

## Resultados experimentales del cohete aeroespacial JICAAT, Ayacucho-Perú

*Impact of Artificial Intelligence on Digital Marketing: Systematic Review of the Literature*

  José Luis Huayanay Villar<sup>1</sup>

  Fernando Xavier Beizaga Reyes<sup>1</sup>

  Cristhian Sotelo Gutiérrez<sup>1</sup>

  Kevin Efraín Ayala Condori<sup>1</sup>

  Sheyla Yassira Meneses Hiyo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Linx.Space – Villa Automation SAC–Ruc: 20610009400, Ayacucho, Perú.

### \*Correspondencia:

José Luis, Huayanay-Villar

**Fecha de recepción** : 26/08/2025

**Fecha de Revisión** : 20/10/2025

**Fecha de aceptación** : 22/10/2025

**Fecha de publicación** : 24/10/2025

**Como citar:** Huayanay-Villar, J.L., Beizaga-Reyes, F.X., Sotelo-Gutiérrez, C., Ayala-Condori, K.E. y Meneses-Hiyo S.Y. (2025). Resultados experimentales del cohete aeroespacial JICAAT, Ayacucho-Perú. Revista de Investigación Científica de la UNF-Aypate, 4(2), 85–103.  
<https://doi.org/10.57063/ricay.v4i2.164>.

### RESUMEN

Villa Automation S.A.C está desarrollando un proyecto avanzado de ingeniería relacionado con cohetes, específicamente el cohete JICAAT (Jornada Internacional sobre Ciencias Avanzadas de Astrodinámica y Teledetección). Villa Automation está trabajando en un proyecto ambicioso que combina ingeniería aeroespacial, automatización y análisis de datos para desarrollar un cohete funcional. A pesar de los desafíos técnicos actuales, como fallos en el motor, este proyecto representa un paso importante hacia el avance de la tecnología espacial en la región. Este proyecto abarca el desarrollo de sistemas de propulsión eficientes, aunque se enfrentan a desafíos como fallos en el motor de propulsión (por ejemplo, explosiones). Optimización de los sistemas de vuelo para garantizar estabilidad y control durante el lanzamiento. Sistemas de Control y Sensores: Uso de datos de orientación (Pitch, Roll, Yaw) para monitorear y ajustar la actitud del cohete en tiempo real. Implementación de sensores para registrar posiciones (PosX, PosZ) y trayectorias, ayudando a analizar el comportamiento del cohete en el vuelo. El equipo de villa automation viene trabajando arduamente en el desarrollo del motor para el cohete JICAAT, que es un motor de combustible sólido. Emisiones constantes y sostenida con ligeras oscilaciones que podrían relacionarse con el control de empuje o turbulencia.

**Palabras clave:** Automatización; Cohete JICAAT; Ingeniería Aeroespacial; Propulsión; lanzadores.

### ABSTRACT

Villa Automation S.A.C is developing an advanced engineering project related to rockets, specifically the JICAAT rocket (International Conference on Advanced Sciences of Astrodynamics and Remote Sensing). Villa Automation is working on an ambitious project that combines aerospace engineering, automation, and data analysis to develop a functional rocket. Despite current technical challenges, such as engine failures, this project represents an important step towards the advancement of space technology in the region. This project encompasses the development of efficient propulsion systems, although they face challenges such as propulsion engine failures (e.g., explosions). Optimization of flight systems to ensure stability and control during

launch. Control Systems and Sensors: Use of orientation data (Pitch, Roll, Yaw) to monitor and adjust the rocket's attitude in real time. Implementation of sensors to record positions (PosX, PosZ) and trajectories, helping to analyze the rocket's behavior in flight. The Villa Automation team has been working hard on developing the engine for the JICAAT I and II rocket, which is a solid-fuel engine. It produces constant and sustained emissions with slight oscillations that could be related to thrust or turbulence control.

**Keywords:** Automation; JICAAT Rocket; Aerospace Engineering; Propulsion; Launchers..

## 1. INTRODUCCIÓN

Los cohetes reutilizables representan un avance significativo en la tecnología espacial, permitiendo reducir costos y aumentar la frecuencia de lanzamientos (Villar, 2024). Los cohetes reutilizables están diseñados para ser lanzados, recuperados y relanzados múltiples veces, ejemplo de algunos países que vienen desarrollando como SpaceX y Blue Origin (shubov, 2021). Perú ha desarrollado una notable actividad en el ámbito de la cohetaría experimental, destacando proyectos como el Programa Paulet de la Agencia Espacial del Perú (CONIDA) (Gonzales, 2020). Este programa, iniciado en 2004, ha logrado avances significativos, incluyendo el lanzamiento del cohete sonda Paulet 1-C en 2021, diseñado y construido con tecnología 100 por ciento nacional. Este cohete alcanzó una altura superior a los 10 km (Gonzales, 2020).

Además, Perú ha establecido colaboraciones internacionales en este campo. En noviembre de 2024, la NASA y CONIDA firmaron un memorando de entendimiento para estudiar la posibilidad de una campaña conjunta de lanzamiento de cohetes sonda desde Perú, prevista para 2028. En esa línea nuestra empresa privada nacional Villa Automation S.A.C una empresa peruana especializada en

robótica, automatización y tecnología aeroespacial, con sede en Ayacucho, Perú. Fundada en 2021, se ha destacado en el desarrollo de proyectos innovadores en el ámbito aeroespacial. Uno de los proyectos más notables es el cohete aeroespacial JICAAT, diseñado para investigaciones y aplicaciones en el espacio.

El Cohete JICAAT tiene como objetivo de ser re-utilizable en el tiempo, considerando el cuidado del medio ambiente y ser lanzados, recuperados y relanzados múltiples veces. Este sistema será un complemento para el lanzamiento de pequeños satélites en el futuro, con fines comerciales, investigación y mitigación del medio ambiente terrestre y del espacio. Este proyecto es parte de la campaña de lanzamiento descrita en el artículo " Implementación de un programa nacional de actividades espacial del proyecto JICAAT, Perú, 2023-2032" (Villar, 2024).

En consecuencia, en este artículo, presentamos como la empresa ha compartido avances significativos en este proyecto, incluyendo diseño y construcción, pruebas de encendido y ajustes finales del cohete. Además del cohete JICAAT I, Villa Automation S.A.C se está desarrollando el satélite JICAAT-V. A, un CubeSat destinado al monitoreo ambiental y de desechos espaciales.

Villa Automation se encuentra en una etapa experimental y de prototipado, con proyectos como el cohete JICAAT que ya integran sistemas de guiado, navegación y control. No compite aún con empresas aeroespaciales consolidadas, pero sí se posiciona como un referente emergente en innovación tecnológica en Ayacucho. Su valor principal es la capacidad de crear desarrollos aeroespaciales de bajo costo y accesibles para investigación y educación. En el sector aeroespacial, Villa Automation tiene la oportunidad de consolidarse como un pionero regional en coherencia experimental y sistemas de control de vuelo, con proyección a integrarse en la cadena nacional e internacional de innovación. Su desafío será profesionalizar la investigación, escalar infraestructura y atraer talento e inversión para competir en proyectos aeroespaciales de mayor complejidad.

Para el funcionamiento del proyecto en esta primera etapa se consideró los siguientes pasos:

- Diseño y construcción del cohete JICAAT I, y electrónica y programación.
- Diseño y construcción del sistema de encendido remoto.
- Preparación de combustible para el motor sólido.
- Pruebas de encendido y vuelo.
- Captura de información y datos para luego ser analizados.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El cohete JICAAT combina materiales accesibles y económicos con un diseño aerodinámico básico pero funcional, ideal para pruebas iniciales. El diseño refleja un equilibrio entre simplicidad, identidad visual y funcionalidad, con gran potencial para evolucionar hacia prototipos más avanzados.

**Figura 1**  
*Cohete Experimental JICAAT de la Empresa Villa Automation*



**Nota.** En la foto muestra los cohetes experimentales de la empresa Villa Automation, acompañado del equipo en campo antes de una prueba o lanzamiento. Se nota claramente

el trabajo en conjunto, la creatividad y el esfuerzo en ingeniería Aeroespacial y robótica aplicada que caracteriza a Villa Automation.

### 2.1 Marcos de referencia y transformaciones de vehículo Lanzador JICAAT

Se definen dos sistemas de referencia principales:

Inercial N: fijo a la Tierra (ECI o NED).

Cuerpo B: fijo al cohete.

Considerando roll o guiñaba  $\phi$  (rotación alrededor x), luego pitch o cabeceo  $\theta$  (alrededor y), luego yaw o alabeo  $\psi$  (alrededor z) las rotaciones alrededor de ejes principales (Sutton, 2011) (Sutton, 2016) :

$$\begin{aligned} \text{Rot}_x(\phi) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}, \quad \text{Rot}_y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix}, \\ \text{Rot}_z(\psi) &= \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (1) \end{aligned}$$

Luego la transformación de coordenadas desde el marco de referencia del cuerpo del cohete (body frame) hacia el marco de referencia de navegación se obtiene de:

$$R_{b \rightarrow n} = \text{Rot}_x(\phi) \text{Rot}_y(\theta) \text{Rot}_z(\psi) \quad (2)$$

Luego a partir de los ángulos Euler se tiene las velocidades angulares  $\omega = [p, q, r]^T$  y se relacionan con las derivadas de Euler  $[\dot{\phi}, \dot{\theta}, \dot{\psi}]^T$  de la forma (Hill, 2011):

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \sin\theta \tan\phi & \cos\theta \tan\phi \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \sin\phi / \cos\theta & \cos\phi / \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix}$$

### 2.2 Modelamiento dinámico del cohete JICAAT

Dinámica rotacional del cohete (Hill, 2011)

$$I\omega + \omega \times (I\omega) = M_T + M_A \quad (3)$$

$$\text{pitch} = \theta = \arctan\left(\frac{a_y}{\sqrt{a_x^2 + a_z^2}}\right) \quad 180/\pi \quad (4)$$

$$\text{roll} = \phi = \arctan\left(\frac{-a_x}{a_z}\right) \quad 180/\pi \quad (5)$$

$$\text{yaw} = \psi = \arctan\left(\frac{-a_y}{a_z}\right) \quad 180/\pi \quad (6)$$

Dinámica trasnacional del cohete

$$\begin{aligned} a_x &= (F_{tx} - F_{ax})/m \\ a_y &= (F_{ty} - F_{ay})/m \end{aligned} \quad (7)$$

$$a_z = ((F_{tz} - F_{az} - F_g))/m$$

Donde:

$F_t$ : es la fuerza de impulso del motor,

$F_a = c_d v$ : es la fuerza aerodinámica o resistencia aerodinámica,  $c_d$  es el coeficiente de arrastre (drag),  $v$  es la velocidad de vuelo,  $F_g = mg$ : es la fuerza gravitacional,  $m$  es la masa de cohete,  $g$  es la función gravitacional. Luego reemplazando en la ecuación anterior se obtiene

$$a_x = (\text{impulso}_x - c_{dx} v_x) / (\text{impulso}_x - c_{dx} v_x)$$

$$a_y = ((0 - c_{dy} v_y)) / ((0 - c_{dy} v_y)) \quad (8)$$

$$a_z = ((0 - c_{dy} v_y)) / m - g$$

luego las velocidades de vuelo son representadas de la forma:

$$\begin{aligned} v_x(t+\Delta t) &= v_x(t) + a_x \Delta t \\ v_y(t+\Delta t) &= v_y(t) + a_y \Delta t \end{aligned} \quad (9)$$

$$v_z(t+\Delta t) = v_z(t) + a_z \Delta t$$

Asimismo, la aceleración de vuelo

$$x(t+\Delta t) = x(t) + v_x \Delta t$$

$$y(t+\Delta t) = y(t) + v_y \Delta t$$

$$(10)$$

$$z(t+\Delta t) = z(t) + v_z \Delta t$$

esta dinámica es de gran utilidad, para luego aplicar algún método de control de ajuste, así minimizar los errores y mantener

la estabilidad de vuelo y alcanzar nuestros objetivos.

### 2.3 Diseño y construcción del cohete JICAAT-V.A

En esta sección se muestra, el diseño de construcción del cohete JICAAT, considerando los materiales adecuados, así como la electrónica, para luego desarrollar el algoritmo correcto. como se muestra en la figura 2 construcción, las características del cohete JICAAT I son:

- Altura: 90, 150, 200, 300, 400 cm
- Radio base: 2.5, 3 cm
- cabezal: 7 cm
- Material: fibra de carbono e tubo pbc
- Aletas inferiores: 14cmx13cmx10cm
- Aletas superiores: 7cmx2cmx4cm
- Tres Servomotores pich, roll, yaw

- Micro controladores, sensores MPU6050, modulo bluetoo, DHT22, barômetro, Gps

de acuerdo a las características, se aseguró de que las aletas estén bien conectadas a los servos y puedan moverse libremente. Además se equilibró el peso para mantener el centro de la masa correctamente.

Para la calibración del sensor MPU6050 se asegura de que el sensor esté bien fijado y orientado. Asimismo, se realizan las pruebas en tierra, para ello se simula movimientos del cohete y se verifica que las aletas respondan correctamente. Con respecto a las pruebas de vuelo se comenzó con un motor de baja potencia para evaluar el sistema de estabilización.

**Figura 2**

*Cohetes Experimentales JICAAT en diseño y construcción*



**Nota.** En la foto muestra el cohete experimental de la empresa Villa Automation, en proceso de desarrollo y validación.



### 2.4 Diseño y construcción de control encendido remoto

Una necesidad importante y primordial para el inicio de las pruebas de encendido, fue la implementación de un sistema de control remoto, como se muestra en la figura control encendido, con los siguientes detalles:

- Microcontroladores para recepción de señal y control,
- Dimensiones: 20cm x 20cm x 8cm,
- Metano líquido comprimido
- Amplificador de voltaje
- Baterías 12V
- Servomotores
- Aplicativo "Serial Monitor Bluetooth" para envío de señal.

### 2.5 Preparación de combustible de motor sólido

En esta sección, iniciamos con el desarrollo del combustible como se muestra en la figura 3, con los siguientes detalles:

- ☒ Kg de Nitrato potásico a un 50 por-ciento,

- ☒ 1 kg de azúcar, a un treinta-cinco por ciento,
- ☒ 500 g de óxido de hierro a un quince por-ciento
- ☒ recipiente para cocción
- ☒ fuego regular a un 70 por-ciento
- ☒ nivel de cocción a un 80 por-ciento

El diseño de un motor sólido para un cohete experimental es una tarea que requiere conocimientos avanzados en química, física, ingeniería de materiales y mecánica de fluidos (Sutton, 2011). Estas pruebas se realizaron en un área bien ventilada, lejos de estructuras o personas, cercado de la ciudad de Ayacucho y Muyurina, Ayacucho. En un ambiente despejado con temperaturas estables dentro del rango previsible. Se determina el empuje necesario para el cohete JICAAT. Usando la ecuación de Tsiolkovsky para calcular el rendimiento deseado. Se diseñó el grano del propulsor considerando el área de combustión.

**Figura 3**

*Preparación del motor de combustión sólida*



**Nota.** En la figura muestra el proceso de preparación, así como la colocación del vehículo en la zona de prueba.

## 2.6. Ecuación de estado del sistema del cohete JICAAT

Para plantear la ecuación de estado del sistema del cohete JICAAT, lo tratamos como un sistema dinámico no lineal gobernado por las leyes de Newton y la ecuación de cohete de Tsiolkovski.

Las ecuaciones de estado son (Ogata, 1998):

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$y = Cx + Du$$

Por lo tanto, se deben calcular las matrices A, B, C y D, siendo la matriz:

$$D = 0$$

$$x(t) = [h(t) \ v(t) \ m(t)]^T \quad (18)$$

donde:

$h(t)$ : Altura [m]

$v(t)$ : Velocidad vertical [m/s]

$m(t)$ : Masa del cohete en función del tiempo [kg]

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} \dot{h}(t) \\ \dot{v}(t) \\ \dot{m}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v(t) \\ u(t) - \frac{g}{2} - \frac{\rho(h) C_d A}{m(t)} v(t) |v(t)| \end{bmatrix}$$

Esta es la ecuación de estado del cohete JICAAT: un sistema dinámico no lineal acoplado donde la velocidad depende del empuje, la masa cambia por consumo de combustible y la altura crece según la velocidad. El control PID regula los ángulos de pitch  $\theta$  y roll( $\phi$ ) para alcanzar los valores deseados, para ello considérese los vectores deseados  $\theta_d$  y  $\phi_d$  entonces (villar, 2024):

$$e_\theta = \theta_d - \theta$$

$$e_\phi = \phi_d - \phi$$

luego el

$$u_\theta = K_\theta(p_{e_\theta}) + K_{i_\theta} \int e_\theta dt + k_{d_\theta} (de_\theta)/dt$$

$$u_\phi = K_\phi(p_{e_\phi}) + K_{i_\phi} \int e_\phi dt + k_{d_\phi} (de_\phi)/dt$$

## 3. RESULTADOS

Para analizar los datos obtenidos figura de la prueba de lanzamiento de cohete JICAAT I, veamos las variaciones en las tres variables principales: Pitch (inclinación), Roll (balanceo), Yaw (guiñada), y PosX, PosY, PosZ.

**Figura 4**

Preparación de los cohetes y rampas de lanzamiento



**Nota.** En la figura muestra el proceso de preparación, rampas de lanzamiento

### 3.1. Pitch (inclinación)

Las variaciones en el Pitch van de  $-25.68^\circ$  a  $88.30^\circ$  lo que indica un rango amplio de inclinación (roll), desde posiciones bastante negativas hasta un valor casi vertical en la última parte del conjunto de datos ( $88.30^\circ$ ).

Hay cambios abruptos de valores negativos a positivos, lo que puede implicar maniobras o movimientos repentinos. Si el Pitch cambia de manera significativa a lo largo del tiempo, esto podría indicar que el cohete está ajustando su ángulo de vuelo debido a maniobras correctivas o a fluctuaciones en la estabilidad. En los datos que proporcionas, se observa que el Pitch varía desde  $-25.68^\circ$  hasta valores cercanos a  $88^\circ$  y luego vuelve a caer. Un cambio brusco hacia  $88.30^\circ$  (en el cuarto valor de Pitch) puede sugerir que el cohete podría

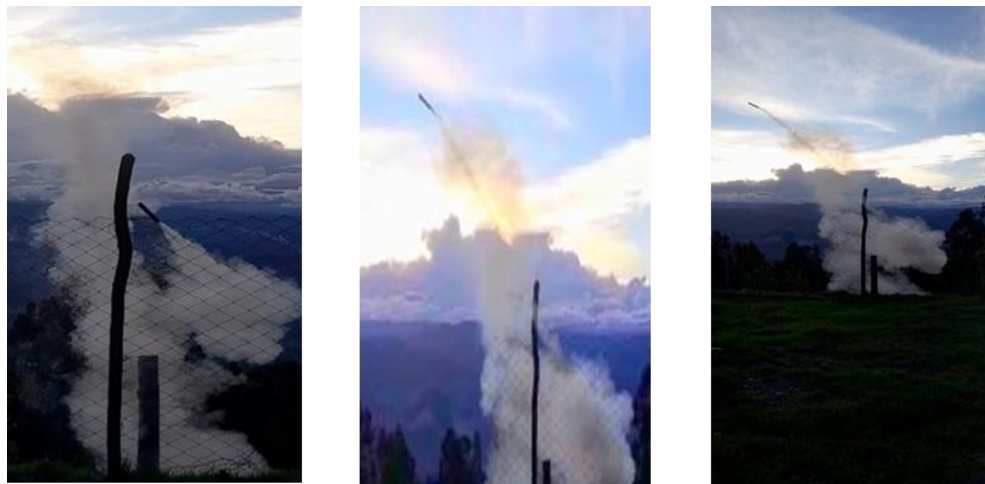
haber estado intentando realizar una corrección de trayectoria o que se produjo un problema de estabilidad en el vuelo. La inclinación negativa hacia  $-51.81^\circ$  y  $-82.31^\circ$  también puede indicar que el cohete estuvo realizando movimientos no controlados o movimientos inestables.

### 3.2. Roll (balanceo)

El Roll oscila entre  $-31.76^\circ$  y  $43.08^\circ$  en figura tabla 1. Se observa una alternancia entre valores negativos y positivos, lo que sugiere que el objeto o sistema está realizando giros en torno al eje longitudinal. Los cambios en el Roll son más suaves que los de Pitch, aunque aún muestran fluctuaciones significativas. El Roll describe la rotación del cohete alrededor de su eje longitudinal (como si el cohete estuviera "rodando" a lo largo de su cuerpo).

**Figura 5**

*Pruebas de lanzamiento del cohete JICAAT I*



**Nota.** En la figura muestra procesos de vuelo del cohete JICAAT I



**Figura 6**

*Pruebas de lanzamiento del cohete JICAAT II*



**Nota.** En la figura muestra procesos de vuelo del cohete JICAAT II

Un cambio en Roll puede indicar que el cohete está experimentando movimientos no deseados o que se está ajustando para estabilizarse. En los datos el Roll comienza con valores negativos y positivos, lo que puede reflejar que el cohete sufrió giros o intentos de corregir su actitud. En particular, un cambio a  $43.08^\circ$  (en el segundo valor) podría señalar que el cohete sufrió una rotación importante a medida que se desplazaba por el aire. Valores como  $-5.32^\circ$  y  $-7.12^\circ$  podrían indicar que, al principio del vuelo, el cohete estaba estabilizándose o corrigiendo su balanceo

### 3.3. Yaw (guiñada)

El Yaw varía entre  $-145.03^\circ$  y  $42.65^\circ$  en los datos. Aunque hay valores negativos, los cambios en Yaw son menos frecuentes que en Pitch y Roll, lo que indica una dirección de movimiento más constante en términos de orientación lateral. El Yaw se refiere a la rotación del cohete alrededor

de su eje vertical, lo que afecta la dirección en la que está apuntando el cohete JICAAT.

### Cambios en Yaw:

El Yaw puede estar relacionado con el control de dirección del cohete. Los cambios abruptos en Yaw sugieren que el cohete estuvo realizando ajustes para mantenerse en la trayectoria esperada o que hubo cambios de dirección debido a fallos en los sistemas de orientación de JICAAT. En tus datos, el Yaw fluctúa significativamente entre valores negativos, como  $-141.74^\circ$  y  $-145.03^\circ$ . Esto podría ser un indicio de que el cohete estaba realizando maniobras de corrección en su orientación, o bien que sufrió algún fallo en los sistemas que controlan la dirección, lo que afectó su estabilidad de JICAAT.

### 3.4. PosX

Aumenta consistentemente desde 21566.31 hasta 23928.83, lo que sugiere un movimiento lineal positivo en el eje X (es decir en la dirección del frente o movimiento hacia adelante)

### 3.5. PosY

Permanece constante en 0.00, lo que indica que no hay desplazamientos a lo largo del eje Y.

### 3.6. PosZ

El valor de PosZ desciende de -20746.80 a -23019.54, lo que indica un descenso o movimiento hacia abajo en el espacio.

La PosX y PosZ de la Figura \ref{posicion} indican la posición del cohete en el espacio a lo largo de los ejes X (horizontal) y Z (vertical). El eje Y está fijo en 0, lo que indica que el cohete se mueve en un plano bidimensional.

**PosX:** Los valores de PosX aumentan consistentemente, lo que indica que el cohete se está desplazando hacia adelante en el espacio a medida que el tiempo avanza.

Un cambio constante en PosX podría ser normal durante el ascenso o movimiento del cohete.

**PosZ:** Los valores de PosZ tienden a ser negativos, lo que sugiere que el cohete está descendiendo en el espacio (ya que Z negativo podría estar apuntando hacia el suelo) ver los cohetes JICAAT. Esto podría indicar que el cohete perdió altura o cayó después de un fallo en el vuelo.

La caída en PosZ desde -20746.80 hasta -23019.54 en el último valor es un indicio claro de que el cohete no mantuvo la altitud o sufrió un descenso repentino, lo que podría estar relacionado con el fallo del lanzamiento.

Pitch, Roll y Yaw reflejan cómo el cohete está ajustando su orientación en el espacio. Si estos valores fluctúan o cambian de manera abrupta, podría indicar un intento de corrección de la trayectoria o un problema en los sistemas de estabilización y control del cohete JICAAT.

La Posición (PosX, PosZ) muestra cómo el cohete se desplaza. Si PosZ disminuye significativamente ver mientras que las variables de orientación continúan fluctuando, podría sugerir que el cohete no logró mantenerse en el aire y comenzó a caer, lo que apunta a un posible fallo en el control del vuelo.

Los cambios observados en el Pitch, Roll, Yaw y la Posición del cohete a lo largo del tiempo sugieren que, aunque hubo ajustes en la orientación del cohete ver los lanzamientos parece haber experimentado una pérdida de estabilidad y control, lo que pudo haber llevado al fallo en el lanzamiento, reflejado en el descenso en la PosZ ver. El análisis de estos datos puede ayudar a identificar las causas del fallo, como problemas en los sistemas de estabilización, orientación o en el motor que impidieron que el cohete mantuviera su trayectoria esperada.

El motor explotó a unos segundos del lanzamiento para el motor 2 ver los datos reflejan cómo la dinámica del cohete cambió rápidamente después del evento, lo que puede ser observado en las

variaciones en las variables de orientación (Pitch, Roll, Yaw) y las posiciones (PosX, PosY, PosZ).

Pitch, Roll y Yaw: Cambios abruptos.

**Tabla 1**

*Principales nomenclaturas utilizadas en este trabajo y sus respectivos valores*

Pitch: -25.68	Roll: -31.76	Yaw: 42.65	PosX: 21566.31	PosY: 0.00	PosZ: -20746.80
Pitch: -30.50	Roll: 43.08	PosX: 21610.25	PosY: 0.00	PosZ: -20789.08	
Pitch: -30.45	Roll: 38.29	PosX: 21654.21	PosY: 0.00	PosZ: -20831.37	
Pitch: 88.30	Roll: -27.85	Yaw: 33.43	PosX: 21698.18	PosY: 0.00	PosZ: -20873.67
Pitch: 86.23	Roll: -14.08	Yaw: 26.08	PosX: 21742.87	PosY: 0.00	PosZ: -20916.65
Pitch: 28.27	Roll: -8.16	Yaw: 2.00	PosX: 21831.57	PosY: 0.00	PosZ: -21001.98
Pitch: -51.81	Roll: 1.10	Yaw: -141.74	PosX: 21875.59	PosY: 0.00	PosZ: -21044.33
Pitch: -82.31	Roll: 6.30	Yaw: -145.03	PosX: 21920.79	PosY: 0.00	PosZ: -21087.81
Pitch: -60.82	Roll: -0.41	Yaw: -70.02	PosX: 22362.02	PosY: 0.00	PosZ: -21512.27
Pitch: -84.85	Roll: -2.11	Yaw: -66.86	PosX: 22451.30	PosY: 0.00	PosZ: -21598.16
Pitch: -83.68	Roll: -2.28	Yaw: -67.91	PosX: 22584.83	PosY: 0.00	PosZ: -21726.62
Pitch: -80.87	Roll: -5.32	Yaw: -29.39	PosX: 23121.19	PosY: 0.00	PosZ: -22242.59
Pitch: -86.64	Roll: -2.21	Yaw: -74.31	PosX: 23211.09	PosY: 0.00	PosZ: -22329.08
Pitch: -79.27	Roll: -7.12	Yaw: -22.87	PosX: 23256.18	PosY: 0.00	PosZ: -22372.45
Pitch: -81.47	Roll: -2.96	Yaw: -39.08	PosX: 23345.91	PosY: 0.00	PosZ: -22458.77
Pitch: -85.10	Roll: -5.12	Yaw: -45.24	PosX: 23480.36	PosY: 0.00	PosZ: -22588.11
Pitch: -83.63	Roll: -6.10	Yaw: -39.51	PosX: 23703.64	PosY: 0.00	PosZ: -22802.91
Pitch: -85.31	Roll: -6.66	Yaw: -32.69	PosX: 23749.08	PosY: 0.00	PosZ: -22846.62
Pitch: -81.97	Roll: -4.13	Yaw: -43.81	PosX: 23838.81	PosY: 0.00	PosZ: -22932.95
Pitch: -79.27	Roll: -3.71	Yaw: -54.43	PosX: 23928.83	PosY: 0.00	PosZ: -23019.54

Pitch: Después de la explosión del motor, el Pitch podría haber cambiado abruptamente debido a la pérdida de control del cohete ver si el motor deja de funcionar o se destruye, el cohete pierde el empuje controlado, lo que hace que su orientación cambie de forma descontrolada. En los datos, por ejemplo, hay un cambio brusco en el Pitch (por ejemplo, de -30.50 a 88.30) en poco tiempo, lo cual podría ser un reflejo de una maniobra.

Roll: Similar al Pitch, el Roll también podría haber cambiado de manera errática tras la explosión del motor, ya que el cohete

pierde la capacidad de mantenerse equilibrado y puede comenzar a girar sin control. El Roll fluctúa entre valores negativos y positivos, lo que podría indicar un balanceo inesperado o una rotación sin control a medida que el cohete se ve afectado por la falta de propulsión.

Yaw: El Yaw también mostraría cambios irregulares si el cohete ya no tiene el control adecuado. En el caso de la explosión. la rotación alrededor del eje vertical podría volverse más errática, lo que es consistente con los valores de Yaw que fluctúan bastante. La pérdida del motor haría que el cohete no pueda

corregir su rumbo, lo que podría resultar en giros inesperados.

PosX y PosZ: Caída repentina después de la explosión

PosX: Aunque la posición en X sigue aumentando (lo que sugiere que el cohete comenzó a moverse hacia adelante antes de la explosión) Figura \ref{posicion1}, es posible que después de la explosión, la aceleración y el movimiento hacia adelante se vean reducidos. Sin un motor funcionando, el cohete dejaría de ganar velocidad y pero seguiría avanzando una pequeña distancia antes de caer.

PosZ: El PosZ muestra un descenso progresivo en los datos, lo que indica que el cohete comenzó a perder altitud después de la explosión. Esto es muy característico de una pérdida de propulsión. El motor proporciona la fuerza necesaria para mantener o aumentar la altitud. Una vez que el motor explota, el cohete comienza a caer. La caída en PosZ (de -20746.80 a -23019.54) muestra claramente que el cohete comenzó a descender rápidamente después de ese evento.

### 3.7. Sistema de guiado y control del vehículo

En la figura 7 muestra es claramente el sistema de guiado y control del vehículo JICAAT, montado en una estructura de niveles circulares.

#### 3.7.1. Estructura modular en discos

Hecha de madera/plywood con separadores metálicos.

Permite organizar cada "piso" para distintos módulos: control, sensores, alimentación.

Diseño liviano y accesible, ideal para pruebas de laboratorio y validación.

#### 3.7.2. Placa controladora (Arduino/derivado)

En la parte superior se observa una placa tipo Arduino Mega o similar.

Se usa como computadora de vuelo (OBC – On Board Computer) para integrar sensores y actuadores.

#### 3.7.3. Sensores y electrónica auxiliar

Se distinguen módulos pequeños conectados: como MPU6050 (IMU), barómetro BMP280, sensor de temperatura DHT, etc.

Estos permiten medir: actitud (ángulo, aceleración), altitud, velocidad vertical, condiciones ambientales.

#### 3.7.4. Cableado modular

Uso de jumpers dupont fácil para prototipos, aunque en vuelo real se recomienda cableado soldado para evitar falsos contactos por vibraciones.

#### 3.7.5. Alimentación y control

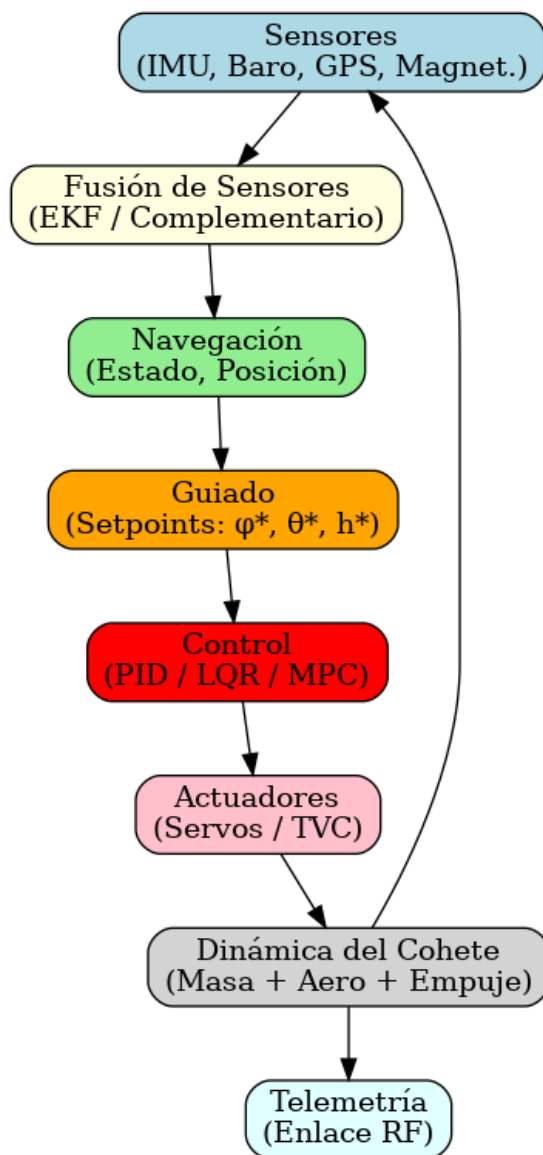
En el nivel inferior parece estar la batería o regulador de voltaje, protegido con cinta negra.

Esto asegura energía estable a todo el sistema durante el vuelo.



**Figura 7**

*Diagrama de bloques del sistema de guiado, navegación y control (GNC) del cohete JICAAT*



El diseño modular en niveles facilita experimentar y escalar: se pueden agregar más sensores sin rehacer todo. Uso de Arduino democratiza el acceso a la cohetaría experimental, haciéndolo

económico y educativo. Representa un paso hacia una plataforma de control de vuelo autónomo para cohetes experimentales desarrollados en Ayacucho.

**Figura 8**

*Diseño del sistema de guiado, navegación y control (GNC) del cohete JICAAT*



**Nota.** En la figura 2 los Diseños avanzados o nuevas versiones de las anteriores junto al sistema de guiado, navegación y control (GNC) del cohete JICAAT

### 3.8. Señales de información

$z(k)$ : mediciones crudas ( $a_x, a_y, a_z, g_x, g_y, g_z$ , presión, GPS).

$x(k)$ : estado estimado (actitud  $\varphi, \theta, \psi$ ; rates  $p, q, r$ ; altura  $h$ ; velocidad  $v$ ).

$r(k)$ : referencias de guiado (ej.  $\varphi^*=0, \theta^*=0$  para vertical; perfil de  $h^*(t), v^*(t)$ ).

$u(k)$ : comandos a actuadores (deflexión de aletas, %empuje o TVC).

### Tasas de muestreo sugeridas

IMU / Estimador: 100–200 Hz

Control: 50–100 Hz

Guiado/Navegación: 10–20 Hz

GPS/Telemetría: 1–10 Hz

### Implementación en el cohete JICAAT

Fusión/EKF en Arduino/MCU superior (computadora de vuelo).

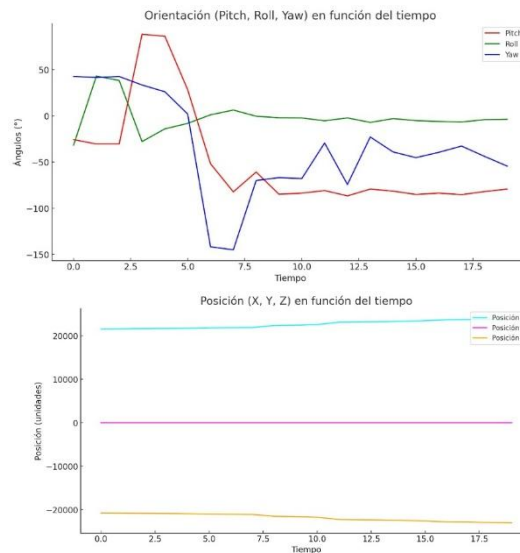
Control: PID para estabilidad (roll/pitch) sobre setpoints del Guiado (mantener vertical y seguir perfil de altitud).

Actuadores: servos de aletas traseras; más adelante puedes añadir TVC.

Telemetría: módulo RF para enviar  $x, u$  y eventos (apogeo, separación).

**Figura 9**

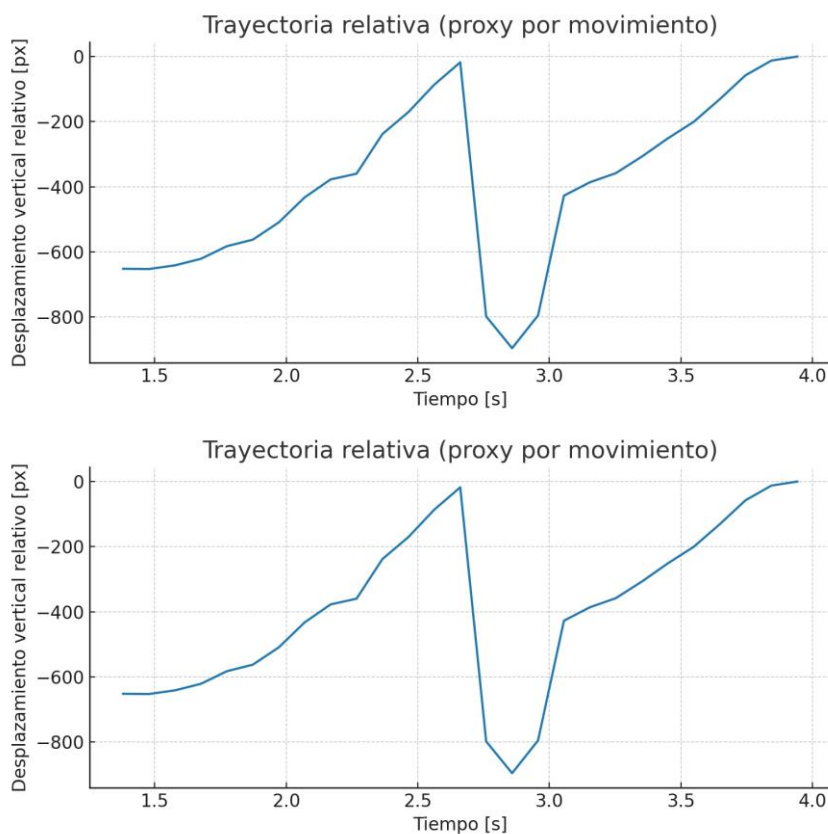
Comportamiento de la dinámica Pitch, Roll y Yaw



**Nota.** En las figuras se observan los comportamientos de la dinámica Pitch, Roll y Yaw asimismo posición vs tiempo.

**Figura 10.**

Trayectoria aproximada vs tiempo



**Nota.** Las figuras muestras comportamiento durante los ensayos como trayectoria relativa vs tiempo

#### 4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos indican que la implementación y desarrollo de los cohetes JICAAT fueron exitosos sin embargo en la parte de prueba de lanzamientos los motores lograron encender y generar gases de escape parcialmente eficiente.

Estabilidad: la trayectoria inicial es correcta en algunos ensayos, con una señal de un buen diseño de estabilizadores, pero con cierta

deficiencia en ajuste de motor en algunos casos.

Inestabilidades: de acuerdo a las figuras 10 La cobertura de humo mostró un pico muy alto justo tras la ignición eso concuerda con una fuga continua de gases más allá de la descarga normal del motor.

La forma y centroides de la pluma en los overlays indican una dirección irregular y amplia dispersión compatible con un escape por una junta/soporte suelto o ruptura en la tobera / anclaje. El color



(baja saturación, alto valor) sugiere presencia mayoritaria de vapor/gases calientes; si hubiera hollín negro sería mezcla rica / combustión incompleta.

Aquí no parece ser el caso predominante, pero la cantidad es excesiva.

**Figura 11**

*Ensayos perdidos*



Medidas de mitigación a corto y medio plazo: Reforzar el sistema de anclaje (aumentar sección de brida, añadir bridas adicionales o abrazaderas de seguridad). Añadir seguridad redundante: pasadores de seguridad, arandelas de seguridad o tuercas contratuerca. Mejorar procedimiento de montaje (checklist con pares de apriete y verificación por segundo técnico). Introducir inspección previa al encendido con torque-meter y listado de verificación firmado. Considerar uso de juntas/sellantes de alta temperatura en puntos críticos.

## 5. CONCLUSIONES

Éxito en la ignición: El motor encendió de manera inmediata y sostenida, demostrando que el sistema de combustión, encendido y alimentación funciona correctamente.

Elevada producción de empuje: El registro visual y la magnitud de la pluma de gases evidencian que el motor entregó un empuje significativo, confirmando la capacidad energética del diseño.

Sistema de control y rampa funcionaron: La estructura de soporte, la rampa y los sistemas auxiliares cumplieron su función básica, sin colapso estructural general.

Registro exitoso en video y fotogramas: Se obtuvieron datos visuales de alta calidad (video + fotogramas + análisis de humo), lo que permite realizar diagnóstico técnico detallado y documentar lecciones aprendidas.

Capacidad de detección temprana de fallas: Gracias a la instrumentación y al monitoreo, se identificó de inmediato la fuga de gases, lo que evita errores de interpretación y permite tomar acciones correctivas con rapidez.

Validación de procedimientos de seguridad: No se reportaron daños a personas, lo que refleja que las medidas de seguridad y protocolos de distancia funcionaron.

Base sólida para mejoras: A pesar de la incidencia, el resultado ofrece una plataforma de datos reales para rediseñar el anclaje del motor y reforzar procedimientos de integración.

Estos cambios en las variables son típicos de una pérdida de empuje y control, y el análisis de estos datos podría ser útil para investigar las causas de la explosión y mejorar el diseño de futuros lanzamientos.

En esta primera etapa se logró demostrar la funcionalidad de los materiales, sensores y de los algoritmos, cuan robusto fue, asimismo se logró observar el comportamiento del combustible en el motor 1 y 2. Estas informaciones son de

gran importancia, para futuras misiones como es el cohete JICAAT IV, que muy pronto será lanzado.

## 6. CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran que la investigación se ha llevado a cabo en ausencia de relaciones comerciales o financieras que pudieran interpretarse como un posible conflicto de intereses.

## 7. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Todos los autores participaron en la conceptualización, metodología, análisis formal, investigación, redacción – borrador original–, revisión y edición, y aprobaron la versión final del manuscrito. Se declara que todos contribuyeron de manera equitativa.

## 8. AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a la Empresa Villa Automation SAC por ser el impulsor en el desarrollo de tecnologías a nivel nacional. Al equipo de trabajo que contribuyó en el desarrollo de este importante proyecto en beneficio de la sociedad Ayacuchana y del Perú. Asimismo, a la Revista Aypate de la Universidad Nacional de frontera-Sullana-Piura.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, J. D. (2010). Fundamentals of Aerodynamics. McGraw-Hill.p
- Gonzales, V. M., Cornejo, J., & Palomares, R. (2020, April). Mechatronics

- Design of High-Altitude Balloon Paulet-1 for Peruvian Aerospace Monitoring. In 2020 Congreso Estudiantil de Electrónica y Electricidad (INGELECTRA) (pp. 1-6). IEEE.
- Hill, P., & Peterson, C. (1992). Mechanics and Thermodynamics of Propulsion. Addison-Wesley.
- Ogata, K., & Severo, B. (1998). Engenharia de controle moderno. Prentice Hall do Brasil.
- Shubov, M. (2021). Feasibility Study For Multiply Reusable Space Launch System. arXiv preprint arXiv:2107.13513.
- Sutton, G. P., & Biblarz, O. (2011). Rocket propulsion elements. John Wiley & Sons.
- Sutton, G. P., & Biblarz, O. (2016). Rocket Propulsion Elements. Wiley.
- Villar, J. L. H., Chilon, D. C., & Carrera, D. H. Z. (2024). Implementación de un programa nacional de actividades espacial del proyecto JICAAT, Perú, 2023-2032. Revista de Investigación Científica de la UNF-Aypate, 3(1), 79-91.
- Villar, J. L. H., Aldana, C., Moncada, W., Saavedra, E., & Saavedra, Y. (2024, July). Sliding mode controller for re-entry dynamics of spacecraft reusable type Starship. In 2024

10th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT) (pp. 706-711). IEEE.