

Diseño y simulación mediante las herramientas CFD de ANSYS de la aerodinámica de un cohete amateur en cuanto a su estructura externa conjuntamente con la tobera y validación con un prototipo en túnel de viento

Hermann Patricio Klier Quelal

Escuela Politécnica del Ejército
Correspondencia: hermannklier@hotmail.com

Resumen

El presente proyecto consiste en el diseño y simulación aerodinámica de un cohete amateur tanto de su estructura externa como de su tobera con el fin de construir un prototipo que se lo comparó con una simulación realizada en el programa FLUENT de ANSYS el cual analiza el comportamiento de los fluidos al interactuar con los cuerpos, después se creó un modelo a escala 1:5 el cual se expuso a un túnel de viento para sacar datos reales y comparar con otra simulación esta vez del cohete modelo y así validar los datos de la simulación en el cohete prototipo.

Palabras claves: Cohete amateur, Diseño, Simulación, Túnel de viento, ANSYS FLUENT

Introducción

Cerca de dos décadas, los cohetes han avanzado desde ser una ciencia experimental fomentada por aficionados a ser programas gubernamentales que ya tienen éxito en poner satélites en órbita alrededor de la tierra, enviar cohetes más allá de la luna, y pronto sondear aún más el espacio. Los gobiernos actualmente se encuentran en la búsqueda de mentes creativas para desarrollar este campo que crece continuamente.

Para la simulación Se utilizará el software ANSYS el cual es un programa universal para el método de elementos finitos (FEM), es muy popular entre los profesionales en el campo de la ingeniería asistida por ordenador (CAE, Computer-Aided Engineering) y soluciones de la CE de lineal y no lineal, estable e inestable en tres dimensiones.

Diseño

El diseño de un cohete generalmente se establece a partir de dos componentes principales: el motor (tobera) y el propelente y también secundarios como son aletas y el cono.

Tobera y cámara de combustión

$$A_e := \frac{A_t}{\left[\left(\frac{k+1}{2} \right)^{\frac{1}{k-1}} \cdot \left(\frac{P_e}{P_c} \right)^{\frac{1}{k}} \cdot \sqrt{\left(\frac{k+1}{k-1} \right)} \cdot \left[1 - \left(\frac{P_e}{P_c} \right)^{\frac{1}{k}} \right] \right]}$$

k= 1.25
Pe=14.7 psi
Pc=1000 psi

$$D_e := \sqrt{\frac{4 A_e}{\pi}}$$

$$D_e = 58.072 \text{ mm}$$

Tabla 1: Datos calculados de la tobera

Dimensiones de la tobera y de la cámara de combustión			
Dt	Diámetro de la garganta	20,5	mm
At	Área de la garganta	328,5	mm ²
De	Diámetro de salida	58	mm
Ae	Área de la salida	2648,6	m ²
Lc	Longitud de la cámara de combustión	1143	mm
Dc	Diámetro de la cámara de combustión	40,4	mm
Ac	Área de la cámara de combustión	1282	mm ²
con	Ángulo de convergencia	30	grad
div	Ángulo de divergencia	15	grad
M	peso del propelente	3,78	Kg
Lcon	longitud de convergencia	17,2	mm
Ldiv	longitud de divergencia	70	mm

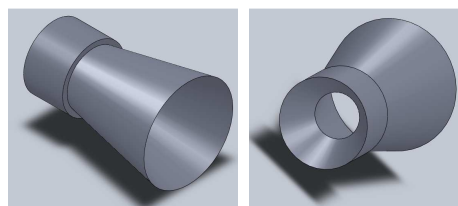


Figura 1: Tobera Finalizada

La nariz de cono

$$K_c := D \cdot (C^2 - 0.25)$$

$$C := 2 \text{ (Calibre)}$$

$$D := 44.45 \text{ mm}$$

$$R_c := D \cdot (C^2 + 0.25)$$

$$R_c = 193.34 \text{ mm}$$

$$K_c = 171.115 \text{ mm}$$

Donde Kc y Rc significan:

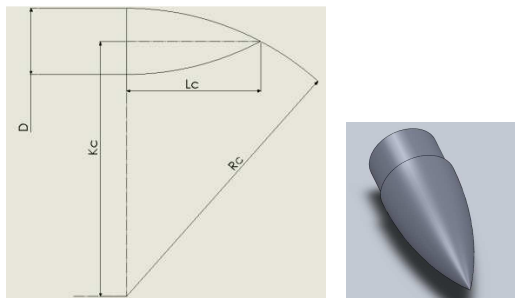
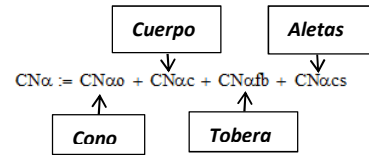


Figura 2: Método gráfico para cálculo del cono



$$CN_{\alpha} = 20.501$$

La presión en todo el cohete es:

$$X := \frac{CN_{\alpha o} \cdot X_o + CN_{\alpha c} \cdot X_c + CN_{\alpha fb} \cdot X_{fb} + CN_{\alpha cs} \cdot X_{cs}}{CN_{\alpha}}$$

$$X = 1143.6 \text{ mm}$$

Donde X son las distancias de cada parte del cohete hasta su centro de presión.

Análisis aerodinámico: Centro de gravedad (CG)

Se debe determinar la masa y la distancia al centro de gravedad de cada parte:

$$X_{cg} := \frac{\sum m_i \cdot x_i}{\sum m_i}$$

Tabla 2: Centro de gravedad

Determinación del centro de gravedad			
	m (Kg)	xi (mm)	m _{ixi}
Cono tipo ojiva	0,121	73,910	8,943
Cuerpo cilíndrico	2,600	700,000	1820
Aletas	0,020	1254,200	25,084
Tobera	0,270	1316,800	355,536
Σm_{ixi}			2209,563
Σm_i	3,011		
X_{cg}	733,830		

Si tanto el CP como el CG se encuentran en el eje central del cohete, se considera que el cohete se encuentra estáticamente estable cuando el CP está detrás del CG.

Simulación

Es la experimentación con un modelo que imita ciertos aspectos de la realidad. Esto permite trabajar en condiciones similares a las reales, pero con variables controladas y en un entorno que se asemeja al real pero que está creado o acondicionado artificialmente, en nuestro caso se utilizó un software llamado ANSYS usando el paquete FLUENT el cual estudia precisamente los fluidos y su interacción

Aletas

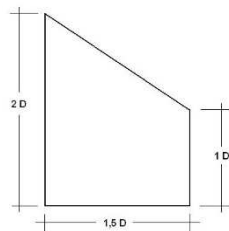


Figura 3: Dimensionamiento de la aleta

Raíz = 2 diámetro externo del cohete (2 D).
Borde de fuga=1,5 diámetro del cohete (1,5 D).
Punta = 1 diámetro del cohete (1 D).

Para calcular el área de la aleta

$$A_f := \frac{(D + 0.5) \cdot L}{6}$$

L.- Longitud del cohete sin la nariz de cono

$$A_f = 11612.88 \text{ mm}^2$$

Debido a que la tecnología de cohetes está centrada en su mayoría en dos componentes principales, los antecedentes y teorías relevantes disponibles no son totalmente aprovechables para establecer el comportamiento aerodinámico del cohete; Es por esto que cuando se busca la estabilidad de un cohete el factor más importante es el diseño de la estructura ya que es esta la que permite reducir las actitudes dinámicas que modifican la trayectoria de vuelo, lo que conduce a que el problema de esta investigación se centre en la pregunta: **¿Cuáles son los requerimientos aerodinámicos y estructurales para el diseño y fabricación de un cohete?**

Análisis aerodinámico: Centro de presión (CP)

La fuerza normal (CN_α) en todo el cohete es la suma de las fuerzas de todas sus partes:

con los cuerpos teniendo los siguientes resultados.

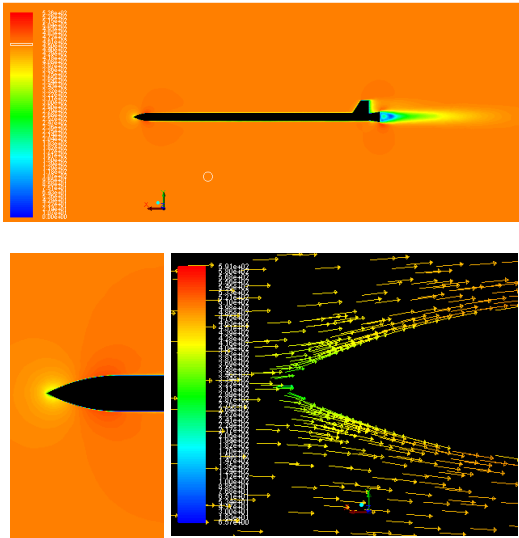


Figura 3: Simulación en la punta del cohete

Como se puede observar los puntos críticos se encuentran en la punta (figura 3) y también en la cola donde se encuentran las aletas y la parte externa de la tobera (figura 4)

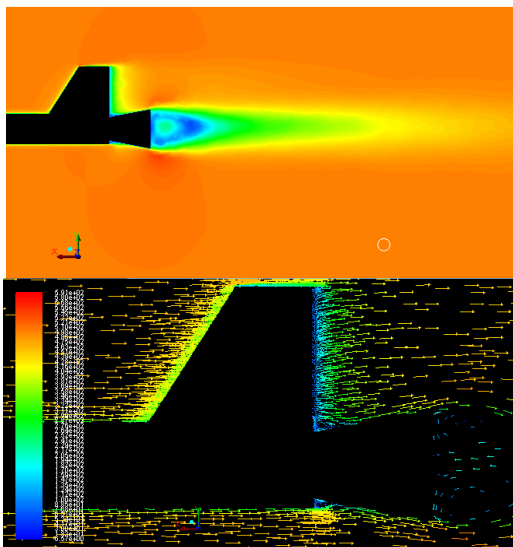


Figura 4: Simulación en la cola del cohete

También se puede observar en la cola (figura 4) como se forman vórtices creando turbulencia en el aire.

Prueba en túnel de viento y resultados

Para realizar las pruebas se deben crear tomas de aire en el modelo a fin de transportar el fluido por mangueras hasta llegar a un

manómetro para verificar la presión existente en cada punto



Figura 5: Puntos de análisis para el túnel de viento

Estas tomas son llevadas al manómetro el cual indica la presión existente en mm de agua.

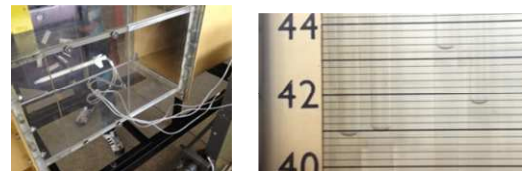


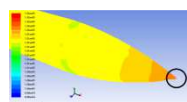
Figura 6: Cohete en túnel de viento y manómetro

$$P1 := Patm + \gamma_{agua} \cdot h1$$

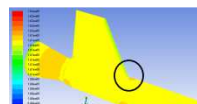
P1: Presión en la toma #1
 Patm: Presión atmosférica
 γ_{agua} : Peso específico del agua
 h1: Diferencia de altura para toma #1

$$P1 = 101344.6 \text{ Pa}$$

Por otro lado se realizó una nueva simulación con el cohete modelo y se lo sometió a las mismas condiciones que presenta el túnel de viento concentrando la simulación en los puntos antes señalado obteniendo como resultado:



Surface Group partes_de_prueba :
 Surface partes_de_prueba (0) :
 Contour level 15, value in [101453.16, 101562.49]



Surface Group partes_de_prueba :
 Surface partes_de_prueba (0) :
 Contour level 11, value in [101015.94, 101125.28]

Conclusiones

- a) Se realizó el diseño, la simulación y la construcción de un cohete amateur usando la

herramienta ANSYS – FLUENT y también se realizaron pruebas en el túnel de viento con lo que se pudo cumplir con el objetivo general que se planteó al inicio del proyecto.

- b) Es importante recalcar que el programa ANSYS – FLUENT fue de gran ayuda al momento de simular para verificar diferentes comportamientos y se logró demostrar su fiabilidad al hacer una prueba física.
- c) Mediante el marco teórico y el Diseño se logró entender el funcionamiento y comportamiento del cohete amateur y al iniciar la construcción se pudo tener una clara noción del costo que tiene así como ayudó a identificar las partes más importantes y más complicadas de construir.

presiones:

<http://www.acema.com.ar/biblioteca/databases/download/barrowman.pdf>

Huzel, Huang, & Aerospaceweb.org. (1967).

Rocket Nozzle Shapes. Obtenido de Aerospaceweb.org:

<http://www.aerospaceweb.org/design/aerospike/shapes.shtml>

Lockheed, & Aerospaceweb.org. (2001).

Development. Obtenido de Aerospaceweb.org:

<http://www.aerospaceweb.org/design/aerospike/development.shtml>

Nakka's, R., & Sanchez, J. L. (12 de Julio de 2006).

Mecanizado de Toberas para cohetes. Obtenido de Richard Nakka's Experimental Rocketry:

<http://www.escull.net/spanishdocs/rnakka/Mecanizado%20de%20toberas%20para%20cohetes.pdf>

Bibliografía

Andres, J. M. (2008). *Modelismo espacial*.

ANSYS. (2010). *Introduction to ANSYS FLUENT*. ANSYS Customer Training Material.

Brinley, C. B. (1964). *Rocket manual for amateurs*. New York: Ballantine books.

Brown, M. G. (s.f.). *A guide to Amateur rocketry*. Fort Sill, Oklahoma: U.S. Army field artillery school .

Bueno, A., Calderón, J., & Otálora, L. (2009). *Análisis Aerodinámico y Estructural para cohetes*. 18-23.

Buthod, P., & Megyesy, E. F. (2001). *Pressure Vessel handbook*. Tulsa, Oklahoma: Pressure Vessel Publishing.inc.

Direcciones de internet

ACEMA (Asociación de Cohetería Experimental y Modelista Argentina). (2002). *ACEMA Asociación de Cohetería Experimental y Modelista Argentina*. Obtenido de www.rocket.com.ar: <http://www.rocket.com.ar/>

Barrowman, J. S., & Barrowman, J. A. (18 de Abril de 1966). *Acema*. Obtenido de La predicción teórica del centro de