diámetros interiores no tienen la precisión requerida para ser empleada en el proyecto.

Las mediciones que se realicen serán sobre cotas entre líneas paralelas de una pieza.

2.2.1.5 Generación del fichero de datos

Para generar un fichero de datos con todos los códigos de pieza leídos y sus dimensiones obtenidas, ligadas por medio de un único timestamp se configura una salida USB HDD de la controladora de la cámara para que almacene un fichero .csv con todas las mediciones realizadas en un mismo día.

Se seleccionan los resultados de las herramientas programadas tal y como se muestra en la siguiente figura.

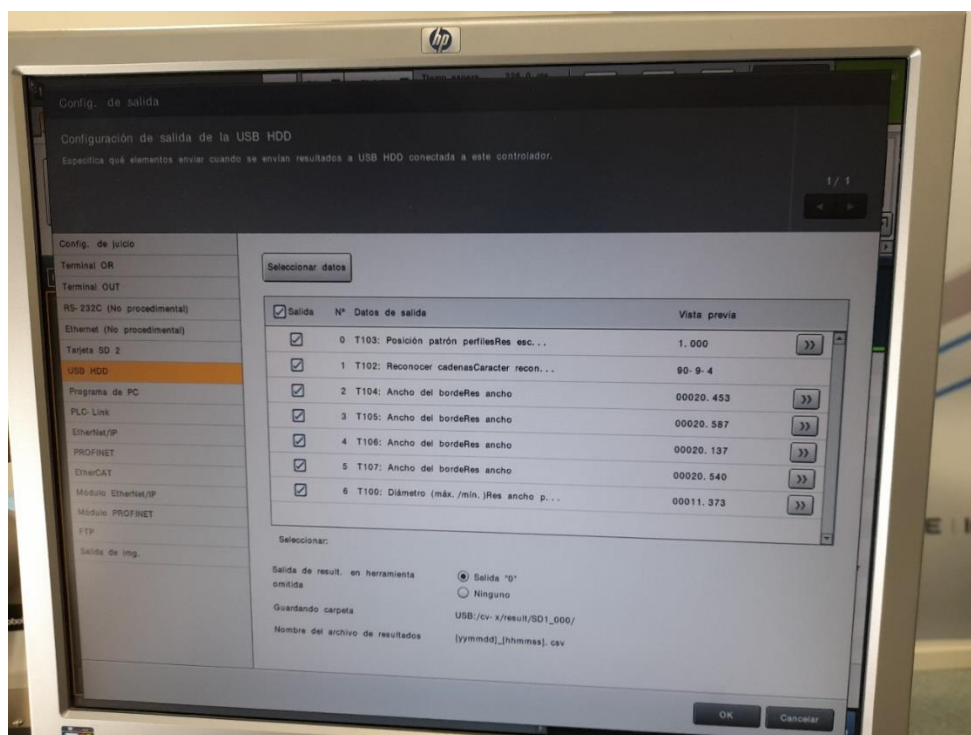


Ilustración 26. Programación de la generación del fichero de datos. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

En la siguiente imagen se muestra un ejemplo del fichero de datos que se genera.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
127	1 90-1-1	20,403	20,594	20,094	20,521	11,805	24	2	8	18	22	57						
128	1 90-1-1	20,408	20,563	20,095	20,52	11,764	24	2	8	18	22	58						
129	1 90-1-1	20,407	20,576	20,092	20,527	11,825	24	2	8	18	22	58						
130	1 90-1-1	20,41	20,564	20,096	20,525	11,484	24	2	8	18	22	58						
131	1 90-1-1	20,405	20,548	20,093	20,518	11,504	24	2	8	18	22	58						
132	1 90-1-1	20,404	20,563	20,092	20,518	11,663	24	2	8	18	22	58						
133	1 90-1-1	20,4	20,576	20,094	20,52	11,493	24	2	8	18	22	59						
134	1 90-1-1	20,401	20,562	20,094	20,519	11,692	24	2	8	18	22	59						
135	1 00-9-4	20,579	20,618	19,999	20,621	11,286	24	2	8	18	23	3						
136	1 00-9-4	20,575	20,63	20,021	20,623	11,165	24	2	8	18	23	4						
137	1 00-9-4	20,578	0	19,994	20,61	11,392	24	2	8	18	23	4						
138	1 00-9-4	20,575	0	20,014	20,615	11,348	24	2	8	18	23	4						
139	1 00-9-4	20,575	0	20,019	20,603	11,362	24	2	8	18	23	4						
140	1 00-9-4	20,58	0	20,011	20,621	11,406	24	2	8	18	23	5						
141	1 00-9-4	20,576	0	20,008	20,624	11,246	24	2	8	18	23	5						
142	1 00-9-4	20,577	0	20,015	20,616	11,283	24	2	8	18	23	5						
143	1 00-9-4	20,576	0	20,021	20,618	11,26	24	2	8	18	23	5						
144	1 00-9-4	20,576	20,686	20,026	20,627	11,304	24	2	8	18	23	5						
145	1 00-9-4	20,577	0	20,026	20,612	11,336	24	2	8	18	23	6						
146	1 00-9-4	20,576	20,625	20,008	20,62	11,284	24	2	8	18	23	6						
147	0 87-998	27,67	0	0,294	0	11,353	24	2	8	18	23	11						
148	0 88-880	21,429	3,526	0,359	0	11,271	24	2	8	18	23	11						
149	1 90-2-4	20,478	20,644	20,174	20,583	11,246	24	2	8	18	23	11						
150	1 90-2-4	20,48	20,627	20,172	20,581	11,237	24	2	8	18	23	11						
151	1 90-2-4	20,484	20,643	20,175	20,587	11,162	24	2	8	18	23	12						
152	1 90-2-4	20,475	20,636	20,172	20,58	11,21	24	2	8	18	23	12						
153	1 90-2-1	20,475	20,62	20,169	20,581	11,185	24	2	8	18	23	12						
154	1 90-2-4	20,477	20,632	20,179	20,579	11,311	24	2	8	18	23	12						
155	1 90-9-4	20,475	20,654	20,174	20,584	11,26	24	2	8	18	23	13						

Ilustración 27. Ejemplo de archivo .csv de los datos leídos por la cámara. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

2.2.2 Desarrollo del sistema automatizado completo

Algunos componentes, de funcionalidad mecánica, del sistema automatizado de alimentación de piezas para la inspección desarrollado por el equipo de AIDIMME han sido mecanizados y ensamblados por el proveedor TAM Industrial Energy S.L., cuya colaboración en el proyecto se ha reconocido dentro del marco de gastos subvencionables en la partida de Servicios Externos de la resolución de concesión del proyecto. Realizaron las siguientes actividades:

- Diseño de un módulo móvil en el cual se integra una tolva a modo de alimentador de piezas, una cinta transportadora de cangilones por la cual subirán las piezas depositadas en la tolva, posteriormente dichas piezas caerán en una cinta transportadora de banda para ser llevadas a la zona de detección.
- Fabricación de componentes mecánicos.
- Reductor sinfín corona para cinta de cangilones y planetario u ortogonal para la cinta de banda.
- Compra de componentes eléctricos y electrónicos para el control de la velocidad de las cintas.
- Montaje completo de cintas en nuestras instalaciones y puesta en marcha.

En relación con la definición y diseño del concepto inicial, el prototipo final del sistema se materializa mediante los siguientes componentes y subsistemas:

- Los servomotores se han implementado para poder controlar la velocidad de cada una de las cintas transportadoras.
- Se ha implementado un cepillo para evitar el apilamiento de piezas cuando suben por la cinta de cangilones y que no caigan unas encima de otras en la cinta de banda, lo cual provocaría problemas para poder detectar y medir correctamente las piezas.
- Se ha utilizado una guía para encarrilar las piezas y evitar que se puedan salir de la cinta transportadora de banda o desplazar fuera del área de visión del sistema de inspección.

En las siguientes imágenes se muestra el prototipo final en las instalaciones de AIDIMME.

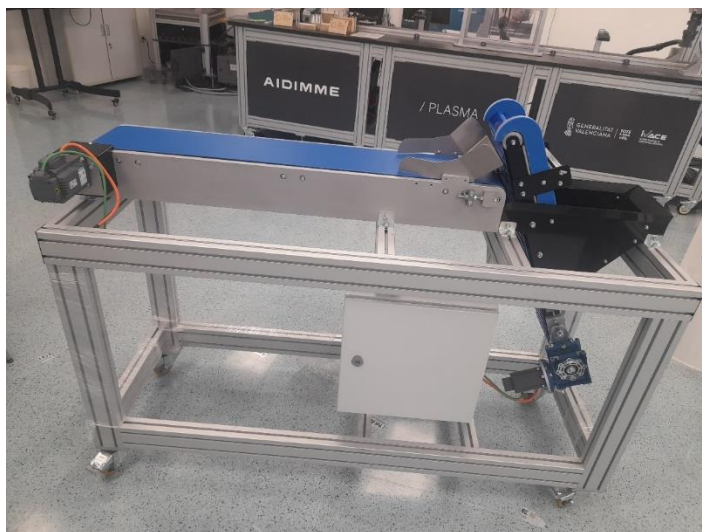


Ilustración 28. Módulo móvil para inspección.



Ilustración 29. Trolly, cinta de cangilones y cepillo para piezas del módulo móvil para inspección.



Ilustración 30. Cinta de banda con servomotor y guía del módulo móvil para inspección.

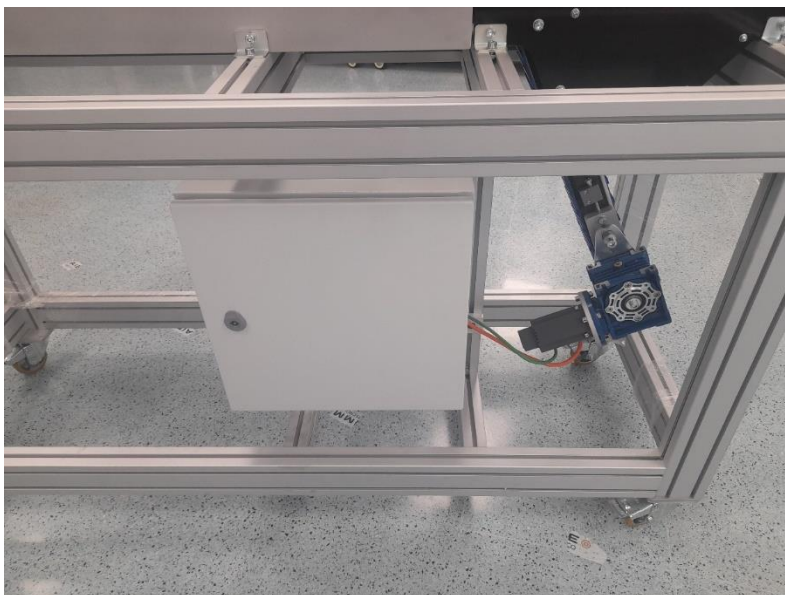


Ilustración 31. Cuadro eléctrico para control del sistema y servomotor para cinta de cangilones del módulo móvil para inspección.

2.3 Pruebas preliminares y validación del sistema automatizado de inspección (T5.3)

2.3.1 Pruebas con el programa de detección de defectos.

Las piezas se han hecho pasar por el sistema de detección de defectos desarrollado, capturando las cotas y dimensiones establecidas. En las siguientes imágenes se muestran diferentes capturas de pantalla de las diferentes dimensiones calculadas para una pieza.

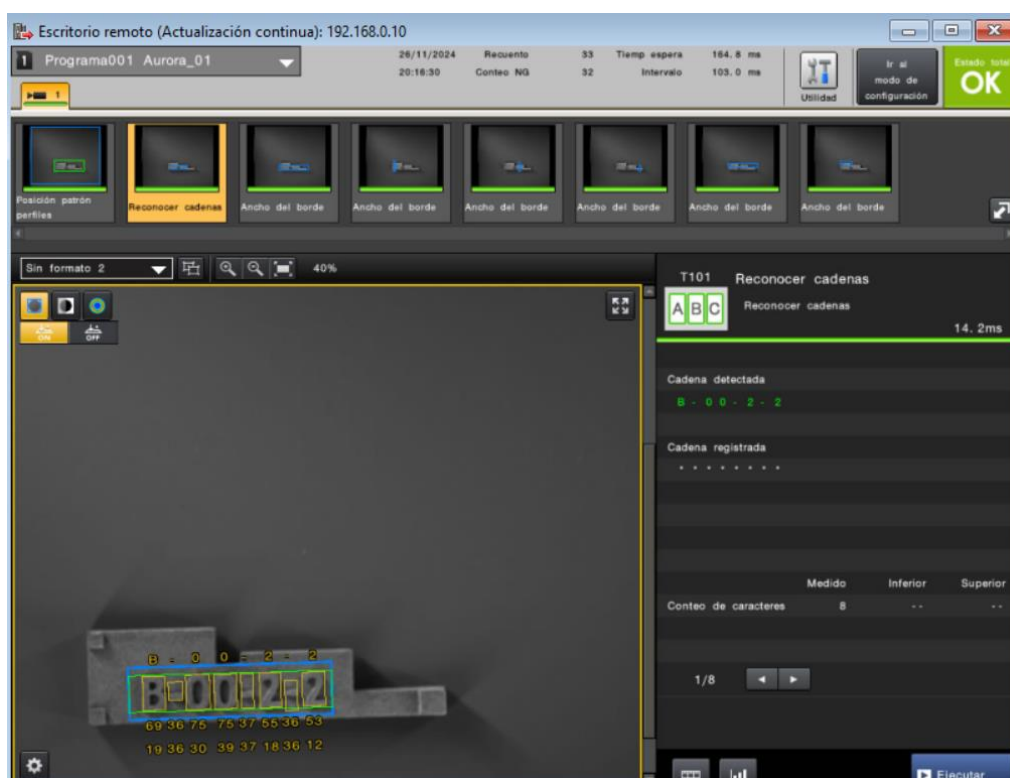


Ilustración 32. Obtención del código identificativo de la pieza (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

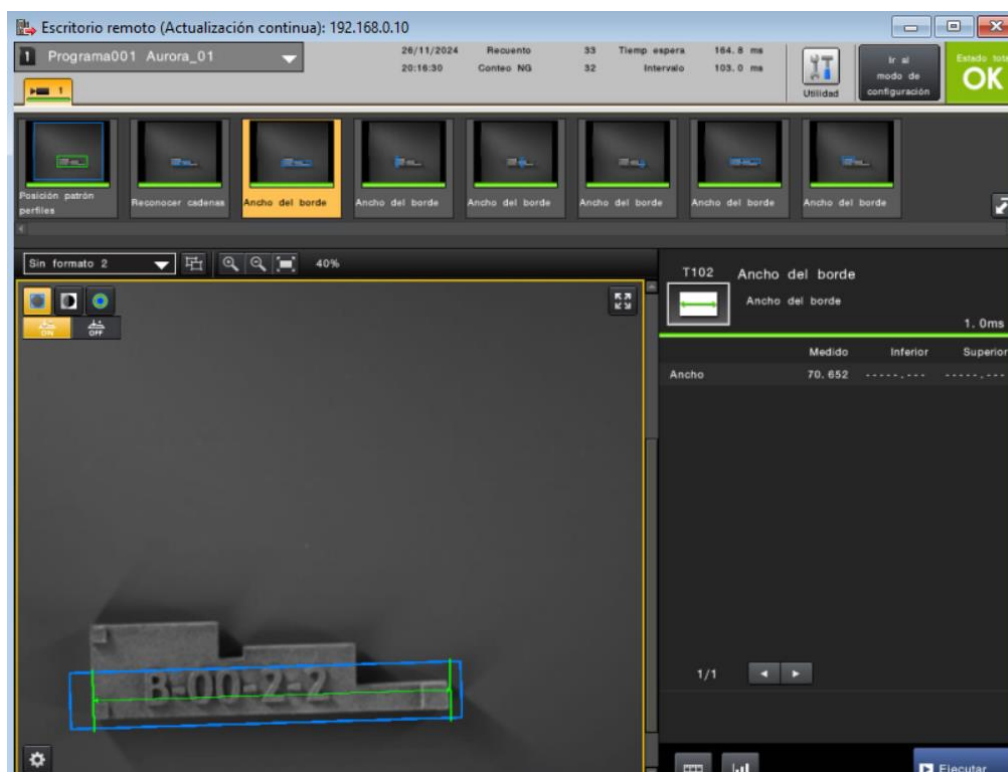


Ilustración 33. Obtención de dimensión del largo 1 de la pieza. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

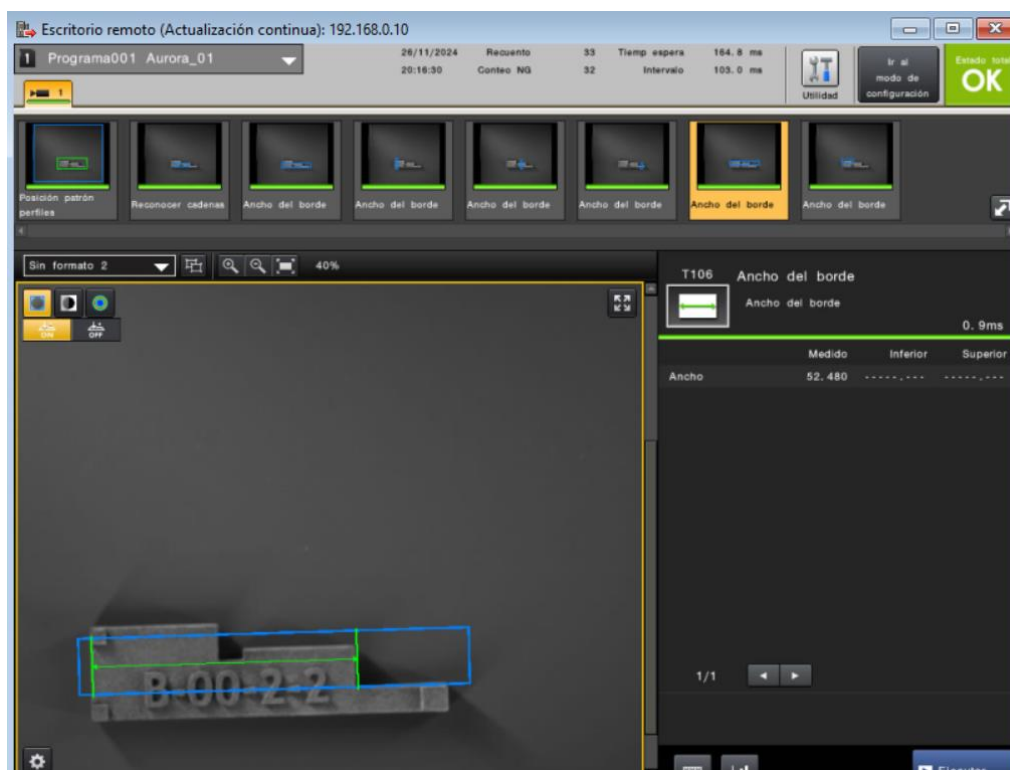


Ilustración 34. Obtención de dimensión del largo 2 de la pieza. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

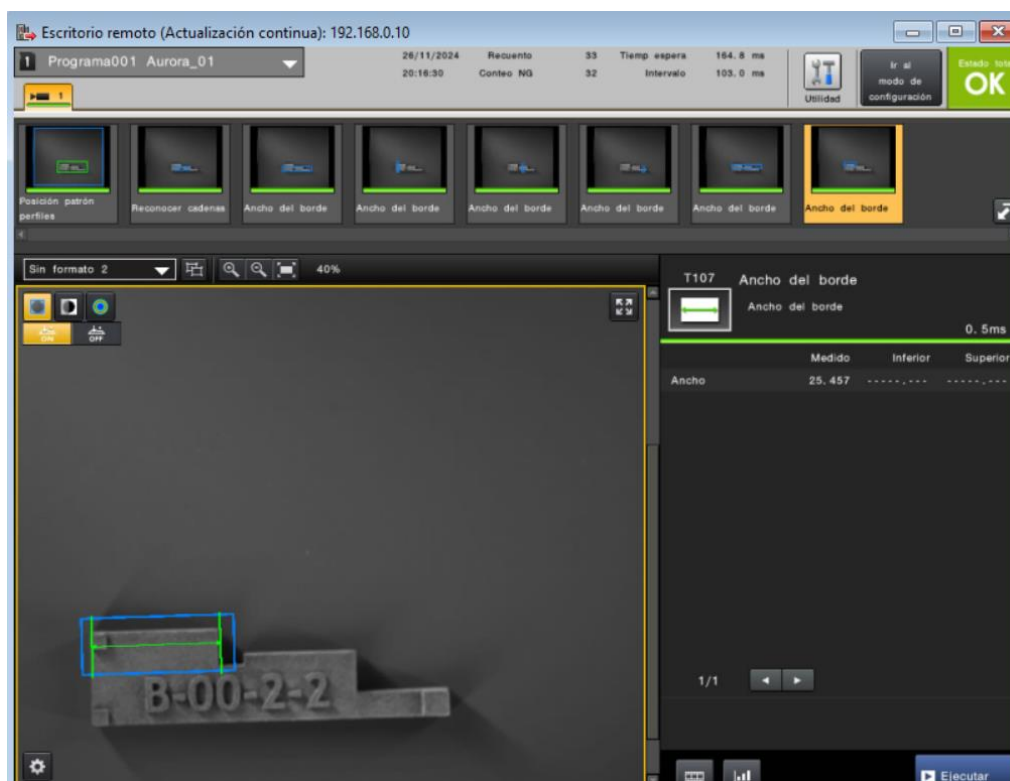


Ilustración 35. Obtención de dimensión del largo 3 de la pieza. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

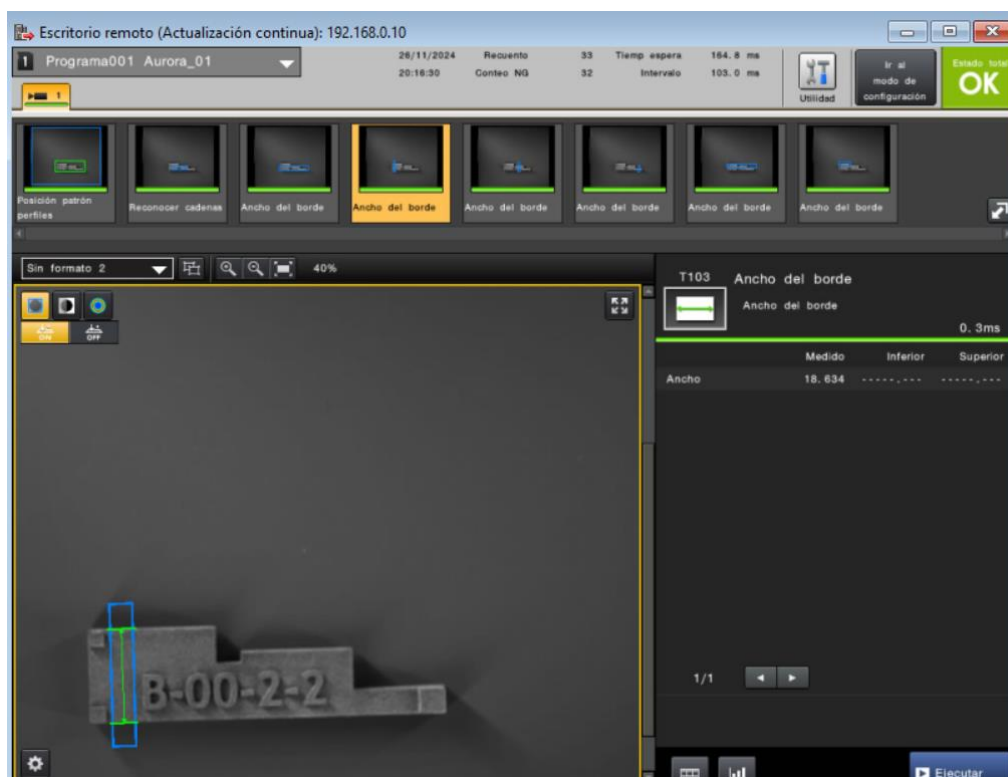


Ilustración 36. Obtención de dimensión del ancho 1 de la pieza. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

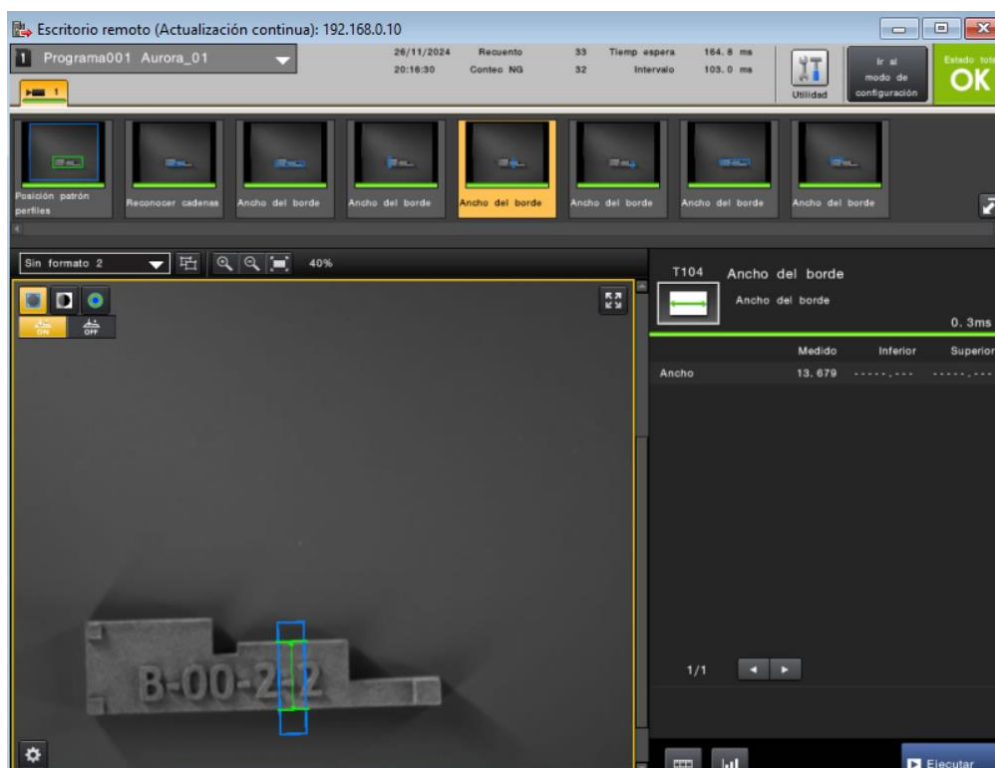


Ilustración 37. Obtención de dimensión del ancho 2 de la pieza. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

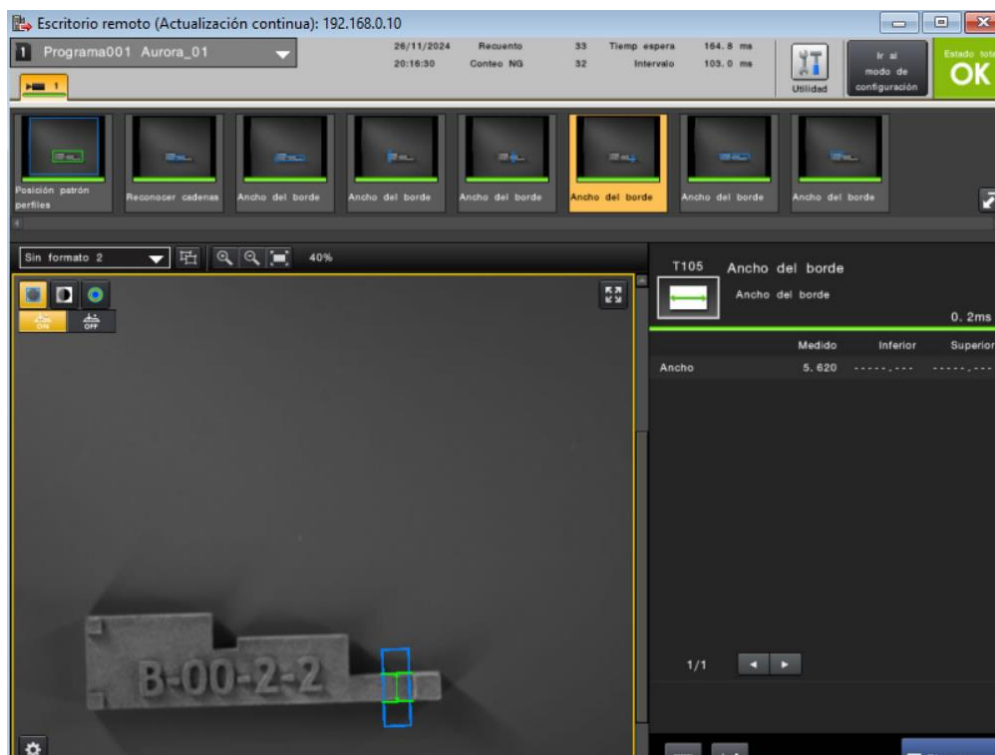


Ilustración 38. Obtención de dimensión del ancho 3 de la pieza. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

Las mediciones generadas y almacenadas en ficheros “.csv” han sido analizadas para determinar el grado de error que pudiera llegar a tener el sistema de medición y poderlo comparar con un sistema de medición “tradicional” mediante pie de rey o micrómetro.

La misma cota de pieza ha sido medida en seis posiciones diferentes del campo de visión de la cámara:

- Tres posiciones colocando la pieza longitudinalmente paralela al eje “y” de la cámara. Estas posiciones se han denominado Vizq (la más cercana al eje y), Vcen y Vder (la más alejada al eje y).
- Tres posiciones colocando la pieza longitudinalmente paralela al eje “x” de la cámara. Estas posiciones se han denominado Hizq (la más cercana al eje x), Hcen y Hder (la más alejada al eje x).

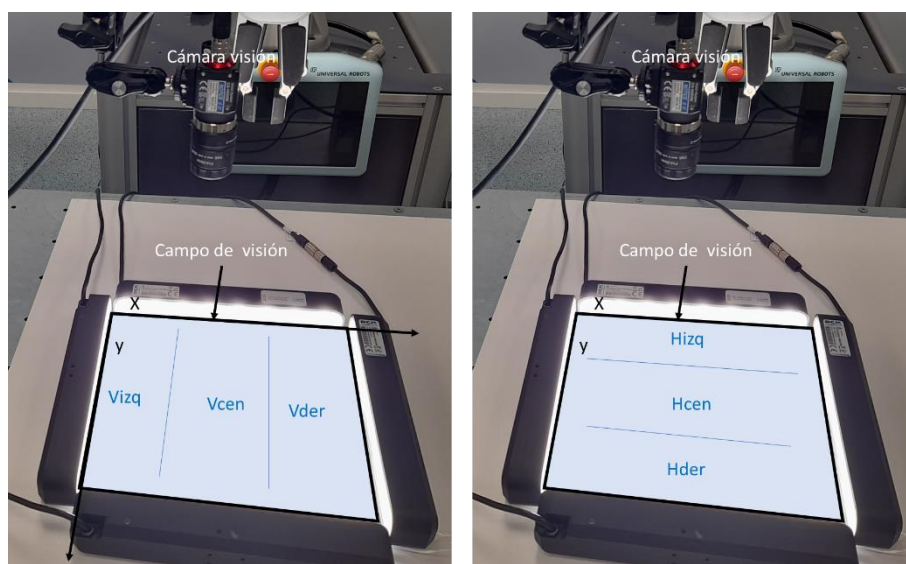


Ilustración 39. Posiciones del campo de visión donde se han realizado las mediciones. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

Se han llevado a cabo 7 mediciones de cada parámetro en cada posición del campo de visión de la cámara, obteniendo los siguientes resultados para tres modelos diferentes de piezas.

MEDICIONES CON SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL																		
	A						B						C					
A-45-1-3	Vizq	Vcen	Vder	Hizq	Hcen	Hder	Vizq	Vcen	Vder	Hizq	Hcen	Hder	Vizq	Vcen	Vder	Hizq	Hcen	Hder
Xo (nominal) mm																		
Uo mm																		
X1 mm	20,73	20,712	20,827	20,939	20,856	20,736	15,514	15,483	15,574	15,696	15,617	16,119	5,079	5,043	5,112	5,201	5,156	5,806
X2 mm	20,735	20,709	20,833	20,94	20,853	20,739	15,515	15,482	15,58	15,697	15,617	16,118	5,079	5,051	5,118	5,201	5,157	5,806
X3 mm	20,731	20,713	20,824	20,94	20,857	20,735	15,513	15,483	15,577	15,695	15,616	16,117	5,081	5,04	5,117	5,201	5,156	5,807
X4 mm	20,737	20,71	20,823	20,943	20,859	20,735	15,517	15,483	15,577	15,694	15,619	16,114	5,078	5,053	5,119	5,201	5,157	5,807
X5 mm	20,74	20,705	20,825	20,94	20,858	20,737	15,514	15,483	15,577	15,694	15,618	16,118	5,078	5,052	5,116	5,2	5,156	5,806
X6 mm	20,736	20,713	20,821	20,94	20,858	20,736	15,515	15,481	15,576	15,693	15,617	16,119	5,078	5,039	5,119	5,2	5,157	5,808
X7 mm	20,735	20,716	20,827	20,941	20,858	20,737	15,514	15,486	15,577	15,698	15,618	16,12	5,078	5,039	5,119	5,201	5,156	5,807
$\bar{x}$ i (media muestra)	20,735	20,711	20,826	20,940	20,857	20,736	15,515	15,483	15,577	15,695	15,617	16,118	5,079	5,045	5,117	5,201	5,156	5,807
Si (desv. muestra)	0,003	0,004	0,004	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001	0,006	0,003	0,000	0,001	0,001
ui (k=1)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000
Ui (k=2)	0,003	0,003	0,003	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,005	0,002	0,001	0,001	0,001
Dif	0,647	0,624	0,738	0,853	0,770	0,649	0,421	0,389	0,483	0,601	0,524	1,024	-0,014	-0,048	0,024	0,108	0,063	0,714
Desv A	0,082						Desv B	0,215					Desv C	0,264				Desv D

	A						B						C					
A-90-4-2	Vizq	Vcen	Vder	Hizq	Hcen	Hder	Vizq	Vcen	Vder	Hizq	Hcen	Hder	Vizq	Vcen	Vder	Hizq	Hcen	Hder
Xo (nominal) mm																		
Uo mm																		
X1 mm	20,675	20,674	20,819	20,95	20,831	20,748	15,44	15,415	15,532	15,643	15,568	15,519	4,955	4,87	4,778	5,162	5,101	5,728
X2 mm	20,671	20,675	20,823	20,943	20,823	20,751	15,443	15,414	15,529	15,641	15,568	15,524	4,956	4,859	4,784	5,165	5,104	5,729
X3 mm	20,673	20,674	20,822	20,939	20,825	20,748	15,44	15,413	15,533	15,64	15,567	15,521	4,958	4,86	4,776	5,165	5,104	5,725
X4 mm	20,678	20,675	20,818	20,94	20,826	20,752	15,443	15,415	15,532	15,642	15,567	15,521	4,956	4,865	4,78	5,165	5,102	5,722
X5 mm	20,68	20,68	20,826	20,937	20,828	20,751	15,442	15,416	15,533	15,644	15,569	15,521	4,958	4,863	4,785	5,167	5,101	5,726
X6 mm	20,678	20,677	20,823	20,939	20,827	20,754	15,444	15,417	15,529	15,643	15,568	15,523	4,957	4,867	4,793	5,166	5,104	5,726
X7 mm	20,674	20,68	20,819	20,935	20,822	20,744	15,445	15,418	15,528	15,64	15,568	15,521	4,959	4,862	4,774	5,163	5,108	5,726
$\bar{x}$ i (media muestra)	20,676	20,676	20,821	20,940	20,826	20,750	15,442	15,415	15,531	15,642	15,568	15,521	4,957	4,864	4,781	5,165	5,103	5,726
Si (desv. muestra)	0,003	0,003	0,003	0,005	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001	0,004	0,006	0,002	0,002	0,002
ui (k=1)	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
Ui (k=2)	0,002	0,002	0,002	0,004	0,002	0,003	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,003	0,005	0,001	0,002	0,002
	0,613	0,613	0,758	0,877	0,763	0,687	0,365	0,338	0,453	0,564	0,490	0,444	-0,111	-0,205	-0,287	0,096	0,035	0,658
Desv A	0,094						Desv B	0,076					Desv C	0,313				Desv D

	A						B						C					
A-00-9-1	Vizq	Vcen	Vder	Hizq	Hcen	Hder	Vizq	Vcen	Vder	Hizq	Hcen	Hder	Vizq	Vcen	Vder	Hizq	Hcen	Hder
Xo (nominal) mm																		
Uo mm																		
X1 mm	20,716	20,708	20,798	20,934	20,826	20,763	15,461	15,424	15,503	15,647	15,579	15,536	4,994	4,924	4,763	4,88	5,131	5,708
X2 mm	20,718	20,707	20,801	20,934	20,826	20,766	15,458	15,423	15,5	15,646	15,576	15,534	4,994	4,923	4,774	4,874	5,13	5,71
X3 mm	20,713	20,706	20,799	20,934	20,824	20,757	15,461	15,424	15,505	15,645	15,576	15,53	4,992	4,92	4,782	4,881	5,13	5,707
X4 mm	20,721	20,702	20,799	20,933	20,826	20,757	15,456	15,428	15,504	15,646	15,576	15,53	4,993	4,918	4,768	4,87	5,129	5,708
X5 mm	20,725	20,698	20,801	20,932	20,824	20,761	15,453	15,425	15,505	15,645	15,578	15,527	4,994	4,922	4,788	5,19	5,128	5,705
X6 mm	20,72	20,705	20,798	20,932	20,827	20,757	15,461	15,424	15,502	15,645	15,575	15,529	4,991	4,919	4,776	4,874	5,13	5,707
X7 mm	20,716	20,7	20,798	20,933	20,826	20,762	15,465	15,427	15,503	15,643	15,576	15,531	4,993	4,92	4,78	4,873	5,13	5,706
$\bar{x}$ i (media muestra)	20,718	20,704	20,799	20,933	20,826	20,760	15,459	15,425	15,503	15,645	15,577	15,531	4,993	4,921	4,776	4,920	5,130	5,707
Si (desv. muestra)	0,004	0,004	0,001	0,001	0,001	0,004	0,004	0,002	0,002	0,001	0,001	0,003	0,001	0,002	0,008	0,119	0,001	0,002
ui (k=1)	0,002	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,003	0,045	0,000	0,001
Ui (k=2)	0,003	0,003	0,001	0,001	0,001	0,003	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,006	0,090	0,001	0,001
	0,646	0,631	0,727	0,861	0,753	0,688	0,379	0,345	0,423	0,565	0,496	0,451	-0,087	-0,172	-0,317	-0,173	0,037	0,614
Desv A	0,078						Desv B	0,074					Desv C	0,309				Desv D

Ilustración 40. Mediciones y análisis realizados para tres modelos de pieza

Tras analizar los resultados y medir la variabilidad respecto al método convencional, se concluye que el posible error de media puede oscilar entre las 2 y las 9 centésimas de milímetro.

Para que los modelos de correlación que se desarrollan en el paquete de trabajo PT6 sean matemáticamente fiables, las desviaciones reales en la fabricación deben estar en un orden de magnitud de décimas de milímetro para ser detectados por el sistema de visión y no inducir a error en el modelo.

2.3.2 Pruebas del prototipo automatizado para la alimentación de piezas

El sistema desarrollado se ha probado con los diferentes modelos de piezas desarrollados “ad hoc” para proyecto. Al prototipo de sistema de movimiento de piezas

se le ajustaron los sistemas de visión artificial, junto con las cuatro barras de iluminación LED empleando una estructura soporte en pórtico.

A continuación, se muestran algunas imágenes del montaje final y de las pruebas realizadas.

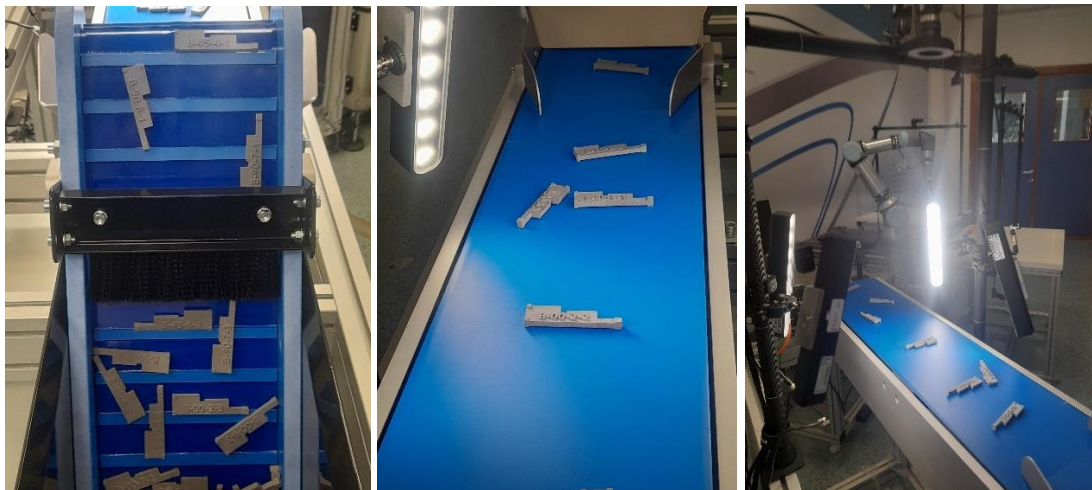


Ilustración 41. Pruebas de funcionamiento del sistema automatizado. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

Durante las pruebas no se han detectado deficiencias en el sistema desarrollado.

2.3.3 Medición de las piezas manualmente

Con el objetivo de disponer de una segunda fuente de datos de dimensiones de parámetros de pieza con un error de medida acotado y minimizado, se han medido las piezas fabricadas en el paquete de trabajo 4 utilizando un micrómetro de exteriores de la marca MITUTOYO modelo 293-561 con una incertidumbre U ($k=2$) de 0.004 mm y un pie de rey para las medidas más largas.

Se decide generar este nuevo dataset con el objetivo de mejorar la calidad de los resultados de los algoritmos que alimentan los modelos matemáticos de correlación de variables y que el posible error de medida inherente al sistema de visión no afecte a la detección de correlaciones.



Ilustración 42. Medición manual de las piezas. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

Se estableció un conjunto de 12 medidas por pieza tal y como se muestra en la siguiente imagen, indicando el orden y la zona donde realizar la medición.

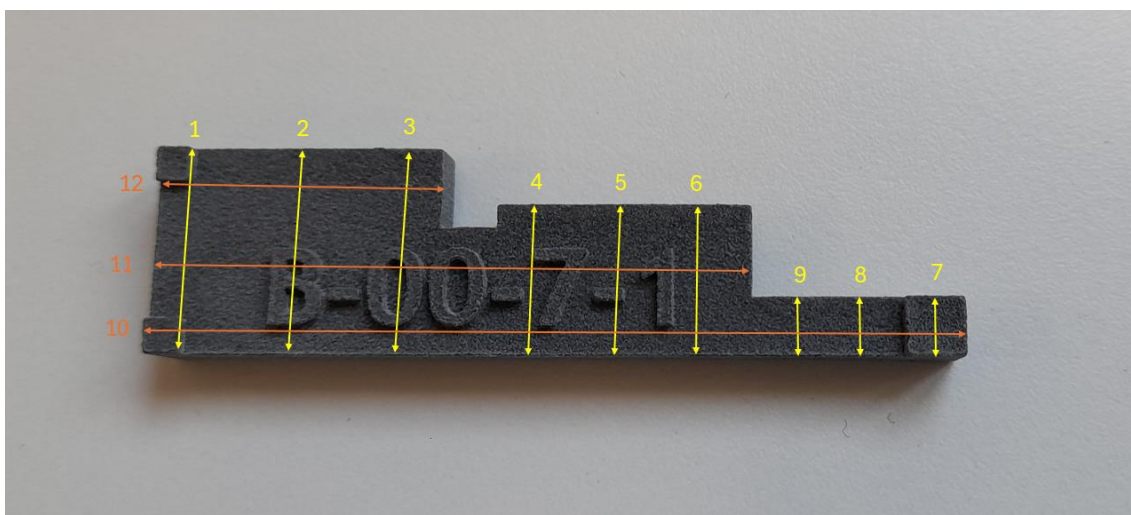


Ilustración 43. Indicación de cotas para la medición manual de las piezas. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

En el Anexo 1. Datos medidos manualmente, se incluye la tabla donde se han registrado todas las medidas realizadas. A continuación, se muestra un extracto de dicha tabla.

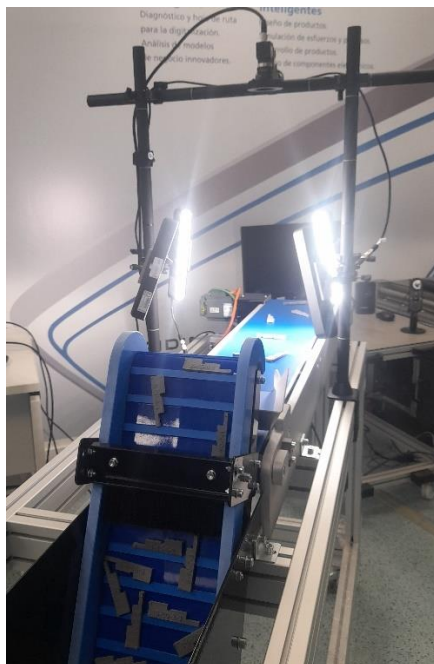


Ilustración 45. Imagen del sistema completo. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

3.2 Fichero de datos de piezas medidas

Se han generado diferentes conjuntos de datasets de mediciones de piezas que son empleadas en el paquete de trabajo PT6 para extraer correlaciones entre las desviaciones dimensionales de las piezas y los parámetros del proceso de fabricación: posición XY en la bandeja, altura y ángulo de fabricación.

4 Conclusiones

En el marco del proyecto “AURORA”, se ha diseñado y desarrollado un sistema automatizado para la identificación y medición de piezas de fabricación aditiva mediante técnicas de visión artificial, cuyo objetivo principal es la detección de defectos dimensionales. Este sistema, resultado de un proceso iterativo de diseño conceptual, pruebas preliminares, y validación funcional, representa un avance significativo en el control de calidad automatizado en procesos de manufactura avanzada, y las mediciones realizadas, son un input necesario para el desarrollo de las tareas del paquete de trabajo PT6.

El trabajo desarrollado ha incluido la definición del flujo físico y de información que integra diferentes tecnologías y componentes. Por un lado, el sistema mecánico incorpora una tolva de almacenamiento, alimentadores, y cintas transportadoras que garantizan un movimiento controlado y eficiente de las piezas. Por otro lado, el subsistema de visión artificial, compuesto por una cámara de alta resolución y un sistema de iluminación optimizado, permite la captura de imágenes con suficiente calidad para realizar mediciones dimensionales.

Las pruebas realizadas demostraron que el sistema es capaz de identificar patrones geométricos y leer códigos alfanuméricos de forma autónoma. Además, se logró medir parámetros críticos de las piezas con errores dentro de un rango que oscila entre 2 y 9 centésimas de milímetro. No obstante, se detectaron limitaciones en la precisión al medir diámetros interiores, las cuales deberán ser abordadas en futuros desarrollos.

La automatización de la alimentación de piezas asegura un funcionamiento robusto, reduciendo la dependencia de intervención humana y mejorando la repetitividad del proceso. Asimismo, la generación de datasets en formato digital permite no solo almacenar la información obtenida, sino también alimentarla en los modelos de análisis y optimización del proceso productivo (paquete de trabajo PT6).

El sistema desarrollado en este proyecto constituye un prototipo a escala laboratorio que puede ser adaptado a otras aplicaciones industriales.

AIDIMME

INSTITUTO TECNOLÓGICO

Domicilio fiscal —

C/ Benjamín Franklin 13. (Parque Tecnológico)
46980 Paterna. Valencia (España)
Tlf. 961 366 070 | Fax 961 366 185

Domicilio social —

Leonardo Da Vinci, 38 (Parque Tecnológico)
46980 Paterna. Valencia (España)
Tlf. 961 318 559 - Fax 960 915 446

aidimme@aidimme.es

www.aidimme.es