Uso de inteligencia artificial para facilitar modelaje aerodinámico

Ivaniel Rivas Novoa, Prof. José R. Pertierra García, MBA
Departamento de Ingeniería Mecánica
Universidad Politécnica de Puerto Rico – Programa de Investigación Subgraduada para Estudiantes de Honor y Destacados (URP-HOS) 2025–2026

HSI STEM TITLE III
POLYTECHNIC UNIVERSITY OF PUERTO RICO
A MULTIFACETED APPROACH TO STUDENT CENTERED STEM EDUCATION
P031C210139
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
POLYTECHNIC UNIVERSITY OF PUERTO RICO

Resumen

NOVOAERO.AI es una aplicación de MATLAB que extrae los parámetros geométricos de una aeronave directamente de los dibujos de vista superior, lateral y frontal. Una vez calibrada la escala con una sola dimensión conocida, las líneas de medición interactivas colocadas manualmente o mediante segmentación asistida por IA devuelven la envergadura, el área alar, la cuerda media aerodinámica, la flecha, las dimensiones del fuselaje, los brazos de momento de la cola y el diedro. Los resultados se exportan como informes en Excel, CSV y PDF, ofreciendo una alternativa rápida y repetible a la medición manual a escala para análisis aerodinámicos y de estabilidad. El programa resulto ser 26 veces mas rápido que los métodos tradicionales y mantuvo todas las medidas bajo un margen de error del 3%.

Introducción

La extracción manual de geometría de planos de tres vistas es un proceso repetitivo, tedioso y propenso a errores en el diseño conceptual de aeronaves. Esta investigación evalúa NOVOAERO.AI, un sistema híbrido de visión por computadora que combina aprendizaje automático, aprendizaje profundo y procesamiento de imágenes para automatizar la extracción de datos geométricos, manteniendo al humano en el ciclo. El sistema integra “Grounding DINO” y “SAM 2” para detectar y segmentar los principales componentes de la aeronave, junto con modelos que aprenden de las correcciones realizadas por el usuario. Su efectividad fue evaluada mediante un plano sintético de tres vistas, utilizando controles de calidad y variables como la envergadura, el área de referencia, el ahusamiento y la cuerda aerodinámica media. El propósito es determinar si NOVOAERO.AI puede ofrecer una alternativa más rápida, consistente y precisa que los métodos tradicionales de medición manual.

Objetivos

- Automatizar la extracción de geometría aeronáutica a partir de planos de tres vistas.
- Evaluar la precisión de NOVOAERO.AI al calcular envergadura, área, ahusamiento y cuerda aerodinámica media.
- Validar la detección automática de vistas, la segmentación y la reconciliación de escalas.
- Reducir el tiempo, la repetición y los errores asociados con la medición manual.
- Mantener al usuario en el ciclo mediante correcciones, controles de calidad y estimación de incertidumbre.

Flujo de trabajo

01 Entrada - PDF/PNG/JPEG
- loadFile ; imread ; renderPdfPageToImage

02 Detección de Vistas
- detectViews ; componentViewCandidates ; computeViewScores

03 Escalar Vistas
- matchViewScales ; matchFrontView ; cb_SetScale

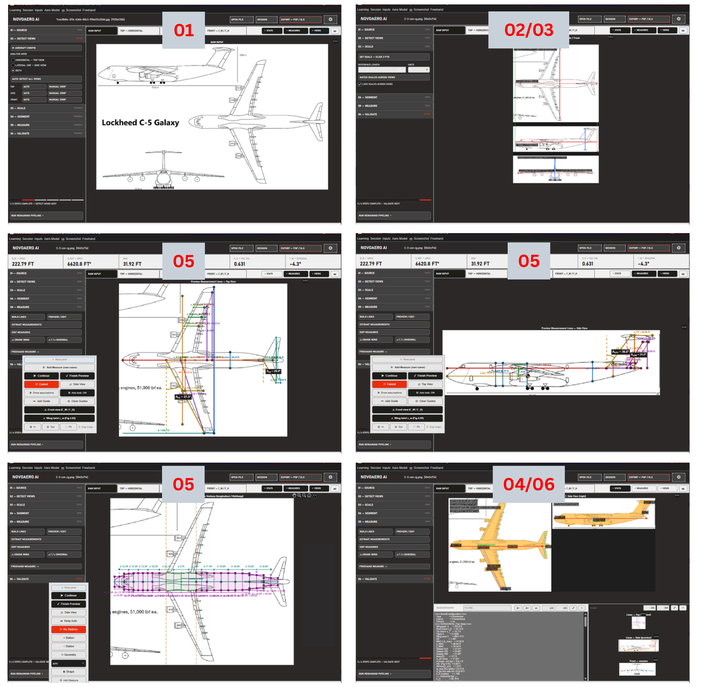
04 Segmentación
- preprocessImage ; orientToCanonical ; fallbackClassicalMask

05 Toma de medidas
- crossCheckViewScales ; refineLinesSubpixel ; extractMeasurementsPx

06 Validación
- crossCheckViewScales ; runSanityChecks. ; estimateUncertainty

Exportar Datos
- writeMeasurementsFile ; exportDatasheet

Metodología



Resultados

Measurement	Exp	Theo	Units	%Error
Wingspan b	222.75	222.75	ft	0.00%
Root chord c_R	43.74	43.3	ft	1.02%
Tip chord c_T	14.9	14.6	ft	2.05%
Taper λ	0.3405	0.34		0.15%
Wing area S	6532	6448.6	ft^2	1.29%
AR	7.599	7.7		1.31%
MAC c̄ (c_mac)	31.68	31.3	ft	1.21%
y_MAC	46.56	46.5	ft	0.13%
x_MAC	24.25	24.7	ft	1.82%
Sweep ALE	27.51	28	°	1.75%
Sweep Λ25	24.51	25	°	1.96%
Sweep Λ50	21.37	21.9	°	2.42%
w_max (fus width)	24.13	23.8	ft	1.39%
S_Bs (fus side A)	5132	5065	ft^2	1.32%
b_H	68.76	69.5	ft	1.06%
c_RH (root)	21.19	21	ft	0.90%
c_TH (tip)	7.533	7.5	ft	0.44%
S_H	996.2	990.4	ft^2	0.59%
AR_H	4.747	4.88		2.73%
MAC_H (c̄_H)	15.52	15.3	ft	1.44%
Y_macH	14.54	14.6	ft	0.41%
x_macH	7.925	8.1	ft	2.16%
ALE_H (tail)	28.59	29	°	1.41%
25_H	24.11	24.6	°	1.99%
50_H	19.3	19.8	°	2.53%
wt→ht (LE dots)	147.8	147.5	ft	0.20%
X_WHR	147.8	147.5	ft	0.20%
X_WH	142.2	141.9	ft	0.21%
r = 2*X_WH/b	1.276	1.27		0.47%
x_H (tail arm)	115.9	116.1	ft	0.17%

N stations	13				Exp	Theo
i	x_i[ft]	x_i/c_f	Δx_i[ft]	w_i[ft]	Δx_i[ft]	Δx_i[ft]
1	65.6	1.525	13.3	14.4	13.3	8.9
2	52.3	1.216	13.3	22.6	13.3	12.7
3	39	0.907	13.3	24.3	13.3	11.5
4	25.7	0.598	13.3	24.3	13.3	19.2
5	9.54	0.222	19.1	24.3	19.1	19.8
6	31.5	0.734	21	24.3	21	20.1
7	10.5	0.245	21	24.3	21	21
8	7.49	0.174	15	24.3	15	20.7
9	24.9	0.579	19.8	24.3	19.8	23.3
10	44.7	1.041	19.8	24.3	19.8	21.2
11	64.6	1.502	19.8	23.5	19.8	16.1
12	84.4	1.964	19.8	18.5	19.8	20.1
13	104	2.426	19.8	10.3	19.8	16.9
					228.3	231.5
					Error =	1.38%

Tabla 1: Datos de análisis longitudinal

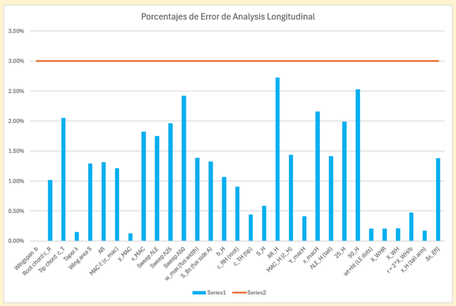


Figura 1: Grafica de Porcentajes de Error de Analysis Longitudinal

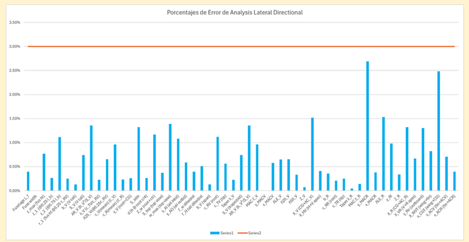
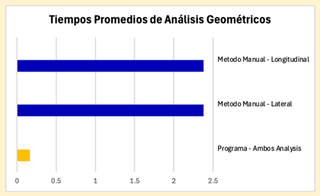


Figura 2: Grafica de Porcentajes de Error de Analysis Lateral Directional

Medidas	Exp	Teo	Unidades	% Error	Medidas	Exp	Teo	Unidades	% Error
Fuselage L_f	228.5	227.6	ft	0.40%	AR_V (b_V²/S_V)	1.348	1.33		1.35%
Fuse width	65.88	65.88	ft	0.00%	MAC c̄_V	28.92	29.2	ft	0.96%
z_max (fus ht)	27.09	27.3	ft	0.77%	y_MACV	18.5	18.5	ft	0.00%
z_1 (@0.25 l_b)	26.77	26.7	ft	0.26%	x_MACV	13.82	13.9	ft	0.58%
z_2 (@0.75 l_b)	22.65	22.4	ft	1.12%	ALE_V	36.76	37	°	0.65%
r_1 (fus ht @0.25 c_RV)	16.06	16.1	ft	0.25%	Λ25_V	34.87	35.1	°	0.66%
b_V (V-tail)	38.75	38.7	ft	0.13%	Λ50_V	32.89	33	°	0.33%
S_V (V-tail)	1114	1122.3	ft^2	0.74%	Z_V	26.98	27	ft	0.07%
AR_V (b_V²/S_V)	1.348	1.33		1.35%	X_V (CG→AC_V)	113.6	111.9	ft	1.52%
λ_V (c_TV/c_RV)	0.7617	0.76		0.22%	X_HV (H→V apex)	29.18	29.3	ft	0.41%
Λ25_V(@0.25c_RV)	34.87	35.1	°	0.66%	b_R	25.21	25.3	ft	0.36%
c_V(mean) (c̄_V)	28.92	29.2	ft	0.96%	c_RR (root)	7.215	7.2	ft	0.21%
c_R(mean) (c̄_R)	7.2165	7.2	ft	0.23%	c_TR (tip)	7.218	7.2	ft	0.25%
y_V (root←CG)	8.478	8.5	ft	0.26%	Taper λ_R	1.00042	1		0.04%
S_side	5132	5065	ft^2	1.32%	MAC c̄_R	7.21	7.2	ft	0.14%
d (h @ root c/4)	26.77	26.7	ft	0.26%	y_MACR	12.31	12.65	ft	2.69%
Z_w (root↓ctr)	-8.796	-8.9	ft	1.17%	x_MACR	7.93	7.9	ft	0.38%
S_top (top view)	4907	4889	ft^2	0.37%	ALE_R	31.51	32	°	1.53%
w_max (top view)	24.13	23.8	ft	1.39%	y_RI	5.446	5.5	ft	0.98%
y_AI (ail inbd)	81.37	80.5	ft	1.08%	Z_R	26.74	26.65	ft	0.34%
y_AO (ail outbd)	103.1	102.5	ft	0.59%	X_R (CG→AC_R)	130.5	128.8	ft	1.32%
Γ_w dihedral	-4.317	-4.3	° (front view)	0.40%	X_VR (V→R apex)	28.21	28.4	ft	0.67%
Γ_H tail dihedral	-4.322	-4.3	° (front view)	0.51%	y_Ro (outboard)	31.09	31.5	ft	1.30%
b_V (span)	38.75	38.7	ft	0.13%	X_WVT (wing→fin)	120.7	121.7	ft	0.82%
c_RV (root)	32.63	33	ft	1.12%	x_CGT (wing→CG)	31.77	31	ft	2.48%
c_TV (tip)	24.86	25	ft	0.56%	x_ACV (fin→ACV)	21.05	21.2	ft	0.71%
Taper λ_V	0.7617	0.76		0.22%	x_ACR (fin→ACR)	37.95	38.1	ft	0.39%
S_V (trapezoid)	1114	1122.3	ft^2	0.74%					

Tabla 3: Datos de análisis Lateral



26x más rápido

Figura 3: Grafica de Tiempo estimado en que te tomó completar todas las medidas geométricas manualmente

Conclusión

Los objetivos de la investigación se cumplieron con exito, validando la precisión del sistema al mantener los errores de medición por debajo del límite establecido del 3%. El programa optimiza significativamente el flujo de trabajo, reduciendo procesos que tomaban horas de análisis manual a un periodo de 10 a 15 minutos. Esto se logra gracias a que la herramienta identifica correctamente las vistas, las ajusta a escala, y segmenta y extrae de forma autónoma las dimensiones necesarias para calcular la geometría de la aeronave. Estos resultados demuestran el potencial de la inteligencia artificial como una herramienta eficiente y confiable para automatizar la extracción de geometría en el diseño y análisis de aeronaves.

Trabajo a Futuro

- Ampliar el alcance del análisis para incluir aeronaves militares y configuraciones no tradicionales
- Computar el modelo aerodinámico internamente en el programa, aprovechando los datos geométricos esenciales con los que ya cuenta.
- Desarrollar la capacidad de analizar alas tipo crank (con variación de flecha).
- Crear una herramienta para localizar la raíz del ala con mayor exactitud, reemplazando las estimaciones actuales.
- Generar automáticamente un modelo CAD a partir de la geometría calculada, lo que abriría la posibilidad de realizar análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD).

Referencias

Napolitano, M. R. (2012b). In Aircraft Dynamics From Modeling to simulation (pp. x–xii). essay, J. Wiley.

Pertierra, J. R. (2025, August). C5 longitudinal and C5 lateral directional.

MathWorks. (2025). Deep Learning Toolbox. https://www.mathworks.com/products/deep-learning.html

MathWorks. (n.d.). Computer Vision Toolbox. https://www.mathworks.com/products/computer-vision.html

MathWorks. (n.d.). Image Processing Toolbox. https://www.mathworks.com/products/image-processing.html

Agradecimiento

Este proyecto no habría sido posible sin la guía del mentor José R. Pertierra, quien estuvo presente durante todo el proceso, brindando consejos y recomendaciones. También quiero agradecer al estudiante Álvaro Ramírez por su ayuda en el desarrollo del proyecto. Asimismo, le agradezco al profesor Daniel Lozada por sus valiosas recomendaciones y su gran amabilidad y disposición. Finalmente, agradecemos al profesorado de URP-HOS, cuyo apoyo hizo posible esta oportunidad. Personas como estas contribuyen al desarrollo de nuestra comunidad.