

# ESTUDIO Y ANÁLISIS FLUIDODINAMICO EN RÉGIMEN SUPERSONICO DEL SOPORTE ANTENA TIPO: SPIKE-RO PARA SU UTILIZACION EN UN COHETE SONDA

## FLUID DYNAMIC STUDY AND ANALYSIS IN SUPERSONIC REGIMEN OF SUPPORT OF ANTENNA TYPE: SPIKE-RO FOR USE IN A ROCKET PROBE

César J. Quispe

---

### RESUMEN

El presente trabajo, responde a la necesidad de conocer las condiciones de trabajo a la cual estará expuesta el elemento cilíndrico cerámico, que se encuentra en el soporte de antena, cuando se generen cargas de presión en este, al moverse junto con el cohete sonda a velocidades supersónicas.

El desarrollo del trabajo, se realiza en dos aspectos: El primer aspecto es el análisis estructural del elemento cilíndrico cerámico, obteniendo la resistencia y deformación de la pieza a diferentes condiciones de carga (Presión). Identificando una deformación máxima considerando un factor de seguridad "FS", según el criterio de "Máximo esfuerzo normal" (En este artículo solo se presenta el resultado del análisis estructural). Y el segundo aspecto es el análisis fluidodinámico, de la ojiva, soporte de antena y elemento cilíndrico cerámico (Al cual, está referido el presente artículo). Generando un túnel de viento supersónico virtual y en él, determinar las condiciones de carga de presión que se dan en el elemento cilíndrico cerámico según su régimen de flujo (numero de Mach), con sus respectivas variantes como una nueva posición del elemento cerámico y con un ángulo de inclinación respecto a la dirección de vuelo.

Finalmente, identificar estas condiciones de régimen y presión en los resultados del análisis estructural del elemento cilíndrico cerámico y poder estimar una posible falla o descartar la misma

### ABSTRACT

This paper responds to the need to know the conditions of work which will be exposed the cylindrical ceramic element, which is located in the antenna support when creating pressure load on it, moving along with the rocket probe at supersonic speeds. The development work is done in two aspects: The first is the structural analysis of the cylindrical ceramic-element, obtaining strength and deformation of the workpiece to different load conditions (pressure). Identifying a maximum deflection considering a safety factor "FS", according to the criterion of maximum normal stress (in this article it is only presents the results of structural analysis). And the second aspect is the fluid dynamic analysis of the warhead, support of antenna and cylindrical ceramic element (which is mentioned in this article). Generating a virtual supersonic wind tunnel and on it, determine the load of pressure that occur in the cylindrical ceramic element according to their flow regime (Mach number) with their respective variants as a new position of the ceramic element and an angle to the direction of flight. Finally, to identify these conditions of regimen and pressure in the results of structural analysis of cylindrical ceramic element and to estimate possible failure or exclude it.

---

### INTRODUCCIÓN

Los problemas de la ingeniería relacionados con el flujo de fluidos y transferencia de calor, requieren la solución de un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales no lineales acopladas, que expresan la conservación de masa y la cantidad de movimiento. Debido a las no linealidades y al fuerte acoplamiento existente entre las ecuaciones, es necesario la utilización de métodos numéricos para la obtención de la solución. En este contexto el método de volúmenes

finitos, consiste en que la solución resultante satisfaga la conservación integral de la masa, la cantidad de movimiento y de la energía, en los volúmenes de control en todo el dominio. Lo cual resulta una técnica de solución de muy buenos resultados y de fácil comprensión e interpretación del fenómeno físico. Para el estudio del movimiento de los fluidos y de sus efectos, se utilizan ensayos experimentales, es común realizar las medidas en apenas algunos puntos en la región que ocurre el fenómeno de interés. Por tanto no siempre los tratamientos teóricos y/ o experimentales

son satisfactorios. En la actualidad se utilizan técnicas numéricas avanzadas y de esta manera poder simular los fenómenos de flujo de fluidos y a la vez poder analizar sus efectos en forma cualitativa y cuantitativa. La Dinámica de Fluidos Computacional tiene como objetivo básico de reducir el número de experimentos y explorar fenómenos que no podían ser estudiados en laboratorio de forma práctica. Con esta información el investigador puede optimizar un trabajo, reduciendo los costos operacionales y mejorando el desarrollo del análisis.

Con el desarrollo de la coherencia; la aerodinámica, la gasodinámica y la dinámica de fluidos computacional han adquirido una gran importancia para el investigador. El régimen de vuelo del cohete sonda es supersónico, lo que hace más importante el desarrollo del túnel de viento virtual a partir de un modelo matemático desarrollado en el software especializado en CFD - Dinámica de fluido computacional, ya que en su defecto sería necesario contar con túnel de viento supersónico (físico), el cual no se cuenta en el país.

## OBJETIVO

Estudio y análisis de las condiciones de trabajo de un elemento cilíndrico cerámico, ubicado en el soporte de antena, instalado en la parte exterior de la ojiva del cohete. A fin de determinar si soporta las condiciones de trabajo; considerando dos posiciones y la inclinación del cohete respecto a su dirección de vuelo en régimen supersónico, para descartar una posible falla o deformación extrema del elemento cerámico.

## DESCRIPCION DEL TRABAJO:

### CONSIDERACIONES GENERALES

Para el estudio del soporte de antena (específicamente; elemento cerámico), se parte de la siguiente información otorgada por el IGP-Instituto Geofísico del Perú: \* Ojiva y parte del cohete donde ira ubicado el soporte (Plano)

\* Condiciones de vuelo del cohete: Velocidad máx. = 1500 m/s

\* Angulo de Inclinación de vuelo respecto a la dirección de flujo = 5°

\* Soporte de antena tipo SPIKE-RO de acero inoxidable (Pieza Física).

\* Elemento cilíndrico de cerámica (Pieza física)

Nota: Por ser cerámico, se considera Temperatura constante en sus paredes (adiabático).

(El incremento de la temperatura en la pared en estas condiciones de régimen no supera los 550°C)

### PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

Para determinar las condiciones del elemento cerámico a partir de las consideraciones generales, se

plantea los siguientes análisis:

Primero se realiza el estudio de las características de resistencia y deformación del elemento cerámico, cuando se encuentra en la posición original y luego en la posición modificada. Para ello se identifica la geometría y el material, así mismo se ubica las características físico-mecánicas del material. Luego establecemos los esfuerzos que se originan sobre el elemento cerámico a partir de la presión (como carga predominante). Por lo tanto considerando la velocidad supersónica que adquiere el Cohete Sonda, establecemos diferentes cargas de presión (distribución de presión) sobre el elemento cerámico, la cual consideramos para el análisis estructural. Utilizamos el software SolidWork 2001, para el modelamiento en 3D y el Cosmos Works para el análisis estructural por el método de elementos finitos y utilizando los criterios de análisis de falla para materiales frágiles "Máximo Esfuerzo Normal". Obteniendo como resultado; la resistencia y deformación máxima del elemento cerámico a diferentes cargas de presión, con sus diferentes variantes de posición de la cerámica en el soporte de antena.

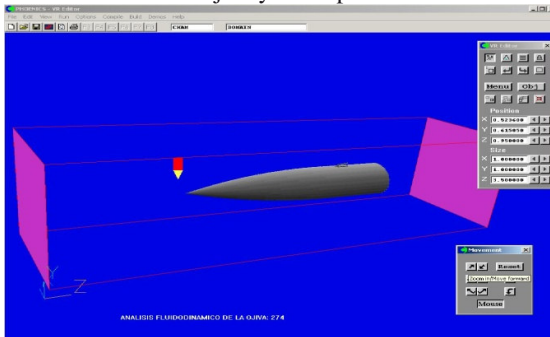
Segundo, se realiza el estudio y análisis fluidodinámico del elemento cerámico. Para tal propósito se genera un modelo matemático en el software Phoenix, para la simulación del fenómeno de flujo de fluido en régimen supersónico (generación de un túnel de viento supersónico virtual). De tal manera que una vez obtenido el túnel de viento virtual validado a partir de parámetros teóricos, se pueda simular en principio el vuelo del cohete (ojiva, soporte de antena y elemento cerámico) en régimen supersónico, de esta simulación se identifica las condiciones de flujo en la zona del soporte de antena. Luego procedemos a realizar la simulación localizada, es decir solo la zona del soporte de antena, en esta zona se procederá a la simulación de las diferentes variantes: Primero la simulación del soporte de antena con el elemento cerámico en la posición original, segundo la simulación del soporte de antena con el elemento cerámico en la posición original con un ángulo de inclinación 5° con respecto a la dirección de vuelo, tercero la simulación del soporte de antena con el elemento cerámico en la posición modificada y cuarto la simulación del soporte de antena con el elemento cerámico en la posición modificada con un ángulo de inclinación 5° con respecto a la dirección de vuelo. Estas simulaciones nos permiten el análisis de las presiones que se presentan en régimen supersónico del elemento cerámico en la posición original, posición modificada y en situación extrema (para ambos casos considerando un ángulo de inclinación de 5° respecto a la dirección de vuelo). De esta manera estimar el incremento de la presión en la posición modificada respecto a la posición original y obtener la presión a la que estará expuesto el elemento cerámico en sus diferentes variantes.



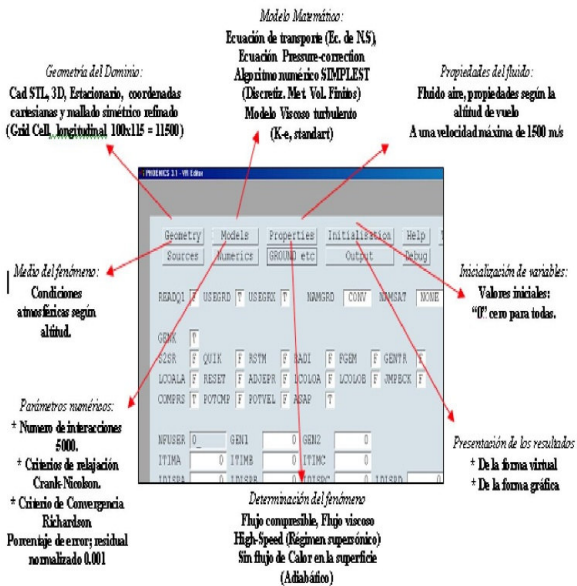
Para la modelación y simulación del vuelo supersónico de la ojiva del cohete y soporte de antena, utilizamos el Software de Simulación en Dinámica de Fluidos computacional “PHOENICS”.

Para lo cual primero, importamos los cuerpos tipo CAD, de la ojiva, el soporte de antena y el elemento cilíndrico cerámico, en el Ambiente Virtual de trabajo “VR-Edi-tor” del Phoenix.

Una vez importado los cuerpos procedemos a definir las condiciones de contorno (establecer la entrada de flujo y el cuerpo) y aplicamos la malla del dominio. Así mismo en el VR-Editor, establecemos el modelo matemático para la simulación del flujo de fluido alrededor de la ojiva y del soporte de antena.



CUERPO DE LA OJIVA Y SOPORTE DE ANTENA, EN EL DOMINIO (Volumen de Control)



## PROCESO Y POST-PROCESO EN EL SOFTWARE PHOENICS

Luego de establecer el modelo matemático para la simulación de flujo de fluidos en régimen supersónico. Se define las condiciones de borde, en la entrada; Fluido aire, con velocidad de flujo de 1500 m/s y con dirección de flujo igual a la dirección de vuelo del cohete, Presión  $1.0 \times 10^5$  Pa y Temperatura  $260^\circ\text{K}$ , para el cuerpo; Tipo de material (acero inoxidable para el soporte y cerámica para la pieza cilíndrica) y temperatura constante (pared-adiabático). Para seguidamente activar el proceso de cálculo en el ambiente “Earth” del software Phoenix. Una vez finalizada el proceso de cálculo, con la convergencia de los parámetros numéricos y variables establecidas. Visualizamos los resultados en el ambiente del Post-Proceso “Vr-Viewer” del Phoenix.

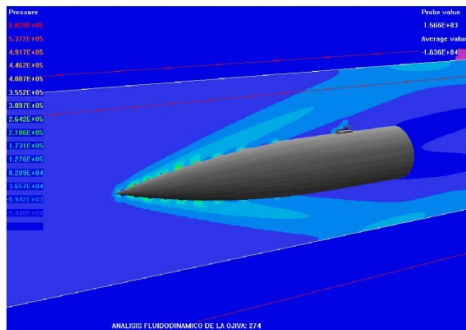
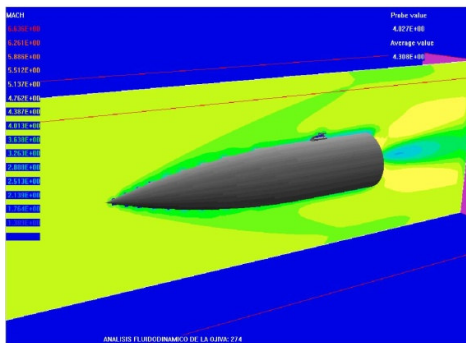
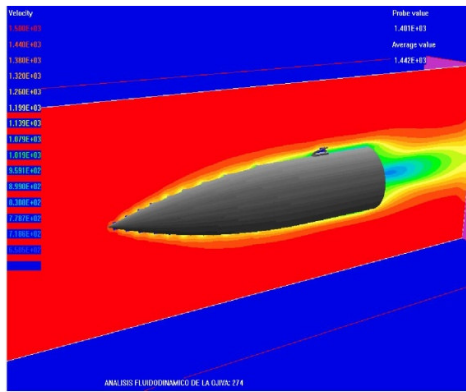
## VALIDACIÓN DEL MODELO EN RÉGIMEN SUPERSÓNICO

En el modulo “VR Viewer” del software Phoenix, podemos visualizar la simulación del flujo de aire a través de la ojiva y el soporte de antena. En este ambiente visualizaremos los parámetros, de Velocidad, Numero de Mach y Presión Presentados en forma vectorial y líneas de contorno.

Al analizar estos parámetros alrededor del cuerpo. Observamos que la configuración del Numero de Mach corresponde a los parámetros teóricos para este tipo de ojiva en un vuelo supersónico (referencia bibliográfica), así como los valores de velocidad que alcanza el cohete en régimen supersónico y configuración de la presión, que se produce en este régimen de fujo alrededor del cuerpo.

Prácticamente el Dominio generado en el “VR Viewer”, es un túnel de Viento supersónico virtual validado teóricamente, donde podemos visualizar los parámetros fluidodinámico, para el análisis y evaluación de las condiciones en que se encuentra el soporte de antena y el elemento cerámico.

De la Simulación de la ojiva del cohete con el soporte de antena en régimen supersónico, con velocidad de vuelo igual a 1500 m/s y alcanzando un Mach de 4.38, determinamos lo siguiente

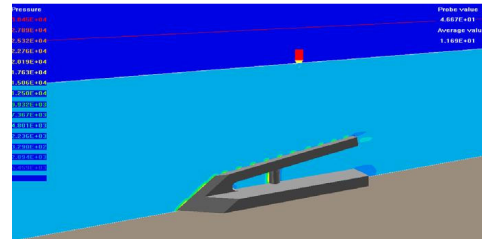
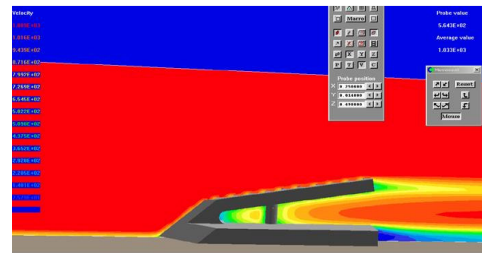


**SIMULACION Y ANALISIS DEL SOPORTE DE ANTENA Y ELEMENTO CERÁMICO EN LA OJIVA:**

Prácticamente el Ambiente generado en el “VR Viewer” es un túnel de Viento supersónico virtual, donde podemos visualizar los parámetros fluidodinámico, que servirán para el análisis y evaluación de las condiciones en que se encuentra, el soporte de antena y el elemento cerámico, respecto de las cargas de presión.

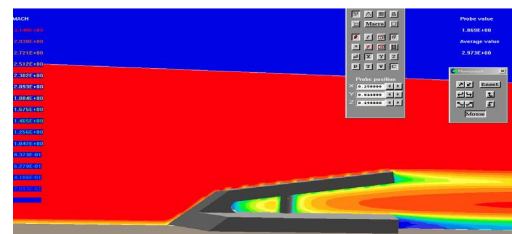
**SIMULACION LOCALIZADA DEL SOPORTE DE ANTENA Y ELEMENTO CERÁMICO EN POSICION ORIGINAL, Y ORIENTADOS EN LA DIRECCIÓN DE VUELO**

Realizamos la Simulación localizada en régimen supersónico, del soporte de antena con el elemento cerámico cilíndrico, en su posición original y orientando la ojiva en la dirección de vuelo.

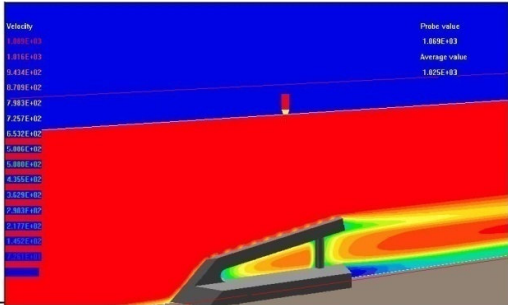
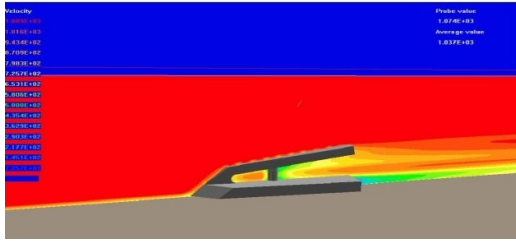


De la Simulación localizada del soporte de antena con el elemento cilíndrico cerámico en su posición original, en la misma dirección de vuelo a un régimen de flujo de 3.15 Mach y velocidad de aproximadamente de 1090 m/s, determinamos lo siguiente: Que el elemento cilíndrico cerámico se encuentra en un régimen de flujo aproximadamente Mach 2.45 y soporta una Presión estática de  $2.45 \times 10^4$  Pa. (Cuadros de simulación) y por lo tanto estará sometida a una carga de Presión total aproximadamente de  $4.46 \times 10^5$  Pa. Si ubicamos este valor en la tabla del análisis estructural del elemento cilíndrico cerámico (Modelo1). Se observa que esta carga de Presión, obtiene un “Esfuerzo Principal1” cercano a 18.80 Mpa y con ello obtenemos un factor de seguridad “FS1” igual a 4.3, lo cual está muy por encima del factor seguridad “FS1” crítico (igual a 1.05), descartando una posible falla.

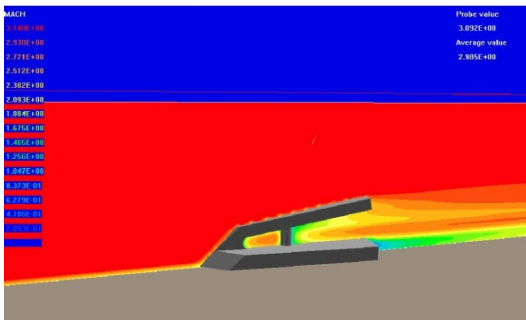
**SIMULACION LOCALIZADA DEL SOPORTE DE ANTENA Y ELEMENTO CERÁMICO EN POSICION ORIGINAL, Y ORIENTADOS 5° A LA DIRECCIÓN DE VUELO**



Realizamos la Simulación localizada en régimen supersónico, del soporte de antena con el elemento cerámico cilíndrico, en su posición original y orientando la ojiva unos 5° de inclinación respecto a su dirección de vuelo.



De la Simulación localizada del soporte de antena con el elemento cilíndrico cerámico en su posición original, en una posición extrema de 5° de inclinación respecto a la dirección de vuelo a un régimen de flujo de 3.15 Mach y velocidad de aproximadamente de 1090 m/s., determinamos lo siguiente: Que el elemento cilíndrico cerámico se encuentra en un régimen de flujo aproximadamente Mach 2.75 y soporta una Presión estática de  $2.1 \times 10^4$  Pa. (cuadros de simulación) y por lo tanto estará sometida a una carga de Presión total aproximadamente de  $5.46 \times 10^5$  Pa. Si ubicamos este valor en la tabla del análisis estructural del elemento cilíndrico cerámico (Modelo 1). Se observa que esta carga de Presión, obtiene un "Esfuerzo Principal" cercano a 20.30 Mpa y con ello obtenemos un factor de seguridad "FS1" igual a 3.85, lo cual está muy por encima del factor seguridad "FS1" crítico (igual a 1.05), descartando una posible falla.



**SIMULACIÓN LOCALIZADA DEL SOPORTE DE ANTENA Y ELEMENTO CERÁMICO EN POSICIÓN MODIFICADA, Y ORIENTADOS EN LA DIRECCION DE VUELO:**

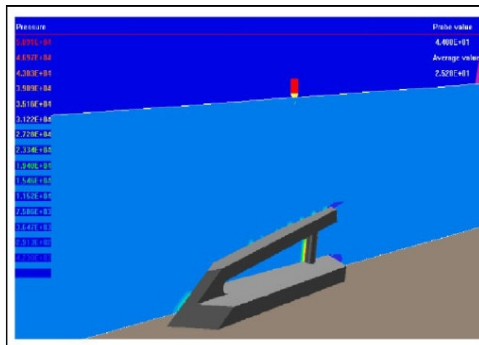
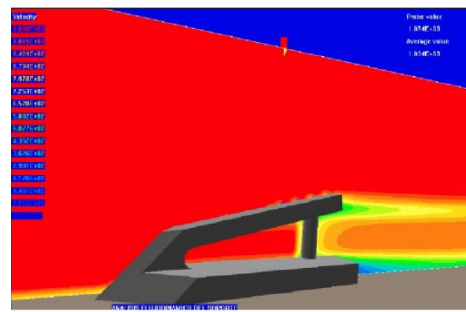
Realizamos la Simulación localizada en régimen supersónico, del soporte de antena con el elemento cerámico cilíndrico, en su posición modificada y

orientando la ojiva en la dirección de vuelo. De la Simulación localizada del soporte de antena con el elemento cilíndrico cerámico en su posición modificada, en la misma dirección de vuelo a un régimen de flujo de 3.15 Mach y velocidad de aproximadamente de 1090 m/s. determinamos lo siguiente:

Que el elemento cilíndrico cerámico se encuentra en un régimen de flujo aproximadamente Mach 2.70 y soporta una Presión estática de  $2.2 \times 10^4$  Pa. (cuadros de simulación) y por lo tanto estará sometida a una carga de Presión total aproximadamente de  $5.36 \times 10^5$  Pa. Si ubicamos este valor en la tabla del análisis estructural del elemento cilíndrico cerámico (Modelo2). Se observa que esta carga de Presión, obtiene un "Esfuerzo Principal2" aproximadamente 27 Mpa y con ello obtenemos un factor de seguridad "FS2" igual a 2.8, lo cual esta por encima del factor seguridad "FS2" crítico (igual a 1.05), descartando una posible falla.

**SIMULACIÓN LOCALIZADA DEL SOPORTE DE ANTENA Y ELEMENTO CERÁMICO EN POSICIÓN MODIFICADA, Y ORIENTADOS 5° A LA DIRECCIÓN DE VUELO**

Realizamos la Simulación localizada en régimen supersónico, del soporte de antena con el elemento cerámico cilíndrico, en su posición modificada y orientando la ojiva unos 5° de inclinación respecto a su dirección de vuelo.



Modificada, en una posición extrema de 5° de inclinación respecto a la dirección de vuelo a un régimen de flujo de 3.15 Mach y velocidad de

aproximadamente de 1090 m/s., determinamos lo siguiente:

Que el elemento cilíndrico cerámico se encuentra en un régimen de flujo aproximadamente Mach 2.95 y soporta una Presión estática de  $1.5 \times 10^4$  Pa. (Cuadros de simulación) y por lo tanto estará sometida a una carga de Presión total aproximadamente de  $6.31 \times 10^5$  Pa. Si ubicamos este valor en la tabla del análisis estructural del elemento cilíndrico cerámico (Modelo2). Se observa que esta carga de Presión, obtiene un "Esfuerzo Principal2" cercano a 31.5 Mpa y con ello obtenemos un factor de seguridad "FS2" igual a 2.5, lo cual esta por encima del factor seguridad "FS2" crítico (igual a 1.05), descartando una posible falla.

### CONCLUSIONES

Mediante la generación del modelo matemático y la validación del mismo ha sido posible obtener un túnel de viento virtual supersónico, lo cual ha permitido el análisis y determinación de las condiciones de trabajo del elemento cilíndrico cerámico.

Podemos concluir que al modificar la posición del elemento cilíndrico cerámico en el soporte de antena, considerando la velocidad máxima del cohete de 1500 m/s y el eje de simetría del cohete en la misma dirección de vuelo, así también asumiendo que el elemento cilíndrico cerámico trabajara dentro del rango de temperatura de 0 a 550° C; por efectos de cargas de presión no tendrá problemas de deformación extrema o una posible falla.

•Así mismo, considerando lo anterior y estableciendo una condición extrema de exposición del elemento cilíndrico cerámico es decir cuando el eje de simetría del cohete vuela con 5° de inclinación con respecto al dirección de vuelo, tenemos que los efectos de carga de presión se incrementan pero no lo suficiente como para presentar problemas de deformación extrema o una posible falla.

### RECOMENDACIÓN

- Sería conveniente complementar este trabajo con un análisis que considere los efectos térmicos sobre la pieza cilíndrica cerámica.

### BIBLIOGRAFÍA

1. A.H. Shapiro, The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow, The Ronald Press Company, New York (1953). Shames, Irwin ; Mecánica de Fluidos
2. Peyret, R. ; Taylor, T ; Computational Methods for Fluid Flow, Univer-sity of Nice and Johns Hopkins University, 1982
3. H. Schlichting, Boundary Layer Theory. , McGraw-Hill, New York (1979).
4. Ph. Reynier, U. Reisch, J. Longo and R. Radespiel, Numerical study of hypersonic missiles with lattice wings using an actuator disk. In: 20th AIAA Applied Aerodynamics Conference, St. Louis, MO (1993) AIAA Paper, 2002-2719
5. Yulia Halupovich, Benveniste Natan and Josef Rom, Numerical solu-tion of the turbulent supersonic fow over a backward facing step, In: Fluid Dynamics Research, Volume 24, Issue 5, May 1999, Pages
6. J.M. Sauter, J.C Dutton, Design of an axisymmetric supersonic wind tunnel and experimental study of supersonic, Univ. of Illinois at Ur-bana-Champaign, March 1989. Chapman, D.R., 1951. An analysis of the base pressure at supersonic velocities and comparison with ex-periment. NACA TR 1051. F. Lesage, Numerical investigation of the supersonic fow inside a cell. In: Proceedings of the 17th International Symposium on Ballistics
7. BALLISTICS'98, vol. 1, Midrand, South Africa (1998), pp. 209–216.
8. Y. Sun and M. Khalid, Prediction of supersonic flow around a grid fin missile using NPARC. In: Proceedings of 5th Annual Conference of the Computational Fluid Dynamics Society of Canada, CFD 97, Victoria, BC, Canada (1997).