

## DINAMICA DE GASES FLUJO CASI-UNIDIMENSIONAL

El flujo casi-unidimensional esta definido como un flujo donde todas las propiedades están en función de una sola dimensión, por ejemplo 'x', donde el área transversal es variable, i.e,  $u=u(x)$ ,  $P=P(x)$ ,  $T=T(x)$  y  $A=A(x)$ . Esto hace la diferencia con el flujo unidimensional visto anteriormente. Las ecuaciones que gobiernan el flujo casi-unidimensional son las siguientes, como también en su forma diferencial:

|              |   |                   |
|--------------|---|-------------------|
| Continuidad: | $\rho_1 u_1 A_1 = \rho_2 u_2 A_2$   | $d(\rho u A) = 0$ |
| Momentum     | $P_1 A_1 + \rho_1 u_1^2 A_1 + \int_{A_1}^{A_2} P dA = P_2 A_2 + \rho_2 u_2^2 A_2$ | $dP = -\rho u du$ |
| Energía      | $h_1 + \frac{u_1^2}{2} = h_2 + \frac{u_2^2}{2}$                                   | $dh + u du = 0$   |

Hay que recordar que estas ecuaciones aplican para flujo isentrópico. Estas expresiones pueden combinarse y obtener la relación área-velocidad:

$$\frac{dA}{A} = (M^2 - 1) \frac{du}{u}$$

Evaluando en distintas situaciones tenemos:

- 1) Si el flujo es subsónico ( $M < 1$ ), un incremento en velocidad es proporcional a una disminución de área.
- 2) Si el flujo es supersónico ( $M > 1$ ), un incremento en velocidad es proporcional a un incremento de área.
- 3) Si el flujo es sónico ( $M = 1$ ), el área esta al mínimo local.

Estos resultados claramente establecen que, con la finalidad de expandir un flujo isentrópico de velocidad subsónica a supersónica, debe usarse un ducto convergente-divergente, donde el mach 1 se produciría en el área mínima del ducto o garganta.

Podemos establecer una relación área-mach por una razón de Área-Área crítica:

$$\left(\frac{A}{A^*}\right)^2 = \frac{1}{M^2} \left(\frac{2}{k+1} \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2\right)\right)^{\frac{k+1}{k-1}}$$

Siendo  $A^*$  el área transversal a un numero de mach sónico. De la expresión pasada observamos que el numero de mach solo estará en función de  $k$  y de la relación de áreas  $A/A^*$ .

Para flujo casi-unidimensional se pueden presentar muchas situaciones dependiendo tanto de las condiciones iniciales ( $P_0$ ,  $T_0$ , etc.) como de las condiciones de contrapresión a la salida. Algunas situaciones son:

- 1) Primero, el flujo es completamente subsónico, incluyendo tanto la sección convergente como divergente. El máximo valor de mach se produce en la garganta (subsónico). El flujo másico se incrementa a medida que se reduce la contrapresión.
- 2) A cierto valor de contrapresión, el flujo en la garganta se vuelve sónico. Los numero de mach tanto aguas arriba como aguas debajo de la garganta son subsónicos. El flujo másico alcanza su máximo valor, cuando la contrapresión se reduce, el flujo másico se mantiene constante, i.e, el flujo se encuentra bloqueado.
- 3) A medida que disminuimos la contrapresión, se produce flujo supersónico aguas debajo de la garganta, produciéndose una onda de choque normal dentro de la zona divergente.

## Dinámica de Gases – Preparaduría Docente – Flujo Casi-Unidimensional

- 4) A cierto valor de contrapresión, se produciría la onda de choque justamente en la salida. Entonces para todo el flujo subsónico-supersónico se realizara el estudio de forma isentrópica.
- 5) A medida que se reduce la contrapresión, la onda de choque es remplazada por ondas de choque oblicuas que parten del borde de la salida de la tobera. Este flujo se denomina sobre-expandido.
- 6) A cierto valor de contrapresión, correspondiente a un valor de flujo isentrópico, no se presenta ningún tipo de ondas. Tendríamos entonces una expansión isentrópica a través de la tobera.
- 7) Finalmente, para contrapresiones muy bajas, se producirían ondas de expansión en los bordes de salida de la tobera. Este flujo de tobera se denomina sub-expandido.

Difusor: La función de un difusor es de hacer más lento un flujo con la menor cantidad de pérdida de presión total. Para un túnel de viento supersónico o hipersónico, el difusor es capaz de reducir la velocidad a flujo subsónico al final del túnel. Un criterio utilizado para medir la eficiencia de un difusor es mediante la eficiencia de choque normal de difusor:

$$\eta_D = \frac{(P_{d0}/P_0)_{ACTUAL}}{(P_{02}/P_{01})_{CHOQUE\_NORMAL\_A\_M_E}}$$

Donde el numerador representa la razón de presiones de estancamiento de la salida del difusor y reservorio. Y el denominador es la razón de presiones de estancamiento antes y después de una onda de choque al mach de diseño. Un difusor supersónico tiene un mínimo local de área transversal llamada ‘segunda garganta’. La razón de esta área (difusor) con el área de garganta de la tobera es:

$$\frac{A_{T2}}{A_{T1}} = \frac{P_{01}}{P_{02}}$$