



INFORME PROYECTOS— 2023-2024

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

Informe: “Final de Resultados”

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

INDICE

1	INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS DEL PROYECTO	1
1.1	EMPRESAS COLABORADORAS	1
2	ACTIVIDADES REALIZADAS, DESARROLLO DEL PROYECTO	5
2.1	IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE PIEZAS DE FABRICACIÓN ADITIVA EN FUNCIÓN DE LAS DESVIACIONES DIMENSIONALES DETECTADAS	5
2.1.1	ESTUDIO DE LAS DESVIACIONES DIMENSIONALES DETECTADAS EN LAS PIEZAS DE POLÍMERO FABRICADAS CON TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN ADITIVA DE LECHO DE POLVO	5
2.1.2	DISEÑO DE PIEZAS QUE PRESENTEN LOS PROBLEMAS ANTERIORMENTE IDENTIFICADOS	6
2.1.3	FABRICACIÓN DE LAS PIEZAS CODIFICADAS CON LAS TECNOLOGÍAS DE LECHO DE POLVO	8
2.2	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA CORRECTA PRESENTACIÓN Y MEDICIÓN DE PIEZAS DE FABRICACIÓN ADITIVA	12
2.2.1	DISEÑO CONCEPTUAL Y EN DETALLE DEL SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA IDENTIFICACIÓN Y MEDICIÓN DE LAS PIEZAS	12
2.2.2	DESARROLLO, FABRICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	15
2.2.3	PRUEBAS PRELIMINARES Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE INSPECCIÓN	22
2.3	DESARROLLO DEL SISTEMA DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA DETERMINAR EL ORIGEN DE LOS DEFECTOS. VALIDACIÓN DEL SISTEMA	24
2.3.1	IDENTIFICACIÓN, SELECCIÓN DE CASOS REALES Y FABRICACIÓN DE LOS MISMOS	25
2.3.2	DISEÑO Y DESARROLLO DE LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN, ALMACENAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS, INSTANCIADAS AL CASO REAL	31
2.3.3	ANÁLISIS DE LAS PIEZAS DESARROLLADAS MEDIANTE EL SISTEMA DE INSPECCIÓN	37
2.3.4	EVALUACIÓN DE RESULTADOS Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA DESARROLLADO. CONCLUSIONES	43
3	RESULTADOS OBTENIDOS	46
4	RESUMEN Y CONCLUSIONES	47
5	ANEXOS Y BIBLIOGRAFÍA	50

1 Introducción, objetivos del proyecto

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

1.1 Empresas colaboradoras

Las empresas colaboradoras en el proyecto son las siguientes:



CLINICA GIRONÉS

Clínica podológica situada en Valencia que ofrece servicios de podología que van desde estudios biomecánicos especializados en la pisada hasta prácticas quiropodológicas habituales. Usuario de tecnologías de fabricación aditiva para el desarrollo de plantillas. En el proyecto, la empresa diseñó una plantilla con medidas similares a las piezas sencillas utilizadas para el desarrollo de los algoritmos de aprendizaje y además se fabricó una plantilla de mayores dimensiones con el fin de disponer de piezas de mayor dimensión para la validación final del modelo de IA.



Ilustración 1. Piezas demo de Pilar Gironés Puñet (Clínica Gironés)



GH ELECTROTERMIA S.A.U

Empresa dedicada al desarrollo y fabricación de equipos industriales para calentamiento por inducción. Tiene una larga experiencia como usuario de tecnologías de fabricación aditiva tanto en polímero como en metal. En el caso de los polímeros fabrica piezas de alta complejidad cuya misión es reducir la elevada temperatura de las piezas metálicas sobre las que se aplica la inducción mediante la pulverización de agua. En el proyecto, la empresa ha proporcionado una pieza sencilla, una brida que tiene un mayor espesor respecto a las piezas utilizadas para el algoritmo de aprendizaje de la IA de este modo se comprobará el alcance del modelo con otros espesores de pieza.



Ilustración 2. Piezas demo de GH Electrotermia SAU



VALVER SPEED AIR S.L.

Empresa usuaria habitual de tecnologías aditiva tanto en polímero como en metal para el desarrollo de boquillas para pistolas de pintura, así como otros elementos de dichas pistolas. Las piezas producidas por VALVER tienen una alta complejidad geométrica y presentan aspectos que deben cumplir cierta repetibilidad dimensional. Se ha diseñado un elemento que debe encajar en otra pieza puesto que son los apoyos de una pieza tipo aro. Por lo tanto, debe tener una correcta dimensión geométrica para asegurar el correcto encaje de las piezas.



Ilustración 3. Piezas demo de Valver Speed Air S.L.



CLAM DESARROLLO SL.

Empresa con base tecnológica especializada en el desarrollo de productos y servicios innovadores aplicados a la industria. Destina la totalidad de sus recursos y esfuerzos a potenciar el I+D+i como gran línea estratégica de trabajo. Desde el año 2020 CLAM DESARROLLO ha dedicado parte de sus recursos en el desarrollo de materiales para tecnologías de fabricación aditiva para el procesamiento de polímeros termoplásticos. Se ha diseñado un panel decorativo modular, las piezas se pueden ensamblar unas con otras para obtener la pieza final deseada. Este demostrador implica unas dimensiones mayores de las utilizadas en las piezas utilizadas para el aprendizaje del modelo de IA y además las piezas deben encajar entre sí, motivo por el cual es importante el control de las desviaciones dimensionales.

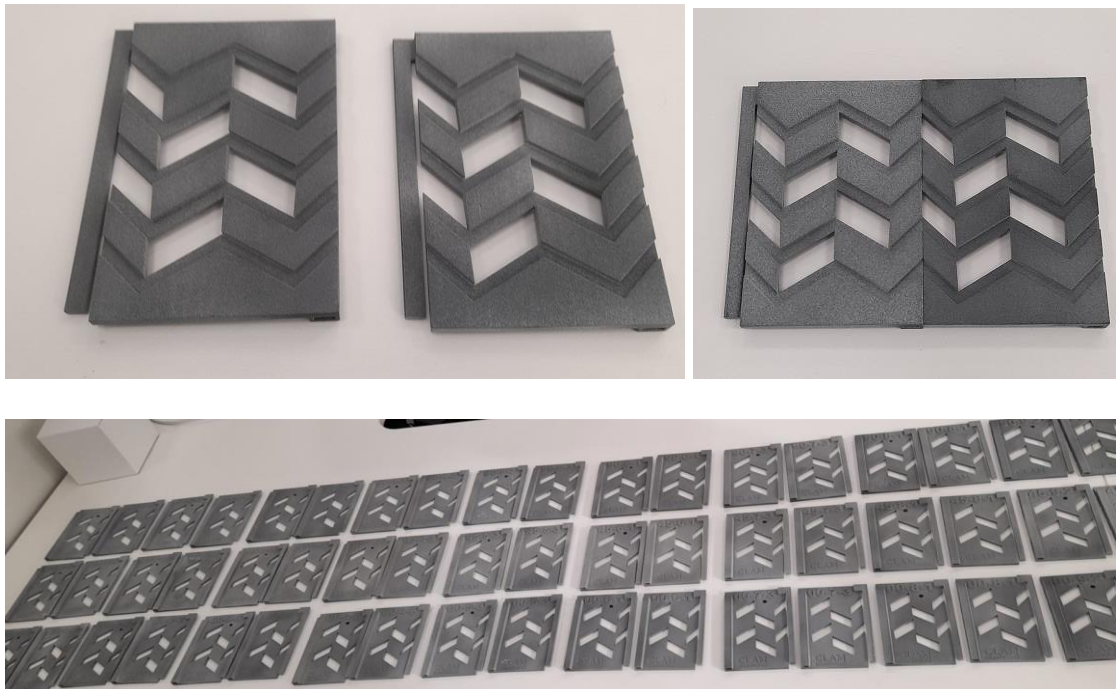


Ilustración 4. Piezas demo CLAM Desarrollo.S.L.

2 Actividades realizadas, desarrollo del proyecto

El proyecto consta de seis paquetes de trabajo, un paquete de trabajo de gestión y coordinación, otro de difusión, otro de transferencia y tres paquetes de trabajo técnicos.

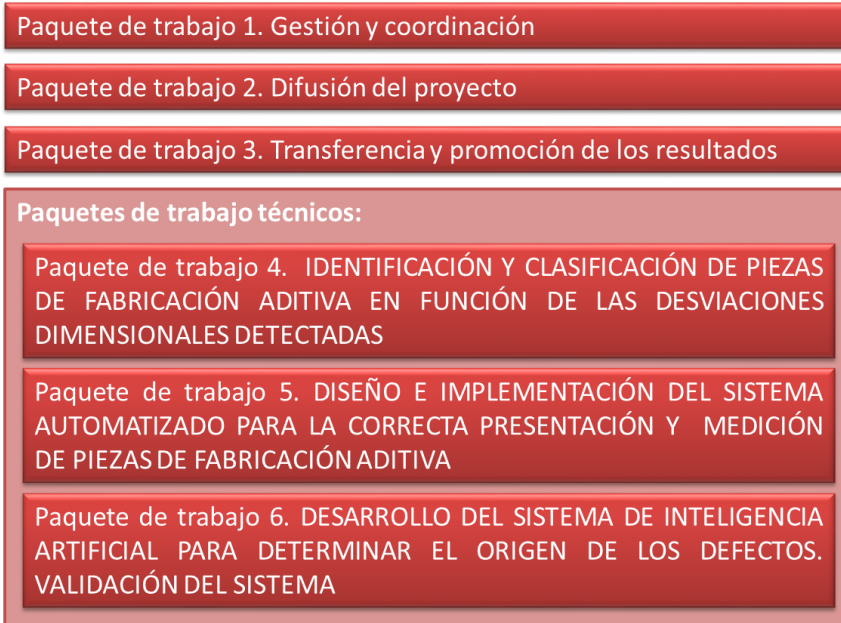


Ilustración 5. Paquetes de trabajo del proyecto AURORA

En este informe se detallan las actividades técnicas desarrolladas en el proyecto.

2.1 Identificación y clasificación de piezas de fabricación aditiva en función de las desviaciones dimensionales detectadas

El objetivo de este paquete de trabajo se centra en el estudio y evaluación de las desviaciones dimensionales de las piezas poliméricas fabricadas con tecnologías aditivas de lecho de polvo para el procesado de polímeros, en función de las propias características geométricas de las piezas y las diferentes variables del proceso de fabricación que pueden afectar al resultado final de la pieza. Además, será necesario recoger digitalmente toda la información relativa a las piezas entre las que destaca la información dimensional de las piezas y todos los aspectos relativos a su orientación, localización dentro del volumen de fabricación y factores de escala aplicados a la pieza entre otros.

Las actividades realizadas se muestran a continuación:

2.1.1 Estudio de las desviaciones dimensionales detectadas en las piezas de polímero fabricadas con tecnologías de fabricación aditiva de lecho de polvo

Se ha realizado un estudio detallado de bibliografía relacionada con el análisis de las desviaciones dimensionales de la tecnología de lecho de polvo polimérico, en concreto con la tecnología Evolución de las prestaciones mecánicas del polvo de poliamida cuando es procesada con la tecnología de fusión de lecho de polvo mediante luz infrarroja (PBF-IrL/P), comúnmente

conocida como Multi Jet Fusion de HP (MJF) y se ha valorado la opinión de las empresas participantes para la identificación, diseño y selección de una pieza sencilla sobre la que hacer el estudio.

Tras el análisis bibliográfico, así como la información suministrada por las empresas se decidió que el diseño de las piezas para el desarrollo de los algoritmos de IA al menos debían cumplir los siguientes requisitos:

- Piezas sencillas de medir, con caras planas y algún diámetro.
- Zona específica para incluir el código de identificación.
- Incluir varios tamaños de pieza para ampliar el rango de los algoritmos.
- Diseño y fabricación de las piezas sencillas en diferentes posiciones dentro del volumen de fabricación para comprobar su influencia en las desviaciones dimensionales y en la calidad superficial.
- Diseño y fabricación de las piezas sencillas en diferentes orientaciones, al menos 3 orientaciones, dentro del volumen de fabricación para comprobar su influencia en las desviaciones dimensionales y en la calidad superficial.

2.1.2 Diseño de piezas que presenten los problemas anteriormente identificados

Tras varias iteraciones y pruebas, se ha realizado el diseño de tres tipos de pieza que contienen el código que identifica la posición y orientación de las piezas cuando son fabricadas. Se ha comprobado la correcta identificación de los códigos propuestos mediante un conjunto de pruebas con diferentes opciones de fabricación.





Ilustración 6. Pruebas de identificación de códigos

Una vez establecidos los códigos y el diseño sencillo de la pieza, se ha diseñado tres versiones de la pieza. Las piezas son similares, pero con diferentes medidas para disponer de mayor cantidad de medidas a la hora del desarrollo de los algoritmos de aprendizaje para el desarrollo de la IA.

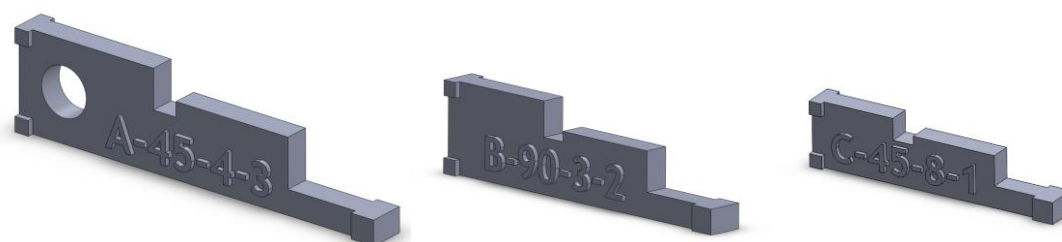


Ilustración 7. Diseño de las piezas sencillas para la realización de los algoritmos de aprendizaje. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)



Ilustración 8. Fabricación de piezas. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

Además, se ha diseñado un conjunto formado por tres piezas que están en una misma posición.

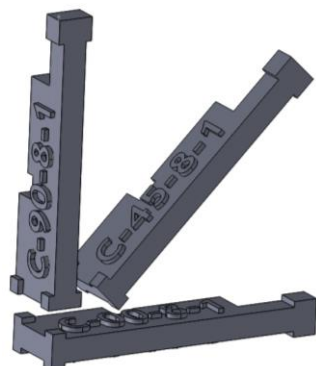


Ilustración 9. Conjunto de piezas por posición. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

2.1.3 Fabricación de las piezas codificadas con las tecnologías de lecho de polvo

Una vez diseñadas las piezas, codificadas y agrupadas de tres en tres según la posición, se inició la fabricación de las mismas. Para ello se identificó las coordenadas dentro del volumen de fabricación siguiendo la siguiente distribución.

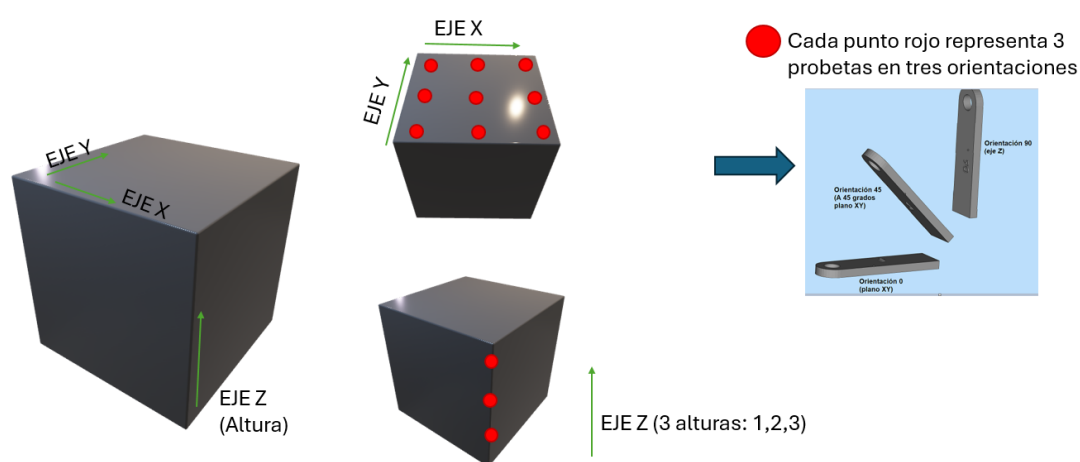


Ilustración 10. Posición y orientación de las piezas en el volumen de fabricación. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

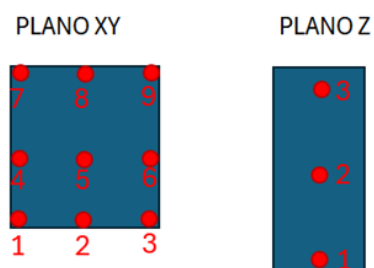


Ilustración 11. Numeración de las posiciones en el volumen de fabricación. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

Tabla 1. Coordenadas en milímetros de todas las posiciones establecidas en el volumen de fabricación

Posición pieza	Coordenadas (mm)		
	X	Y	Z
1-1	4	258	0
1-2	4	258	170
1-3	4	258	285
2-1	4	135	0
2-2	4	135	160
2-3	4	135	285
3-1	4	4	0
3-2	4	4	160
3-3	4	4	285
4-1	140	258	0
4-2	140	258	160
4-3	140	258	285
5-1	140	135	0
5-2	140	135	160
5-3	140	135	285
6-1	140	4	0
6-2	140	4	160
6-3	140	4	285
7-1	285	258	0
7-2	285	258	160
7-3	285	258	285
8-1	285	135	0
8-2	285	135	160
8-3	285	135	285
9-1	285	4	0
9-2	285	4	160
9-3	285	4	285

Se fabricaron 5 lotes de piezas, con 81 piezas cada lote. Total piezas tipo A: 405 piezas

Se fabricaron 5 lotes de piezas, con 81 piezas cada lote. Total piezas tipo B: 405 piezas

Se fabricaron 5 lotes de piezas, con 81 piezas cada lote. Total piezas tipo C: 405 piezas

En total se han fabricado 1215 piezas.

A continuación, se muestra cómo se colocaron los ficheros para su fabricación dentro del volumen de la máquina:

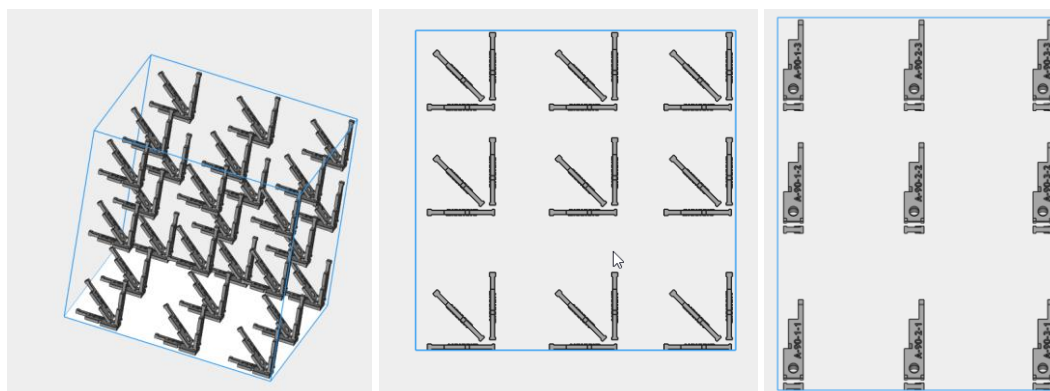


Ilustración 12. Ejemplo de colocación de piezas tipo A. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

Tabla 2. Descripción de las fabricaciones realizadas

BANDEJA	TIPO PIEZA FABRICADA	Nº PIEZAS	POSICIONES FABRICADAS
BF_MJF_910	A	81	TODAS
BF_MJF_912	A	81	TODAS
BF_MJF_913	A	81	TODAS
BF_MJF_914	A	81	TODAS
BF_MJF_917	A	81	TODAS
BF_MJF_918	B	81	TODAS
BF_MJF_919	B	81	TODAS
BF_MJF_921	B	81	TODAS
BF_MJF_923	B	81	TODAS
BF_MJF_924	B	81	TODAS
BF_MJF_925	C	81	TODAS
BF_MJF_928	C	81	TODAS
BF_MJF_929	C	81	TODAS
BF_MJF_931	C	81	TODAS
BF_MJF_932	C	81	TODAS
TOTAL PIEZAS FABRICADAS		1215	

Cada lote de piezas se ha fabricado y se mantiene por separado para no mezclar las piezas de diferente lote ya que tienen el mismo código. Se desestimó incluir un código para el lote para facilitar la identificación de las piezas, así como por la limitación del espacio de las piezas reservado para el código, sobre todo en las piezas tipo C.

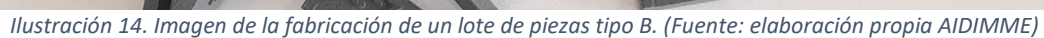




Ilustración 15. Imagen de la fabricación de un lote de piezas tipo C. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

2.2 Diseño e implementación del sistema automatizado para la correcta presentación y medición de piezas de fabricación aditiva

El 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

2.2.1 Diseño conceptual y en detalle del sistema automatizado para la identificación y medición de las piezas

Se ha analizado con detalle las piezas que se requería analizar y se evaluó que el sistema era capaz de identificar los códigos de las piezas que almacenan la información de los parámetros de fabricación estas piezas.

Se ha definido las especificaciones funcionales del sistema, que 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.

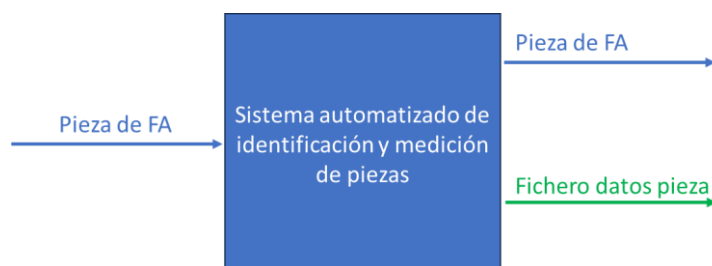


Ilustración 16. Diagrama IDEF 0 general del sistema (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

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.

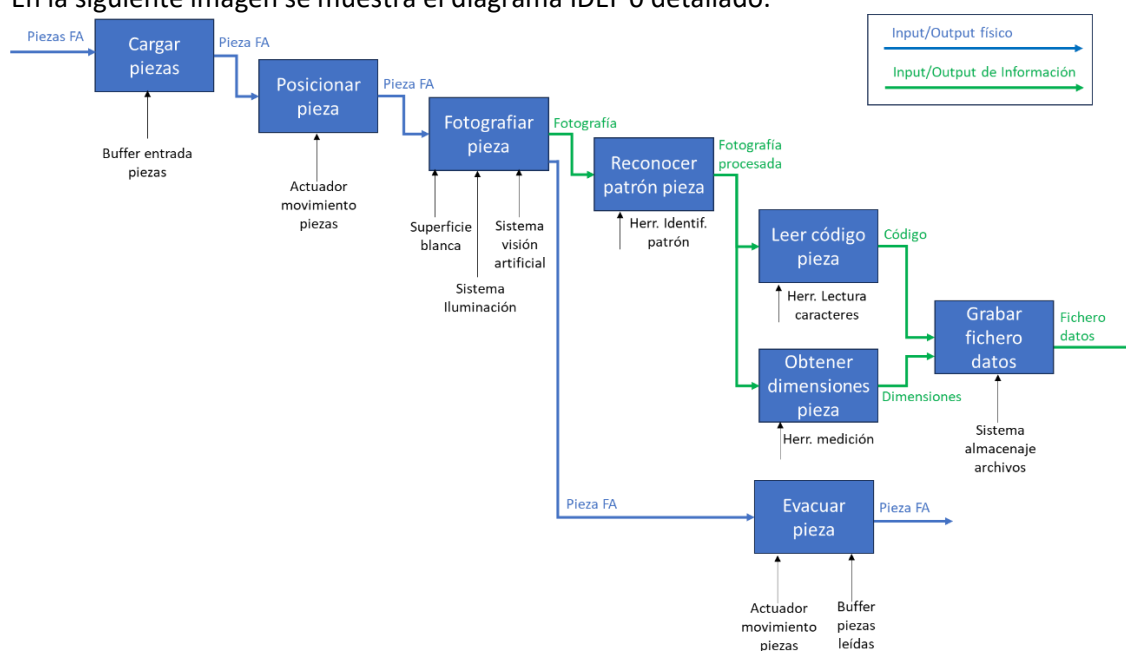


Ilustración 17. Diagrama IDEF 0 de detalle (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

En el diagrama anterior se han representado tanto el flujo físico de piezas, como el flujo de información asociado a las mismas

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.

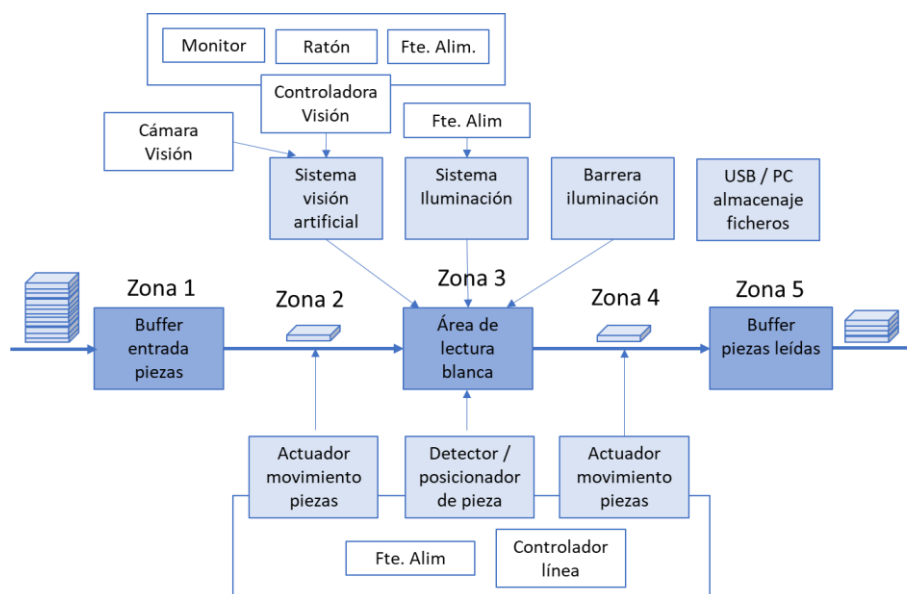


Ilustración 18. Diagrama de componentes para el sistema físico (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

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.

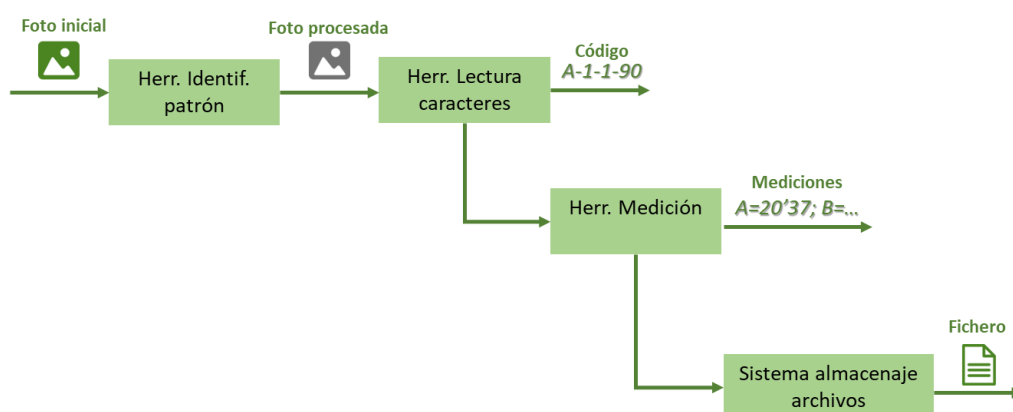


Ilustración 19. Diagrama de componentes para el sistema software de identificación y medición (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

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.

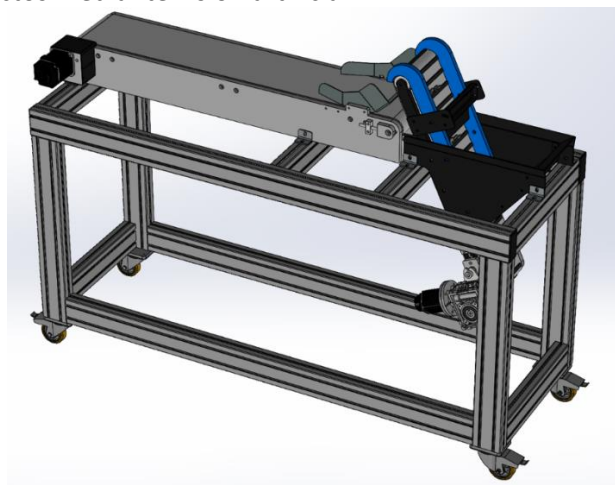


Ilustración 20. CAD 3D módulo móvil

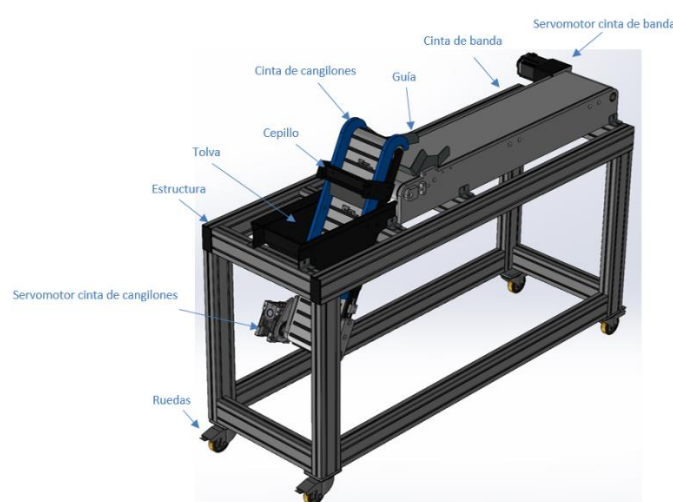


Ilustración 21. Despiece CAD 3D módulo móvil

2.2.2 Desarrollo, fabricación e implementación del sistema

El sistema desarrollado consta de dos desarrollos:

1. Sistema de identificación y medición de piezas:

Este sistema contiene los siguientes elementos:

- Cámara de visión e iluminación:

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. 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.

Para la selección del 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.

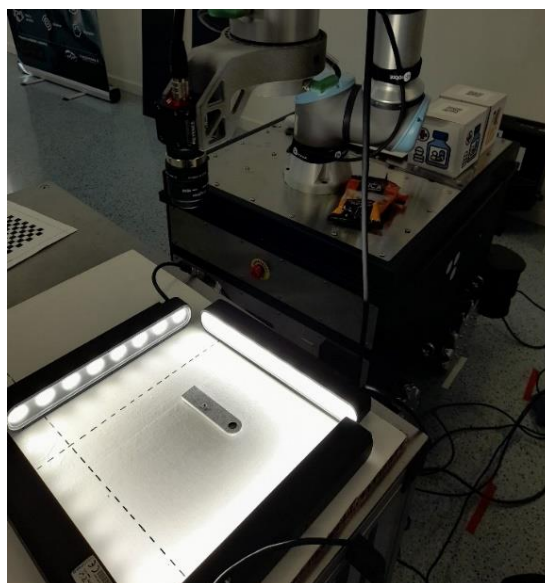


Ilustración 22. Sistema de iluminación seleccionado (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

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.

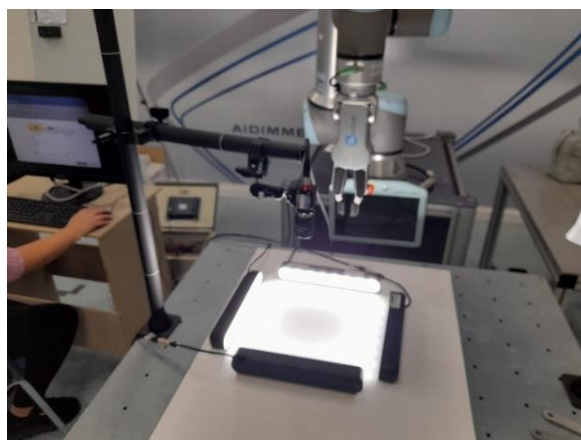


Ilustración 23. Montaje de la cámara (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

- 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.

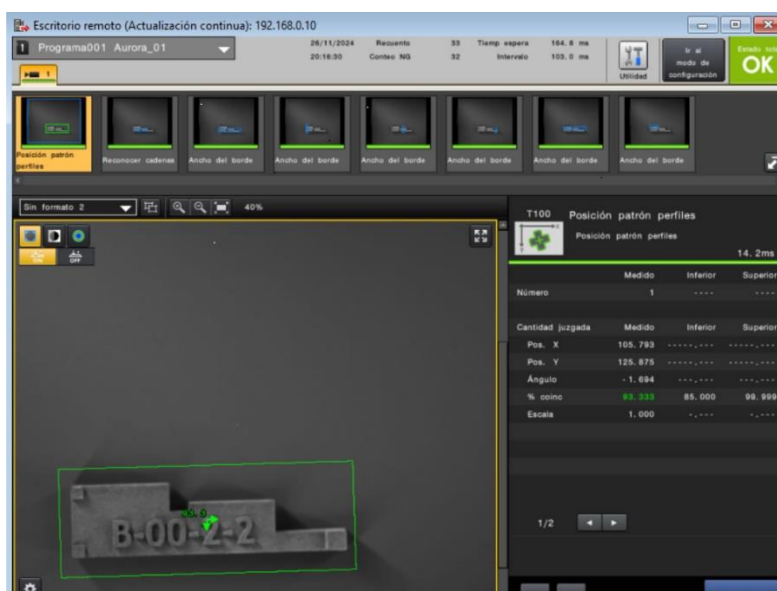


Ilustración 24. Resultado reconocimiento perfiles (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

- Herramienta de reconocimiento del código identificativo

Se programa la herramienta “reconocimiento de caracteres” para reconocer el código

alfanumérico que llevarán impreso las piezas.

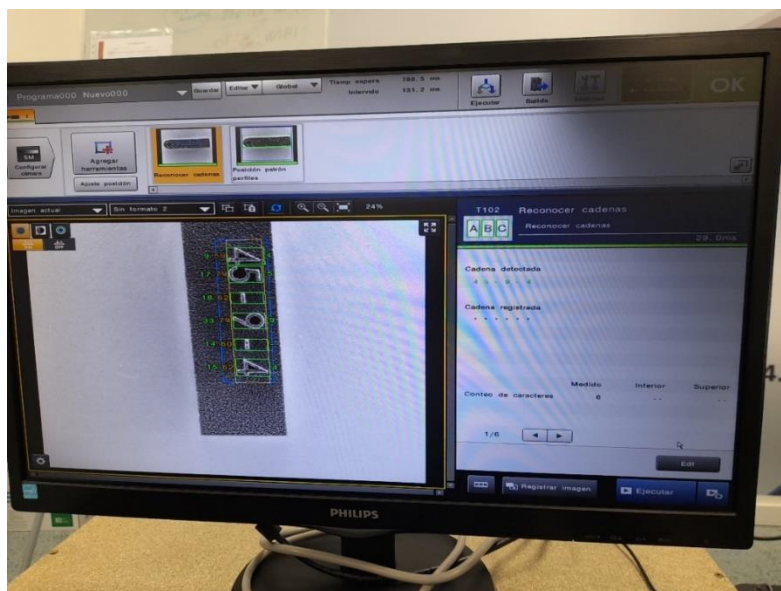


Ilustración 25. Resultado herramienta reconocimiento caracteres (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

- Herramienta de medición de dimensiones.

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

- Cotas entre líneas paralelas de una pieza: Se programa la medición del ancho de una pieza en tres puntos diferentes de la misma, con el objetivo de ver variaciones entre las mismas.

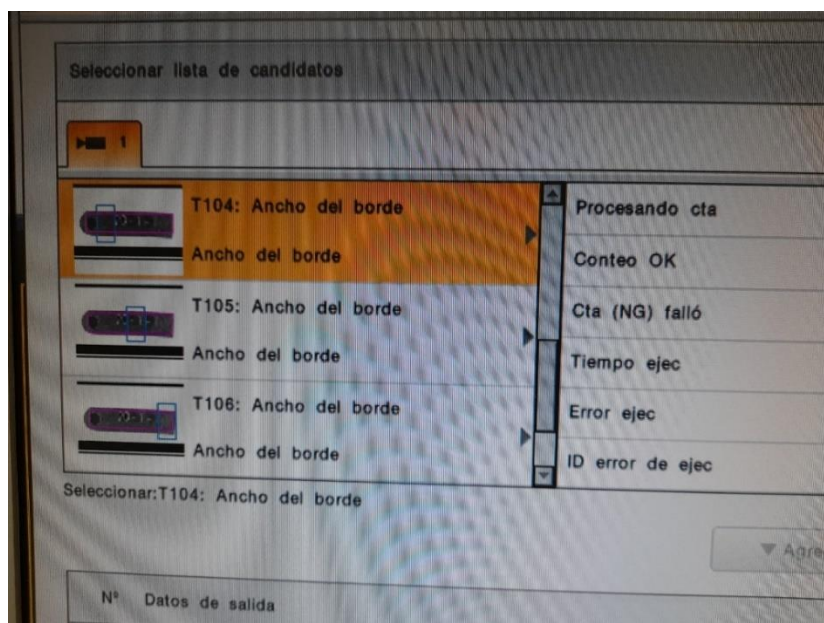


Ilustración 26. Mediciones del ancho de pieza en tres zonas diferentes (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

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



Ilustración 27. Mediciones del ancho en el extremo y en el centro (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

- Cotas sobre curvas (diámetros): Se programa 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. 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.

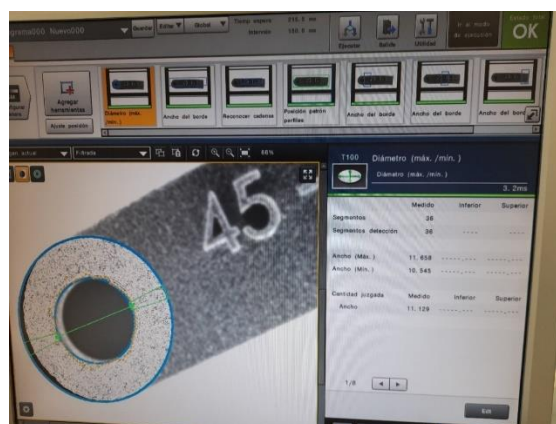


Ilustración 28. Error en el cálculo del diámetro (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

- 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.

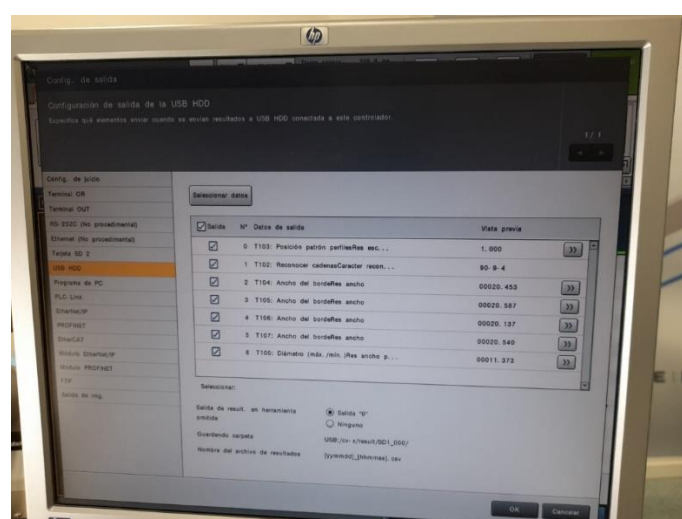


Ilustración 29. Programación de la generación del fichero de datos. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

Ilustración 30. Ejemplo de archivo .csv de los datos leídos por la cámara. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

2. Desarrollo del sistema automatizado completo:

El sistema automatizado de alimentación de piezas para la inspección ha sido desarrollado por la empresa TAM Industrial Energy, S.L, realizando 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 a 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.

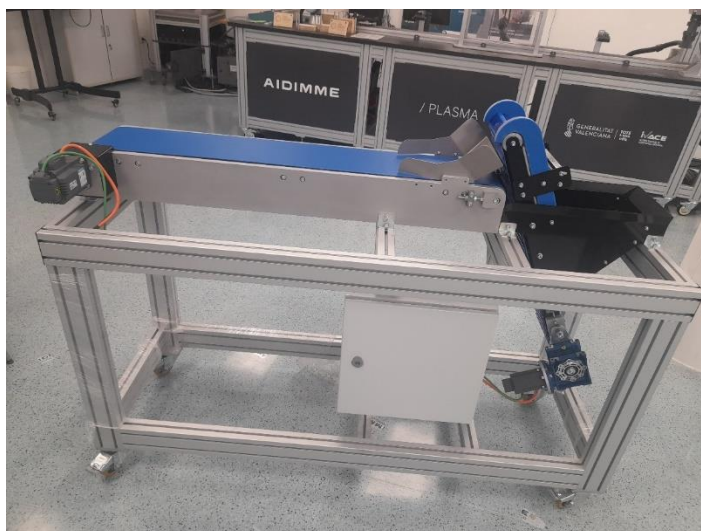


Ilustración 31. Módulo móvil para inspección.

2.2.3 Pruebas preliminares y validación del sistema automatizado de inspección

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. A continuación, se muestra un ejemplo de una de las capturas de pantalla de las diferentes dimensiones calculadas para una pieza

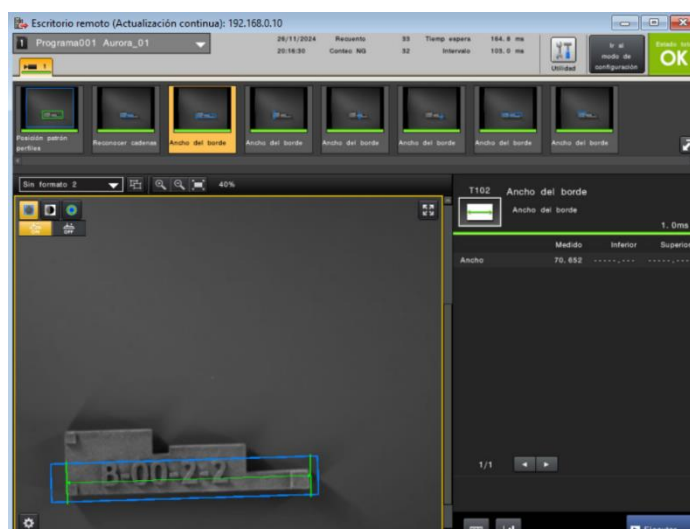


Ilustración 32. Obtención de dimensión del largo 1 de la pieza. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

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:

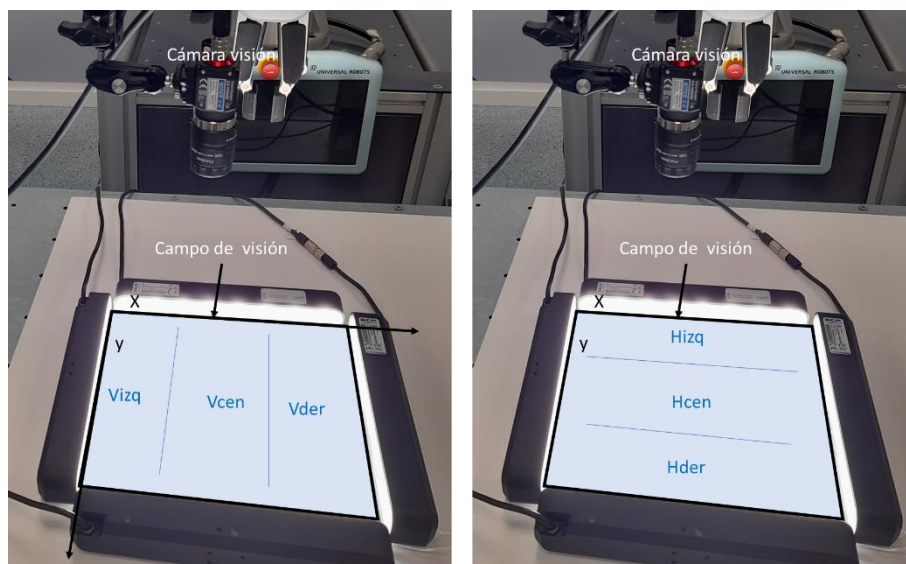


Ilustración 33. Posiciones del campo de visión donde se han realizado las mediciones. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

Tras analizar los resultados de la variabilidad de los resultados medidos por el sistema de visión 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. Pruebas con el programa de detección de defectos:

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. Durante las pruebas no se han detectado deficiencias en el sistema desarrollado. A continuación, se muestran algunas imágenes del montaje final y de las pruebas realizadas.

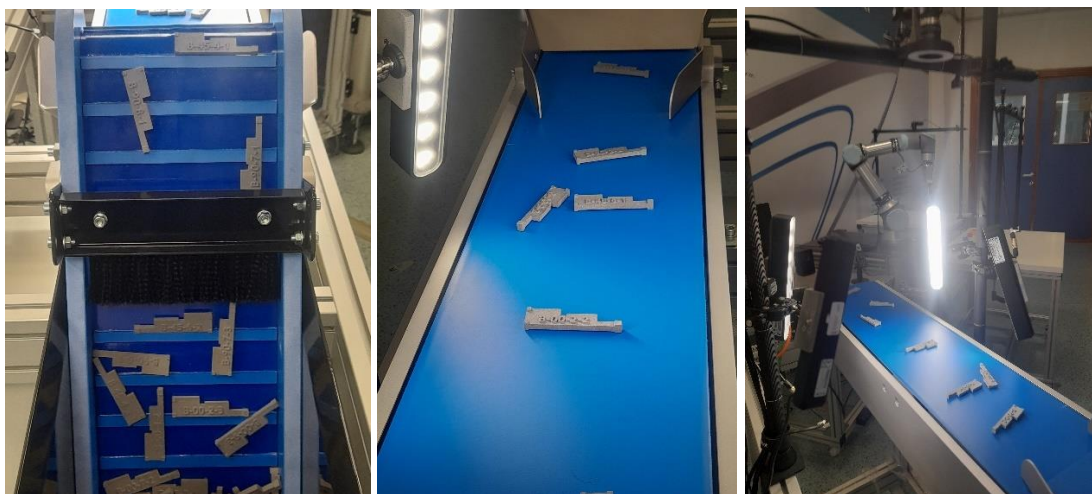


Ilustración 34. Pruebas de funcionamiento del sistema automatizado. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

3. Medición de las piezas:

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.

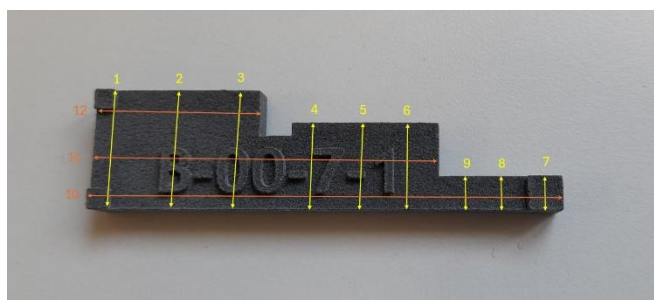


Ilustración 35. Indicación de cotas para la medición manual de las piezas. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

2.3 Desarrollo del sistema de inteligencia artificial para determinar el origen de los defectos. Validación del sistema

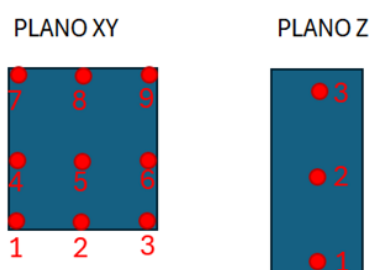
El objetivo de este paquete de trabajo es determinar la arquitectura genérica del sistema de IA para que sea capaz de correlacionar los defectos de las piezas con las causas que lo provocan mediante algoritmos y su validación con casos reales.

2.3.1 Identificación, selección de casos reales y fabricación de los mismos

Desde el inicio del proyecto se ha contactado con las empresas colaboradoras para que conocieran el objetivo del proyecto, recibir su opinión sobre las desviaciones dimensionales como usuarias de las tecnologías de fabricación aditiva y su propuesta de pieza real demo para su uso en el proyecto AURORA. Las empresas participantes en el proyecto han sido:

- CLINICA GIRONÉS
- GH ELECTROTERMIA S.A.U
- VALVER SPEED AIR S.L.
- CLAM DESARROLLO S.L.

Tras la identificación y diseño de las piezas demo por parte de cada empresa, se han fabricado un conjunto de piezas en distintas posiciones y orientaciones dentro del volumen de fabricación. Todas las piezas han sido fabricadas en 9 posiciones representativas que mapean posiciones en XY y en Z en todo el volumen de fabricación. En cada posición se han fabricado en las 3 orientaciones definidas que son 0,45 y 90 grados.



	POSICIÓN Z ALTURA 1	POSICIÓN Z ALTURA 2	POSICIÓN Z ALTURA 3
POSICIÓN XY	1	2	3
POSICIÓN XY	6	4	5
POSICIÓN XY	8	9	7

Ilustración 36. Selección de posiciones para la fabricación de los demostradores de las empresas colaboradoras. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

Los casos seleccionados han sido los siguientes:

- DEMO CLINICA GIRONES. la empresa Clínica Gironés ha diseñado una plantilla específica, con medidas similares a las piezas sencillas utilizadas para el desarrollo de los algoritmos de aprendizaje con una longitud de plantilla en torno a 70 mm. Dadas las pequeñas dimensiones de la plantilla, además se fabricó también una plantilla de mayores dimensiones realizando un escalado del fichero. De este modo a la hora de la validación se disponía de mayor información, comparando una pieza demo de dimensiones similares a las que se usaron para desarrollar los algoritmos y otra de mayores dimensiones.

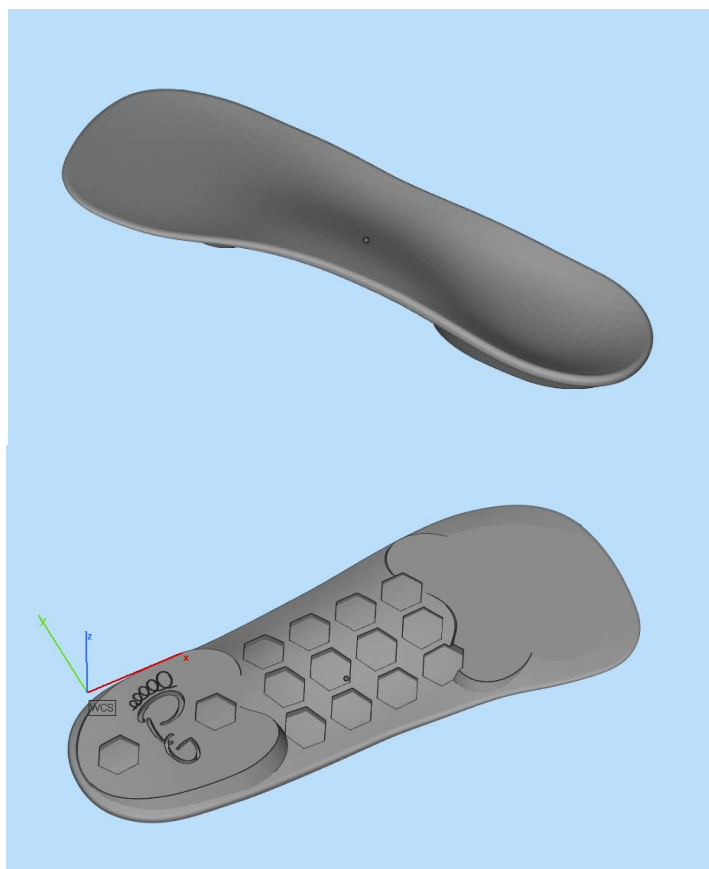


Ilustración 37. Diseño demo CLINICA GIRONÉS

Una vez la empresa le envió el diseño definitivo de las plantillas a AIDIMME, realizó el escalado de la misma y se codificaron todos los ficheros. Tras la codificación se preparó la fabricación colocando correctamente cada una de las piezas en la orientación y posición adecuada siguiendo las posiciones anteriormente descritas.

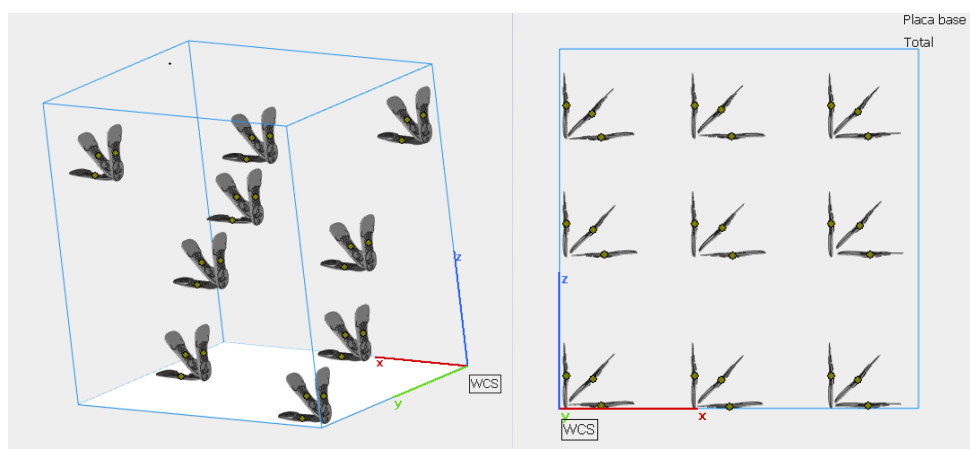
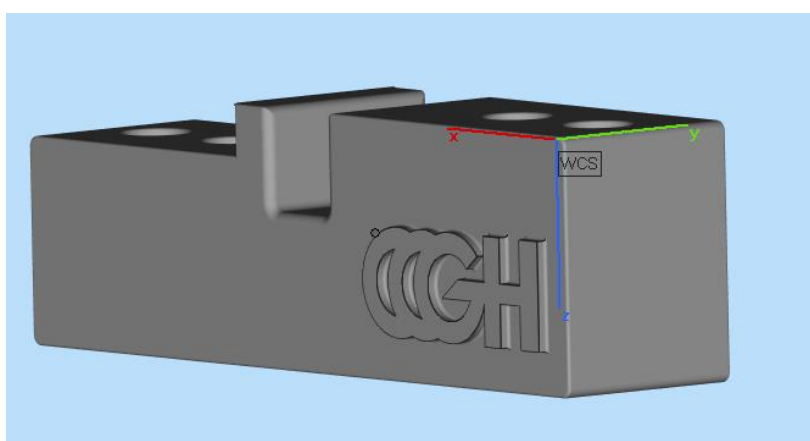


Ilustración 38. Demo Clínica Gironés plantilla. Preparación de la fabricación. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)



Ilustración 39. Demo Clínica Gironés. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

- DEMO GH ELECTROTERMIA S.A.U. En el proyecto, la empresa ha diseñado una pieza sencilla, una brida que tiene un mayor espesor respecto a las piezas utilizadas para el algoritmo de aprendizaje de la IA de este modo se validó el alcance del modelo de IA con otros espesores de pieza.



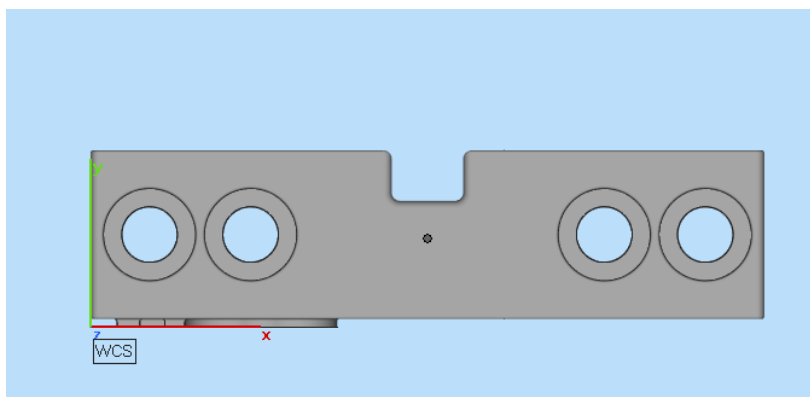


Ilustración 40. Diseño demo GH ELECTROTERMIA

Una vez la empresa le envió el diseño definitivo de la pieza a AIDIMME, se codificaron todos los ficheros. Tras la codificación se preparó la fabricación colocando correctamente cada una de las piezas en la orientación y posición adecuada siguiendo las posiciones anteriormente descritas.

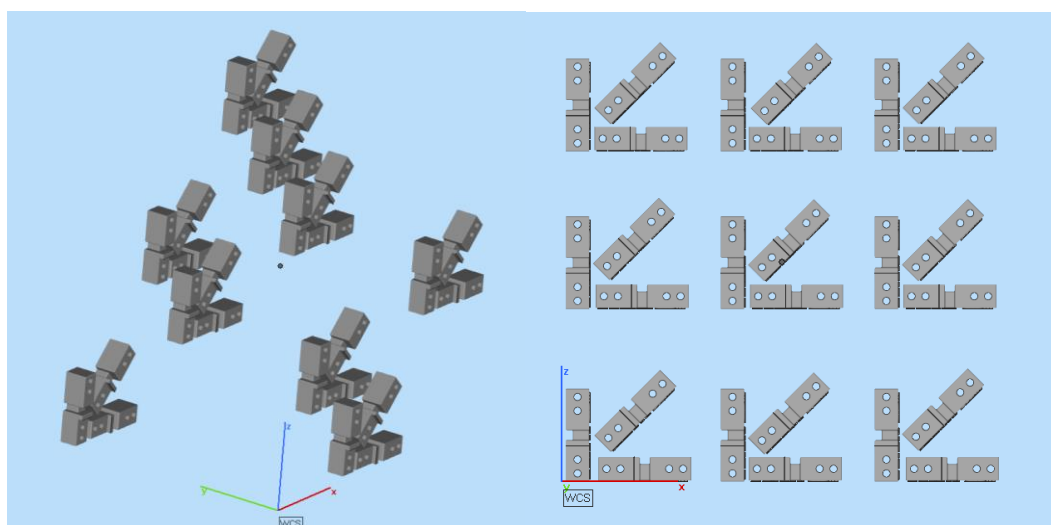


Ilustración 41. Demo GH ELECTROTERMIA. Preparación de la fabricación. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)



Ilustración 42. Demo GH Electrotermia. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

- DEMO VALVER SPEED AIR S.L. La empresa ha propuesto el diseño de un elemento que debe encajar en otra pieza puesto que son los apoyos de una pieza tipo aro. Por lo tanto, debía tener una correcta dimensión geométrica para asegurar el correcto encaje de las piezas.

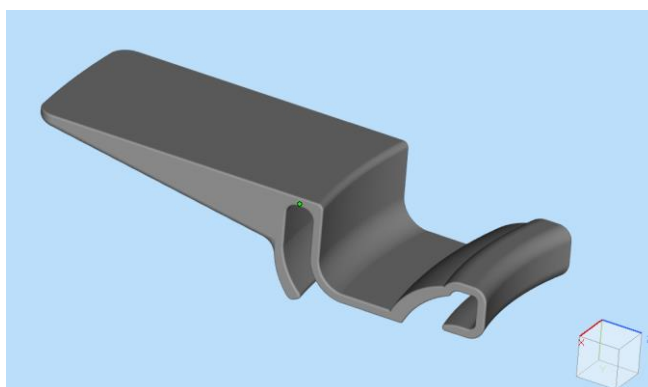


Ilustración 43. Diseño demo VALVER SPEED AIR

Una vez se dispuso del diseño definitivo, se codificaron todos los ficheros. Tras la codificación se preparó la fabricación colocando correctamente cada una de las piezas en la orientación y posición adecuada siguiendo las posiciones anteriormente descritas.

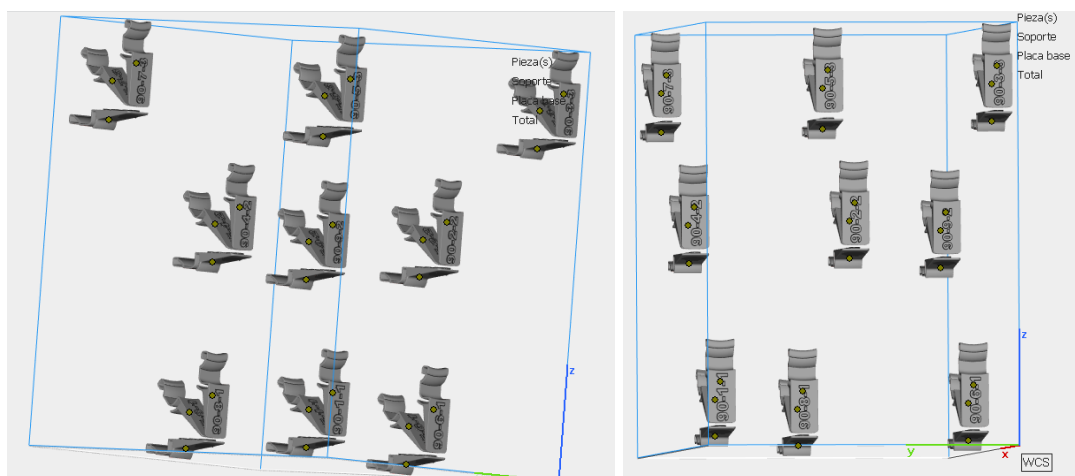


Ilustración 44. Demo VALVER SPEED AIR. Preparación de la fabricación. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

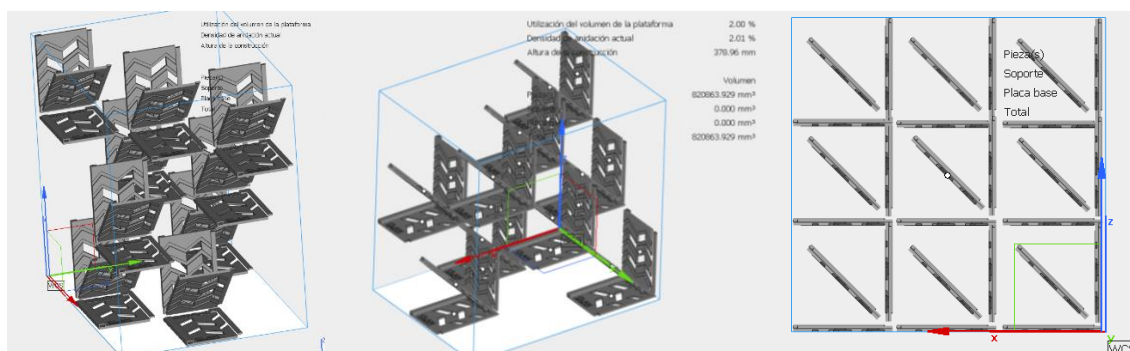


Ilustración 45. Demo Valver Speed Air. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

- DEMO CLAM DESARROLLO S.L. La empresa ha aportado el diseño de un panel decorativo modular, las piezas se pueden ensamblar unas con otras para obtener la pieza final deseada. Este demostrador implica unas dimensiones mayores de las utilizadas en las piezas para el aprendizaje del modelo de IA y además las piezas deben encajar entre sí, motivo por el cual es importante el control de las desviaciones dimensionales. AIDIMME y la empresa CLAM han trabajado juntas planteando varias alternativas de diseño: Las dimensiones básicas de cada módulo son aproximadamente 78 mm de ancho x 120 mm de alto. Las piezas están en un plano recto (no curvo) para la correcta medición.

Una vez se dispuso del diseño definitivo, se codificaron todos los ficheros. Tras la codificación se preparó la fabricación colocando correctamente cada una de las piezas en la orientación y posición adecuada siguiendo las posiciones anteriormente descritas.

Se fabricaron dos lotes de piezas para la comprobación del encaje entre las piezas.



A continuación, se muestran las imágenes de las piezas fabricadas:

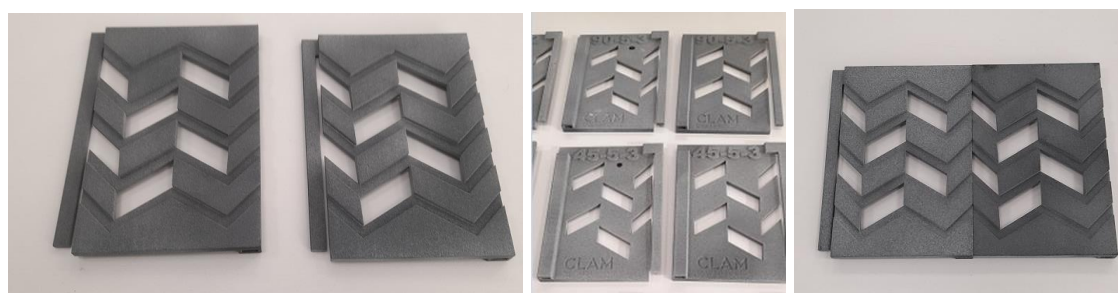


Ilustración 47. Demo Clam Desarrollo S.L..(Fuente: elaboración propia AIDIMME)

2.3.2 Diseño y desarrollo de la arquitectura del sistema de captación, almacenamiento y análisis de datos, instanciadas al caso real

En esta actividad se ha determinado la arquitectura genérica del sistema de Inteligencia Artificial (IA) mediante el uso de herramientas de Machine Learning. El objetivo del aprendizaje automático o herramientas de Machine Learning es enseñarle a una máquina a realizar una tarea específica y proporcionar resultados precisos mediante la identificación de patrones.

Para el desarrollo del proyecto AURORA se ha utilizado el sistema BigML. Es un sistema de

aprendizaje automático en la nube que sirve para crear modelos predictivos. Utilizando una sencilla interfaz web, BigML permite la creación de árboles de decisión, análisis de clústers y detectores de anomalías, dotados de una visualización interactiva que permite su fácil exploración y puede ayudar en la toma de decisiones basadas en grandes cantidades de datos (Big Data es la denominación actual para definir modelos de negocio y tecnologías especializadas en la captación, almacenamiento, tratamiento, análisis y presentación de enormes cantidades de datos obtenidos a partir de diversas fuentes).

Se ha partido de los datos y medidas realizadas en el paquete de trabajo 5 de las piezas fabricadas en el paquete de trabajo 4.



Ilustración 48. Piezas sencillas para el desarrollo de los algoritmos de aprendizaje. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

Dentro de BIGML se crea el Modelo, poniendo como variables:

- Orientación_sen (seno de la orientación)
- X (posición en “x” de la pieza dentro del volumen de fabricación de la máquina de fabricación aditiva)
- Y (posición en “y” dentro del volumen de fabricación de la máquina de fabricación aditiva)
- Z (posición en “z” de la pieza dentro de la impresora de fabricación aditiva)
- Largo (dimensión en largo de la pieza)
- Ancho (dimensión en ancho de la pieza)
- largo_error (error en largo que da la medición de la pieza sobre lo esperado)
- Ancho_error (error en ancho que da la medición de la pieza sobre lo esperado)

De estas variables se indican como variables objetivo ‘largo_error’, y ‘ancho_error’, que son las que nos interesa obtener con este modelo. Se ha desarrollado dos modelos, uno de ellos para la obtención de la desviación en la cota correspondiente al largo de la pieza y otro modelo para la obtención de la desviación dimensional del ancho de la pieza.

El modelo creado indica la correlación entre las diferentes variables obteniendo el coeficiente de Pearson. El coeficiente de correlación de Pearson es una prueba que mide la relación estadística entre dos variables continuas, indica cuánto están asociadas dos variables. El coeficiente de correlación puede tomar un rango de valores de +1 a -1. Un valor de 0 indica que no hay asociación entre las dos variables. Un valor mayor que 0 indica una asociación positiva.

Es decir, a medida que aumenta el valor de una variable, también lo hace el valor de la otra. Un valor menor que 0 indica una asociación negativa; es decir, a medida que aumenta el valor de una variable, el valor de la otra disminuye.

Estudiando ambos modelos podemos determinar, entre otras, las siguientes correlaciones.

- Se observa que a mayor largo de las piezas, más error se tiene de las mismas, existe una mayor dispersión de los datos:

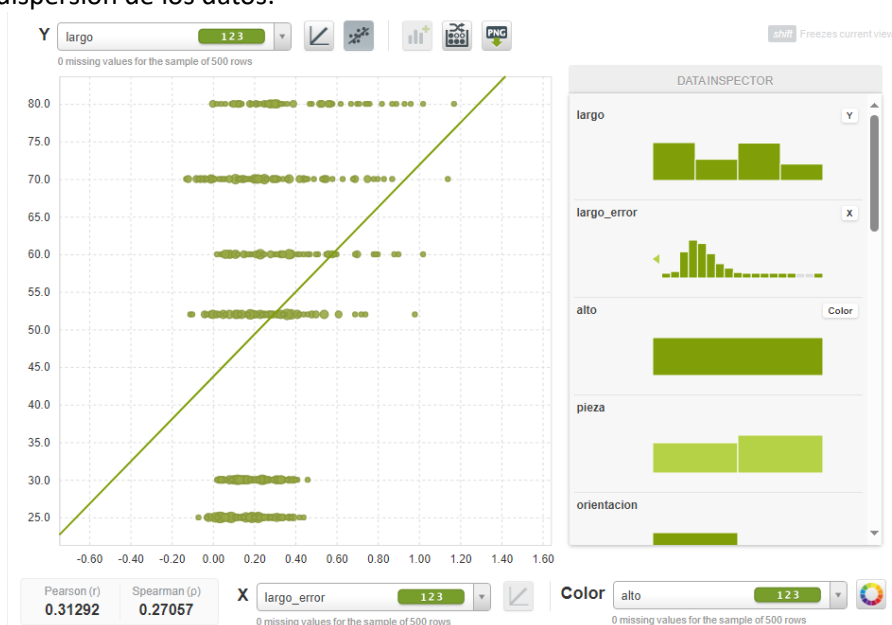


Ilustración 49. Dispersión de la desviación en el largo de la pieza en función del largo de la pieza

- La altura tiene cierta importancia. Presenta menos posibles errores cuando se coloca en la base del volumen de fabricación ($z=0$):

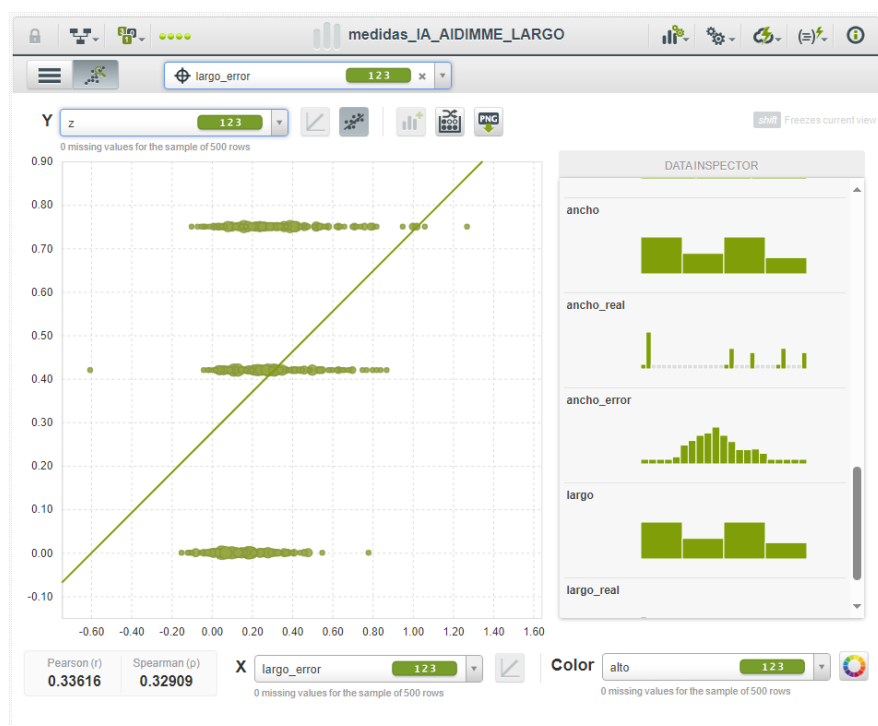


Ilustración 50. Dispersión de la desviación en el largo de la pieza en función de la posición Z o altura

Toda las correlaciones detectadas están incluidas en el Entregable 6.1.

Una vez realizado el entrenamiento, se observa que las variables más importantes y que más influyen en la desviación dimensional del largo de las piezas son las siguientes:

1. Largo de la pieza
2. Orientación
3. Ancho de la pieza
4. Posición Z
5. Posición Y
6. Posición X

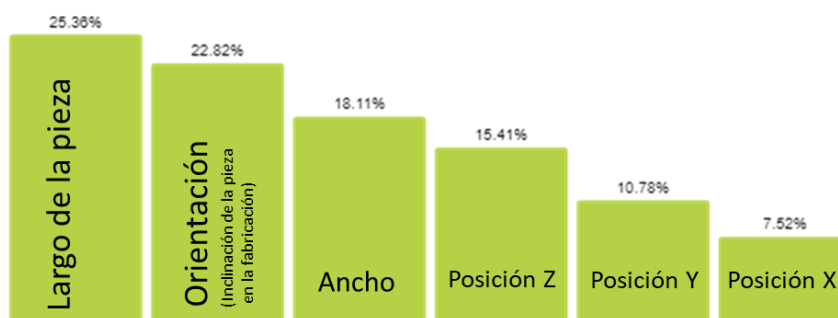


Ilustración 51. Influencia de las variables en el Modelo de IA para el largo de la pieza

En el caso del algoritmo para la desviación dimensional del ancho de la piezas se observa las

siguientes variables críticas:

1. Posición Y
2. Ancho de la pieza
3. Orientación de fabricación
4. Posición X
5. Largo de la pieza
6. Posición Z



Ilustración 52. Influencia de las variables en el Modelo de IA para el ancho de la pieza

Una vez realizado ambos modelos, se accede al sistema. En función de las necesidades y la dimensión crítica de una pieza se accederá al modelo de predicción de las desviaciones del largo de la pieza o al modelo de predicción de las desviaciones del ancho del modelo. Para ambos casos se introduce en el modelo las medidas largo y ancho de las piezas, la posición X, Y y Z donde se ha fabricado o se quiere fabricar la pieza (teniendo en cuenta el valor de la posición en porcentaje) y la orientación. Se presiona el botón “Predict” y el sistema calcula la predicción de la desviación.

Ilustración 53. Input al sistema para evaluación de la desviación en el ancho de la pieza (posición XY 5, altura 3 y orientación 0; largo pieza 60 mm y ancho pieza 10 mm)

Ilustración 54. Predicción de desviación de 0.2 mm en el ancho de la pieza en función de unos datos de partida (dimensiones básicas de la pieza, posición X,Y,Z y orientación de fabricación)

2.3.3 Análisis de las piezas desarrolladas mediante el sistema de inspección.

Se ha evaluado los resultados dimensionales de las piezas demo del proyecto sin el uso de los algoritmos de IA y con los algoritmos de los IA para disponer de toda la información y en la tarea 6.4 realizar la comparativa entre ambos resultados y la generación de las conclusiones sobre la IA aplicada a la colocación y orientación de las piezas en el volumen de fabricación de la máquina de FA

- **Evaluación de los resultados de la medición manual de los demostradores sin los algoritmos de IA**

Para cada una de las piezas demo aportadas por las empresas participantes, se ha calculado la desviación de las cotas de la pieza entre el valor de la cota teórica y la medición realizada, así como una evaluación visual del aspecto superficial de las piezas.

- DEMO CLINICA GIRONES

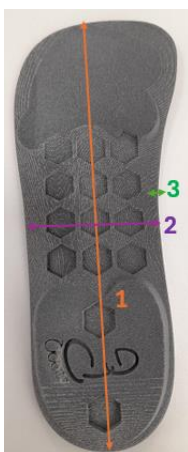


Ilustración 55. Referencia de las cotas medidas en la plantilla. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

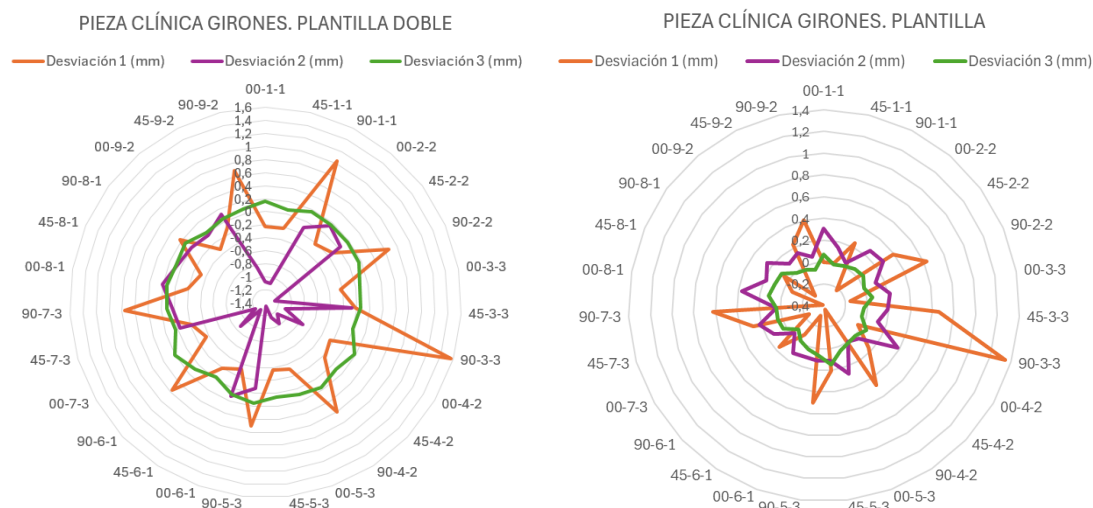


Ilustración 56. Desviaciones de las cotas en función de la posición y orientación de la pieza. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

De las mediciones realizadas se puede extraer la siguiente información:

- La mayor longitud de las piezas (cota 1) es la que más desviación sufre, llegando a una desviación de más de 1.5 mm en una determinada posición y orientación (90-3-3). Las desviaciones más altas corresponde a la orientación 90 grados.
- En general, las piezas son más estrechas que lo que teóricamente deben ser (cota 2).
- La calidad superficial de las piezas orientadas a 0 grados no es lo suficientemente buena por lo que **se descarta su colocación a 0 grados**.
- El espesor de las piezas es constante y presenta pequeñas desviaciones no significativas independientemente de su localización y orientación.
- DEMO GH ELECTROTERMIA S.A.U.

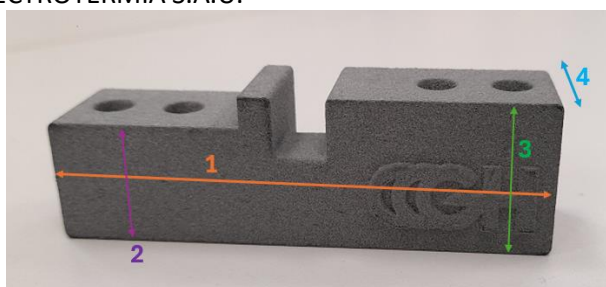


Ilustración 57. Identificación de las cotas. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

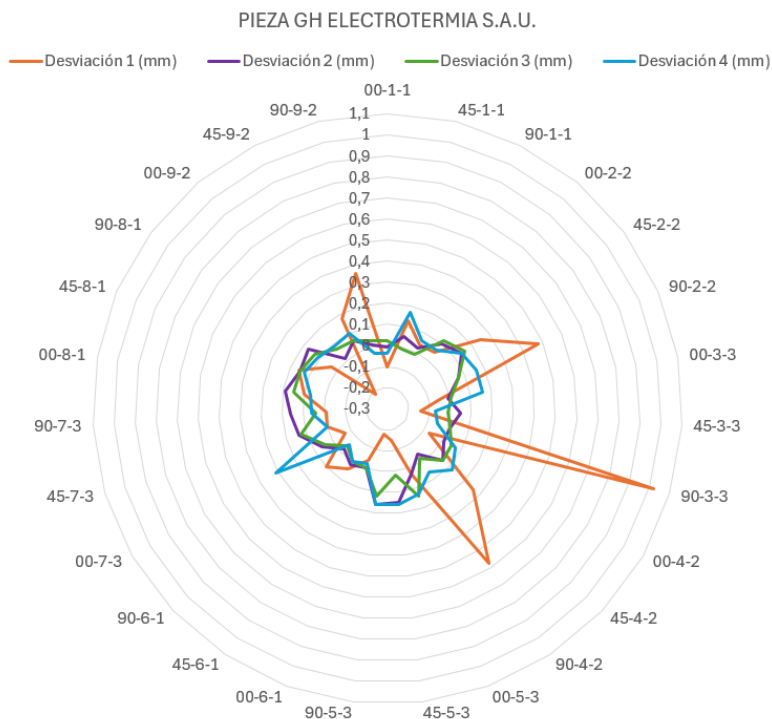


Ilustración 58. Desviaciones de las cotas en función de la posición y orientación de la pieza. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

De las mediciones realizadas se puede extraer la siguiente información:

- La altura de las piezas (cota 2 y 3) son las más estables independientemente de la posición y orientación, con valores entre desviaciones entre 0.1 y 0.2 mm habituales en esta tecnología de FA.
 - La mayor longitud de las piezas (cota 1) es la que más desviación sufre, llegando a una desviación de más de 1 mm en una determinada posición y orientación (90-3-3). Además, cabe destacar que en esta cota 1, las orientaciones que presentan mayor desviación son las de 90 grados con desviaciones de 0.6 mm. Por lo tanto, se puede concluir que no se coloquen las piezas a 90 grados.
 - El ancho de la pieza (cota 4) tiene menor desviación en la orientación 90 grados pero las desviaciones son más estables comprendidas entre 0.1 y 0.2 mm.
 - En general la pieza se desvía positivamente, recreciendo.
 - Con respecto a la calidad superficial, la posición 3 y 8 son las que presentan piezas con menor calidad superficial.
 - Analizando los datos se observa que la posición 6 es la mejor ya que ninguna cota de las tres piezas fabricadas tiene una desviación de más de 0.15 mm.
- DEMO VALVER SPEED AIR S.L.

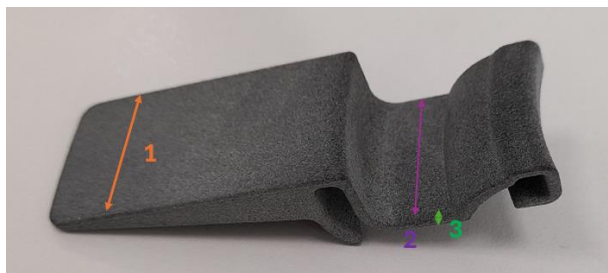


Ilustración 59. Identificación de las cotas consideradas para el estudio. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

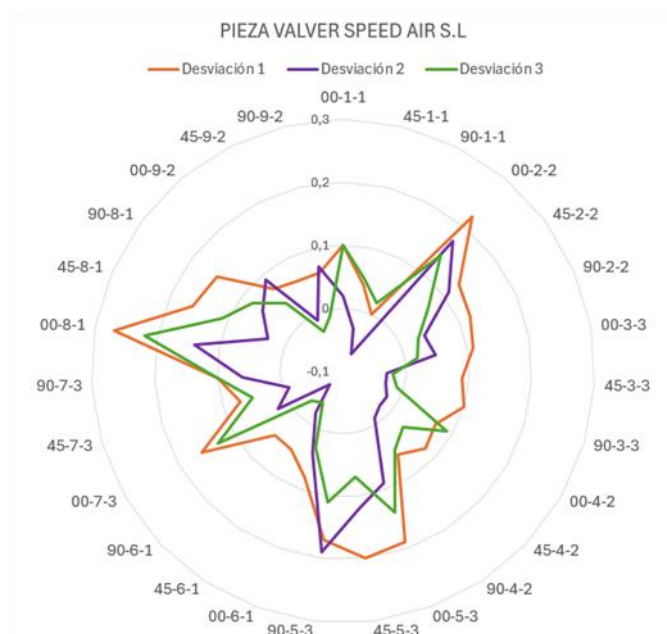


Ilustración 60. Desviaciones de las cotas en función de la posición y orientación de la pieza. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

De las mediciones realizadas se puede extraer la siguiente información:

- En general las desviaciones son menores de 0.2 mm, en la gran mayoría de posiciones y orientaciones con desviaciones menores de 0.1 mm.
 - La orientación de piezas que mayor desviación presenta son las piezas fabricadas a 0 grados. Por lo tanto, se descarta la colocación de las piezas a 0 grados.
 - Con respecto a las posiciones, en general todas las posiciones son correctas a excepción de 2 y la 8. La 5 presenta desviaciones aceptables.
 - Las posiciones de las esquinas del volumen de fabricación son las que menor desviación dimensional presentan.
- DEMO CLAM DESARROLLO S.L.

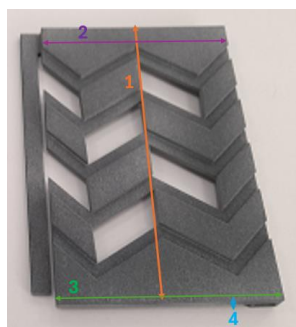


Ilustración 61. Identificación de las cotas. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

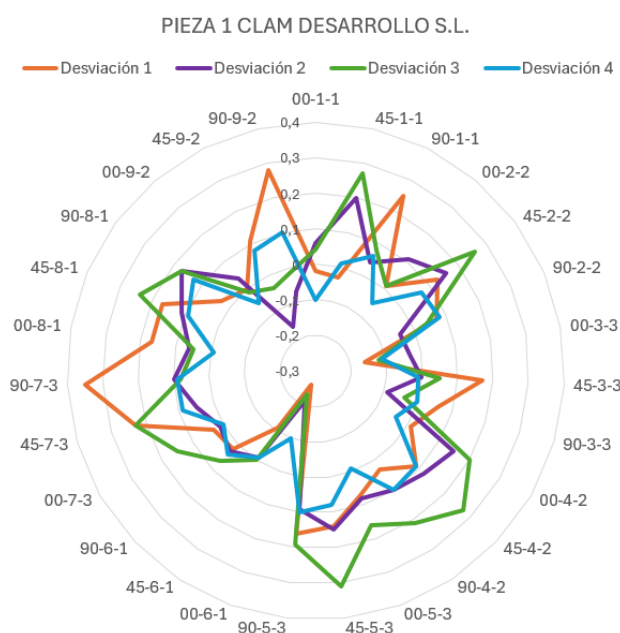


Ilustración 62. Desviaciones de las cotas en función de la posición y orientación de la pieza. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

De las mediciones realizadas se puede extraer la siguiente información:

- En general la cota de espesor es la más estable y todas desviaciones están por debajo de 0,15 mm.
- Las cotas 2 y 3 corresponden al ancho de la pieza, se observa que la cota 2 de arriba es más estable, estrechándose la pieza en la zona de abajo, parte de las desviaciones de la cota 3 son negativas.
- La orientación de piezas que menos desviación presenta son las piezas colocadas a 0 grados.
- Con respecto a las posiciones, las posiciones 1,5, 8 y 9 son las que presentan menores desviaciones.

- Evaluación de los resultados de las desviaciones de los demostradores mediante el uso de los modelos de IA desarrollados

Se ha aplicado los algoritmos descritos anteriormente a algunas de las cotas de los demostradores aportados por las empresas. A continuación, se muestra la aplicación del modelo IA para la obtención de las desviaciones en el ancho de las piezas en una posición y orientación concreta para el demo de Clínica Gironés:

The screenshot displays the WhizzML web interface for a machine learning model named 'medidas_IA_AIDIMME_ANCHO | Training (80%)'. The interface features a top navigation bar with tabs for Sources, Datasets, Supervised, Unsupervised, Predictions (selected), and Tasks. Below the navigation bar, there's a header area with a lock icon, a dropdown menu, and a status bar showing 'ancho_error: 0.15'. The main area contains six input sliders, each with a range, a current value, and a percentage indicator. The sliders are labeled: y (range 0 to 1.12, value 0.48, 44.55%), ancho (range 1 to 23, value 21, 19.03%), orientacion_sen (range 0 to 1.25, value 1.0, 11.89%), x (range 0 to 0.94, value 0.01, 11.82%), largo (range 11 to 93, value 70, 8.87%), and z (range 0 to 0.94, value 0.42, 3.83%). Each slider has a green progress bar and a checkmark icon. At the bottom, there's a 'New prediction name' field containing 'medidas_IA_AIDIMME_ANCHO | Training (80%)' and a 'Predict' button.

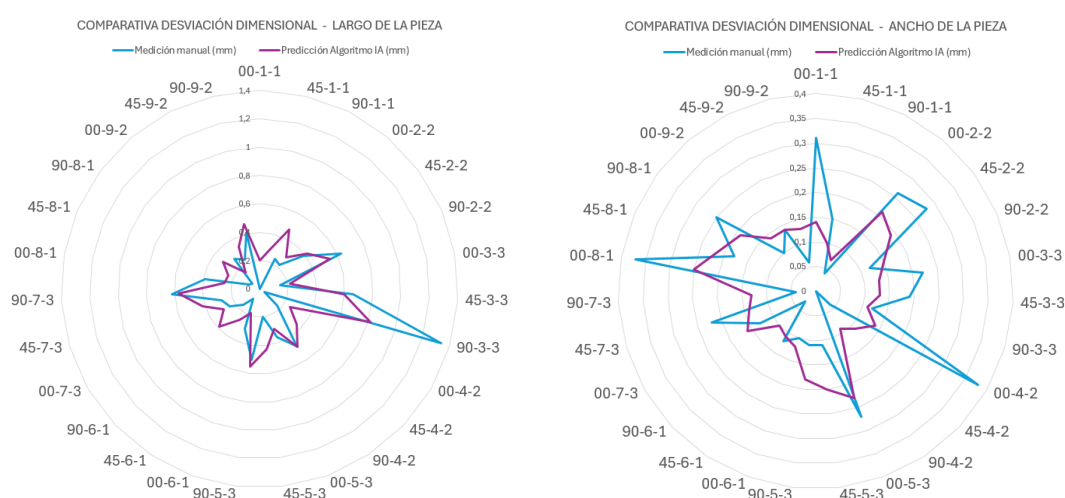
Ilustración 63. Desviación de la cota ancho de la pieza en la posición 2-2 y orientación 90 grados. Código 90-2-2

Aplicando los algoritmos desarrollados al resto de posiciones y orientaciones, se ha obtenido la desviación para cada una de las cotas analizadas de todos los demostradores.

2.3.4 Evaluación de resultados y validación del sistema desarrollado. Conclusiones

En esta tarea se ha realizado una comparativa entre las desviaciones dimensionales obtenidas manualmente y las desviaciones dimensionales obtenidas con los algoritmos o modelos de IA para cada uno de los demostradores incluidos en el proyecto.

- DEMO CLINICA GIRONES



*Ilustración 64. Comparativa desviación dimensional medición manual vs predicción IA demo CLINICA GIRONES.
(Fuente: elaboración propia AIDIMME)*

Se ha analizado la desviación dimensional de forma manual y mediante el modelo de IA desarrollado y se ha comparado el resultado obteniendo el siguiente gráfico, donde se observa que las desviaciones predichas por el algoritmo de IA son similares a las medidas reales, observando una misma tendencia sobre todo en la predicción del largo de la pieza. Esta comparativa ha sido realizada con la plantilla pequeña. En el caso de la plantilla más grande no se ha utilizado el modelo de IA porque las dimensiones son mucho mayores de las piezas utilizadas en el desarrollo del modelo de IA.

- DEMO GH ELECTROTERMIA S.A.U.

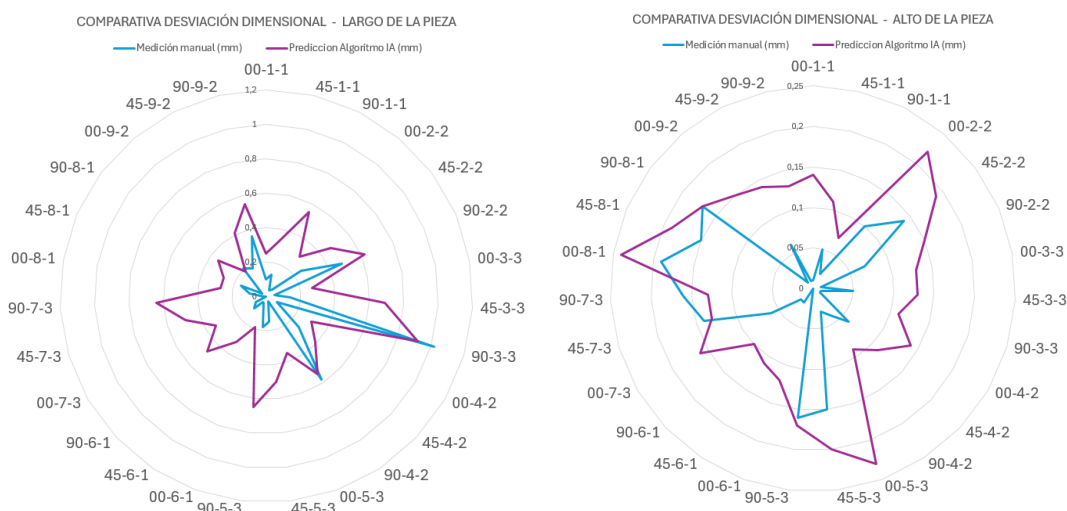


Ilustración 65. Comparativa desviación dimensional medición manual vs predicción IA demo GH ELECTROTERMIA S.A.U. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

Se ha analizado la desviación dimensional de forma manual y mediante el modelo de IA desarrollado y se ha comparado el resultado de cada uno obteniendo los siguientes gráficos, donde se observa que las desviaciones predichas por el algoritmo de IA son mayores de las medidas reales aunque se observa una misma tendencia.

- DEMO VALVER SPEED AIR S.L.

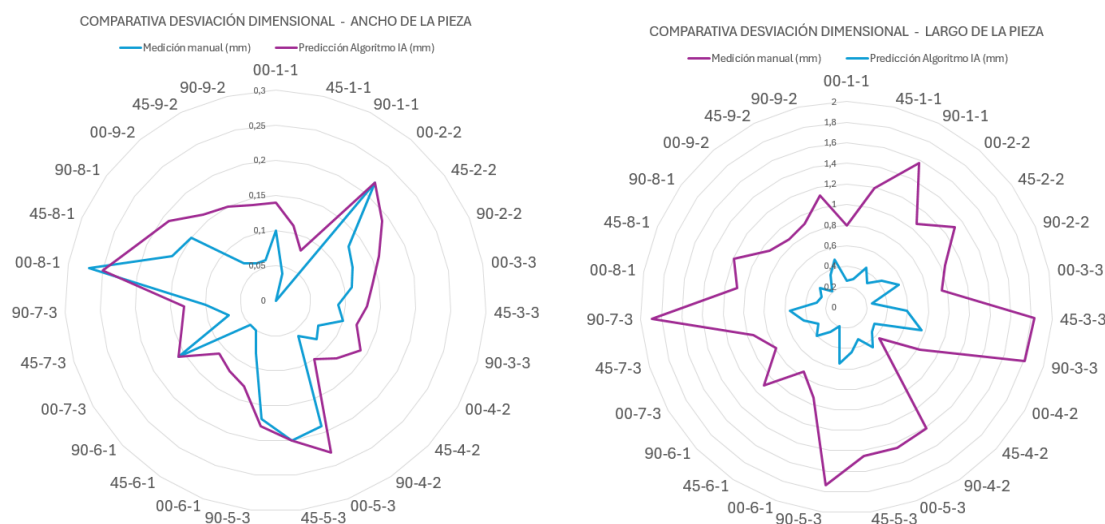


Ilustración 66. Comparativa desviación dimensional medición manual vs predicción IA demo VALVER SPEED AIR S.L. (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

Se ha analizado la desviación dimensional de forma manual y mediante el modelo de IA desarrollado y se ha comparado el resultado obteniendo el siguiente gráfico, donde se observa

que las desviaciones predichas por el algoritmo de IA son menores de las medidas reales, observando una misma tendencia entre las medidas manuales y las estimadas por el modelo de IA.

- DEMO CLAM DESARROLLO S.L.

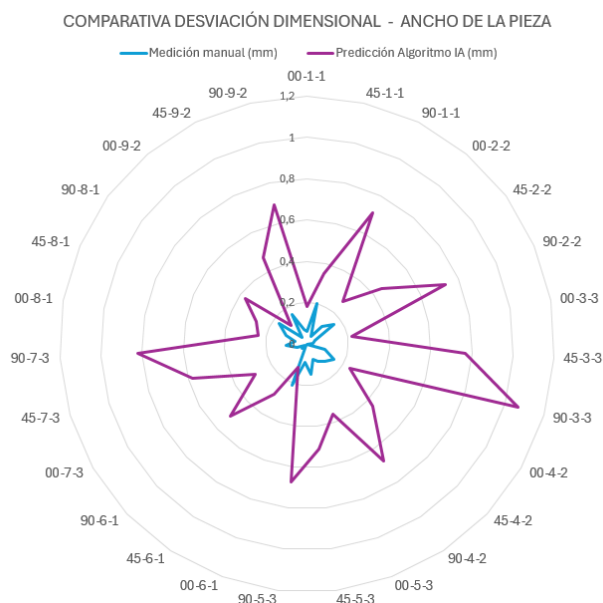


Ilustración 67. Comparativa desviación dimensional medición manual vs predicción IA demo CLAM DESARROLLO S.L. (cota 2 correspondiente al ancho de la pieza) . (Fuente: elaboración propia AIDIMME)

Se ha analizado la desviación dimensional de forma manual y mediante el modelo de IA desarrollado y se ha comparado el resultado de cada uno obteniendo el siguiente gráfico, donde se observa que las desviaciones predichas por el algoritmo de IA son mucho mayores de las medidas reales aunque se observa una misma tendencia. Cabe destacar que las medidas de la pieza difieren mucho de las medidas de las piezas utilizadas para el desarrollo del algoritmo de aprendizaje y ese el motivo de las diferencias tan acusadas entre las desviaciones.

3 Resultados obtenidos

- *Evaluación de las desviaciones dimensionales de las piezas poliméricas fabricadas por FA.* Se considera que los parámetros que más influyen en las desviaciones dimensionales de las piezas es la orientación y localización de las piezas en el volumen de fabricación de la máquina.
- *Desarrollo de un sistema automatizado de identificación, inspección y análisis de las desviaciones de las piezas.* El sistema desarrollado es capaz de suministrar un conjunto de piezas codificadas (el código representa la orientación y localización de fabricación de cada una de las piezas) y presentarlas de forma ordenada a la cámara de visión artificial capaz de identificar el código de la pieza y hacer ciertas mediciones.
- *Desarrollo de un modelo de Inteligencia Artificial.* A partir de los datos captados de un numeroso conjunto de piezas fabricadas, se ha desarrollado un modelo de IA (basado en machine learning) capaz de correlacionar las desviaciones dimensionales con los parámetros o variables de la fabricación como son la posición y la orientación.
- *Demostración con casos reales.* Las empresas colaboradoras en el proyecto (CLINICA GIRONES, GH ELECTROTERMIA S.A.U, VALVER SPEED AIR S.L. y CLAM DESARROLLO S.L.) han aportado casos reales sobre los que se ha realizado la validación del modelo de IA desarrollado, comparando los resultados del modelo de IA con la medida manual de las piezas, obteniendo una misma tendencia. Tras el desarrollo del proyecto se concluye que para que la predicción del modelo de IA sea lo más parecida a la realidad, el algoritmo de aprendizaje debe basarse en un conjunto de datos reales obtenido tras la medición de un gran número de piezas diferentes con una diversidad de longitudes, anchos y espesores, siempre controlando su localización en el volumen de fabricación. Cuanta más diversidad de piezas alimente dicho algoritmo más fiable será el resultado del modelo de IA.

4 Resumen y conclusiones

A continuación, se muestra un esquema con el resumen de las actividades desarrolladas en el proyecto:



Ilustración 68. Resumen de las actividades técnicas del proyecto

0. Análisis bibliográfico de las causas de las desviaciones dimensionales para tecnologías de lecho de polvo polimérico.
1. 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.
2. Una vez establecida la codificación, se ha definido conjuntos de tres piezas en diferentes posiciones y diferentes orientaciones todas ellas codificadas. El diseño de las piezas se ha establecido teniendo en cuenta las posibilidades de medición del sistema basado en visión artificial.
3. 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
4. Los métodos como redes neuronales, los sistemas de máquinas de soporte vectorial, los árboles de decisiones son métodos de Inteligencia Artificial (IA) que enseñan a los computadores a procesar una gran cantidad de datos, estableciendo el Modelo IA. Todos

estos métodos requieren de algoritmos de aprendizaje. Para este aprendizaje se han utilizado las muestras sencillas fabricadas. El fin de utilizar estos métodos de Inteligencia Artificial es que el sistema correlacione las desviaciones dimensionales detectadas con los datos de partida.

5. Con todo lo que ha aprendido el sistema, se ha validado las desviaciones dimensionales de las piezas demo propuestas por las empresas colaboradoras del proyecto y se ha hecho una comparativa entre las desviaciones dimensionales medidas y las predichas por los algoritmos de IA.

Tras el desarrollo del proyecto se ha cumplido las expectativas esperadas mediante la identificación de los requisitos, el diseño y fabricación de unas piezas sencillas correctamente codificadas a partir de las que se obtienen los datos para generar los algoritmos de aprendizaje del sistema de IA. Se ha comprobado la correcta identificación de los códigos propuestos mediante un conjunto de pruebas con diferentes opciones de fabricación. Una vez establecidos los códigos y el diseño sencillo de la pieza. Se ha fabricado un conjunto notable de piezas codificadas en concreto 1215 piezas que han sido medidas y sus datos utilizados para el desarrollo del proyecto.

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. Para ello el desarrollo 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.

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

Las empresas colaboradoras han identificado, seleccionado e identificado demostradores con los que se ha comprobado la validez de los modelos de IA. Se ha evaluado los resultados de las

desviaciones dimensionales de los demostradores tratados manualmente sin los algoritmos de IA y con los algoritmos de IA y se ha realizado una comparativa entre ellos, dando como resultado que las desviaciones predichas por el algoritmo de IA difieren de las desviaciones reales medidas, observando una misma tendencia, aunque los valores no coincidan.

Es importante destacar que, si las medidas de la pieza difieren mucho de las medidas de las piezas utilizadas para el desarrollo del algoritmo de aprendizaje, se produce mayor diferencia en las desviaciones entre las predicciones de la IA y la realidad medida.

Se concluye que para que la predicción del modelo de IA sea lo más parecida a la realidad, el algoritmo de aprendizaje debe basarse en un conjunto de datos reales obtenido tras la medición de un gran número de piezas diferentes con una diversidad de longitudes, anchos y espesores, siempre controlando su localización en el volumen de fabricación. Cuanta más diversidad de piezas alimente dicho algoritmo más fiable será el resultado del modelo de IA.

5 Anexos y bibliografía

- Sagbas, Binnur. (2020). Effect of Orientation Angle on Surface Quality and Dimensional Accuracy of Functional Parts Manufactured by Multi Jet Fusion Technology. European Mechanical Science. 4. 10.26701/ems.678901.
- Sagbas, Binnur. (2021). Impact of print bed build location on the dimensional accuracy and surface quality of parts printed by multi jet fusion. Journal of Manufacturing Processes, Volume 70, Pages 290-299, ISSN 1526-6125, <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.08.036>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1526612521006137>).
- Adach, Martyna & Sokołowski, Paweł & Piwowarczyk, Tomasz & Nowak, Krzysztof. (2021). Study on Geometry, Dimensional Accuracy and Structure of Parts Produced by Multi Jet Fusion. Materials (Basel, Switzerland). 14. 10.3390/ma14164510

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