

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL HAEDO

MECANICA DE LOS FLUIDOS

Guía de Trabajos Prácticos Ingeniería Industrial

Jefe de Cátedra: Ing. Nahuel M. Castello

Jefe de Trabajos Prácticos: Ing. Claudio Lazo

Ayudante de Trabajos Prácticos: Ing. Matias Meroniuc

Preparó Guía de T.P.: Ing. Nahuel M. Castello

REVISION 2018

Contenido

I.	Guía de Ejercicios Nº 1 “Características Básicas de los Fluidos”	3
II.	Guía de Ejercicios Nº 2 “Cinemática de Fluidos”	9
III.	Guía de Ejercicios Nº 3 “Estática de Fluidos”	13
IV.	Guía de Ejercicios Nº 4 A “Principio de Conservación de la Energía”	18
V.	Guía de Ejercicios Nº 4 B “Aplicaciones Básicas de las Ecuaciones Indefinidas, Navier-Stokes y de los Principios de Conservación.”	22
VI.	Guía de Ejercicios Nº 6 “Perdida de Carga”	29
VII.	Guía de Ejercicios Nº 7 “Flujo Compresible Isentrópico Unidimensional”	32
VIII.	Guía de Ejercicios Nº 8 “Bombas y Neumática”	33
	ANEXO I DIAGRAMAS	35
	ANEXO 2 TABLAS DE PROPIEDADES	42
	ANEXO 3 TABLAS DE FLUJO ISENTROPICO.....	46
	ANEXO 4 TABLAS DE ONDA DE CHOQUE NORMAL	53
	ANEXO 5 TENSOR DE TENSIONES, EC. DE CONTINUIDAD, NAVIER-STOKES.....	58
	Bibliografía:.....	59

I. Guía de Ejercicios Nº 1 “Características Básicas de los Fluidos”

Ejercicios

1. Un bloque de aluminio se desplaza por un plano inclinado cubierto con una película de aceite de espesor “e”. Siendo las dimensiones del bloque: a = 0.1 m, b = 0.2 m, c (profundidad) = 0.1 m y la densidad del aluminio $\rho = 2700 \text{ Kg/m}^3$.

Determine:

- a) El espesor de la película de aceite si el bloque cae a una velocidad $\bar{V} = 3 \text{ m/s}$ por un plano inclinado un ángulo $\alpha = 30^\circ$. Asuma un perfil lineal de velocidad y una viscosidad absoluta $\mu = 0.2 \text{ N}\cdot\text{s/m}^2$.

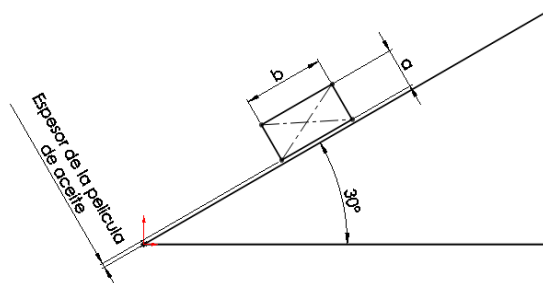


Figura 1

2. Dos superficies planas de grandes dimensiones están separadas 25 mm y el espacio entre ellas está lleno con un fluido cuya viscosidad absoluta $\mu = 0.1 \frac{\text{N}\cdot\text{s}}{\text{m}^2}$. Suponiendo que el gradiente de velocidades es lineal, determine:

- a) Que fuerza se requiere para arrastrar una placa de muy poco espesor y de 40 dm^2 de área, a la velocidad constante de $\bar{V} = 32 \text{ cm/seg}$, que dista 8 mm de una de las superficies.



Figura 2

3. Dado un viscosímetro rotacional se le aplica un par $T = 1.8 \text{ N}\cdot\text{m}$ que lo hace girar a 300 RPM constantes. Siendo las dimensiones del viscosímetro $L = 0.4 \text{ m}$, $R_e = 0.1215 \text{ m}$ y $R_i = 0.12 \text{ m}$. Determine:

- a) La viscosidad absoluta del aceite que se encuentra en el interior del viscosímetro. Asuma un perfil lineal de velocidad y que no hay una película de aceite en la base del cilindro que se encuentra girando.

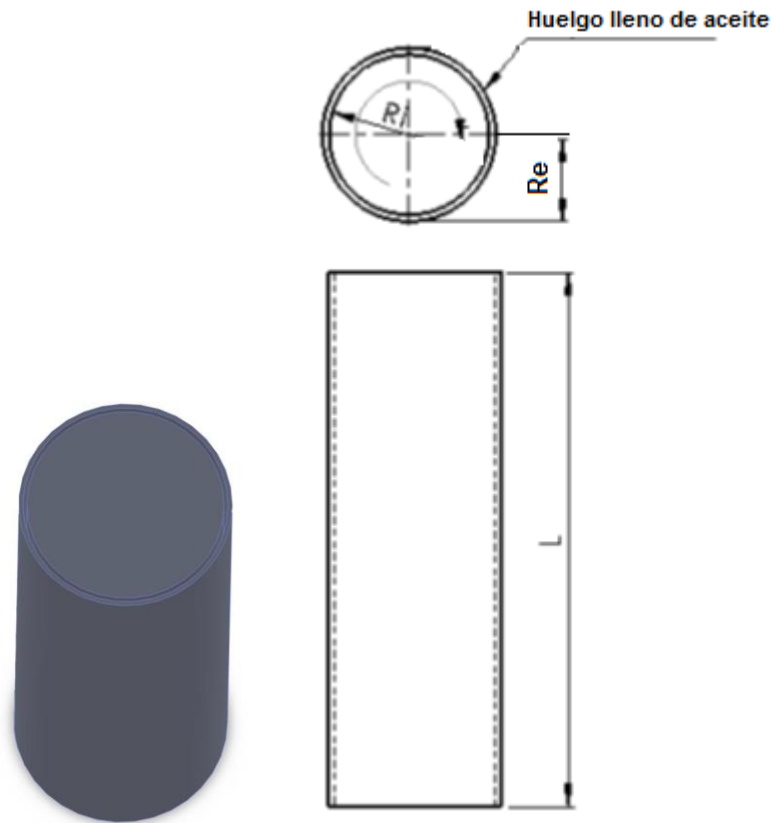


Figura 3

4. En el viscosímetro de la figura la masa de 2 Kg. Desciende con una $\bar{V} = 0.28 \frac{m}{s}$. Desprecie las tensiones de corte en la base del cilindro.

Determine:

- a) El valor de la viscosidad absoluta en Poise que contiene el espacio entre los cilindros si se registran los datos de la figura (dimensiones de la figura en milímetros). Asuma un perfil lineal de velocidad y que no hay una película de aceite en la base del cilindro que se encuentra girando girando.

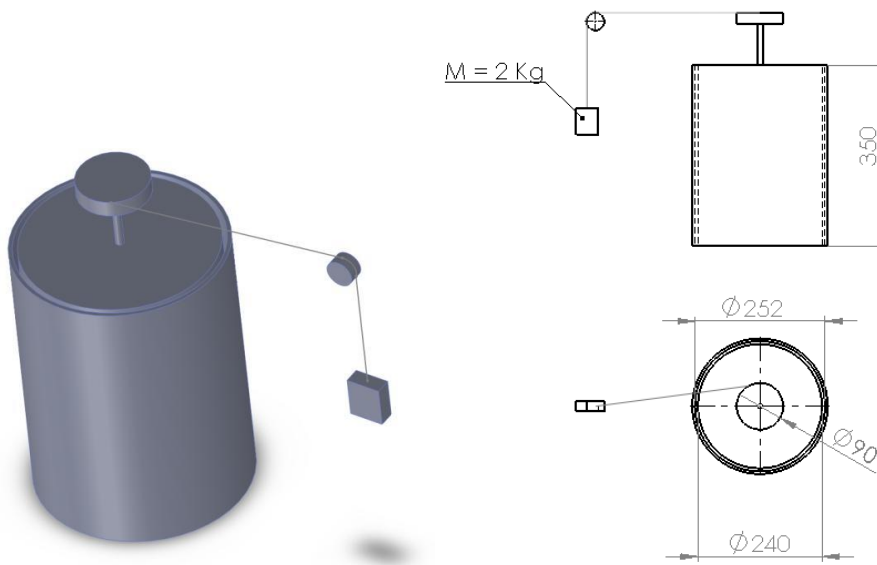


Figura 4

5. Un cono con un ángulo $2\cdot\theta$ se encuentra girando en su asiento cónico el cual se encuentra lleno de aceite con una viscosidad absoluta $\mu = 0.002 \frac{Kg\cdot s}{m^2}$. Las dimensiones del cono son $H = 10$ cm, huelgo con su asiento cónico $e = 0.25$ cm, radio de base $R = 5$ cm y distancia entre la base y su asiento cónico $e_2 = 0.2$ cm.

Aplicando el principio de superposición, determine:

- a) El torque a aplicar para hacer rotar el cono a una velocidad angular constante $\omega = 60$ RPM. Asuma un perfil lineal de velocidad. Asuma un perfil lineal de velocidad y que no hay una película de aceite en la base del cono que se encuentra girando.

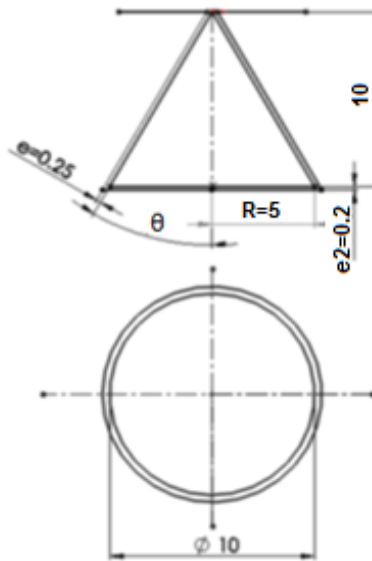


Figura 5

6. Un cono de ángulo $2\cdot\theta = 90^\circ$ se encuentra girando en su asiento cónico el cual se encuentra lleno de aceite con una viscosidad absoluta $\mu = 0.025 \frac{Kg\cdot s}{m^2}$. El cono tiene una masa $M = 300$ gr., el huelgo con su asiento es $e = 0.5$ cm, el radio de la base $R = 12$ cm, la velocidad angular de giro $\omega = 60$ RPM y el momento de inercia del cono es $I = \frac{3}{10} \cdot M \cdot R^2$.

Determine:

- a) El tiempo necesario para que el cono se detenga.

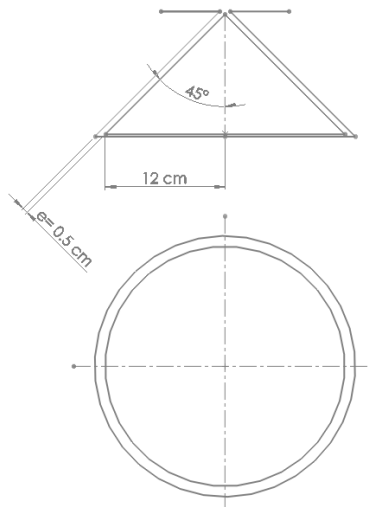


Figura 6

7. Se tiene un neumático de un automóvil que se encuentra a una temperatura $T = 25^\circ\text{C}$ y una presión manométrica $P_m = 210 \text{ KPa}$.

$$R_{\text{aire}} = 0.287 \frac{\text{KPa} \cdot \text{m}^3}{\text{Kg} \cdot \text{K}}, \text{ Vol} = 0.025 \text{ m}^3$$

Determine:

- La presión manométrica si al rodar la temperatura se incrementa en 25°C .
- Determine la masa de aire a retirar del neumático para volver a tener una presión manométrica $P_m = 210 \text{ KPa}$.



Tire
25°C
210 kPa

Figura 7

8. La densidad del agua de mar al nivel de su superficie libre, donde la presión es de 98 kPa es aproximadamente $1.030 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$, tomando el coeficiente de compresibilidad del agua de mar en $2.34 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$.

Determine:

- La densidad a 2500 metros de profundidad.

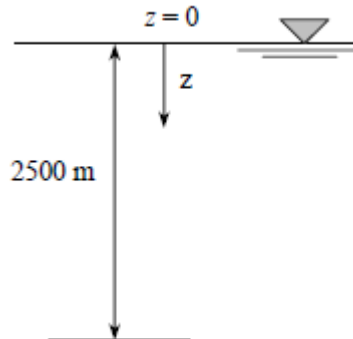


Figura 8

9. Dado un bloque de 50 cm x 30 cm x 20 cm con un Peso = 150 N que se mueve a una velocidad constante de $0.8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ por un plano inclinado con un coeficiente de fricción $f = 0.27$.

Determine:

- La fuerza a aplicar al bloque en la dirección horizontal para mantener la velocidad de desplazamiento.
- Determine el porcentaje de reducción de esa fuerza si existe una película de aceite en la base del bloque de un espesor de 0.4 mm y una viscosidad absoluta de $\mu = 0.012 \text{ Pa} \cdot \text{s}$

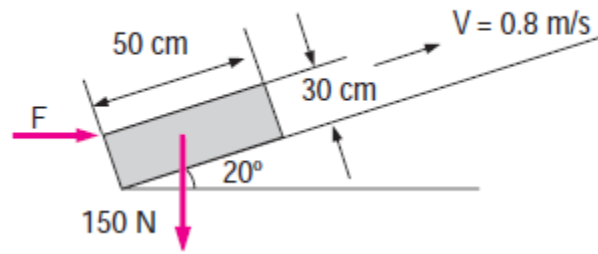


Figura 9

10. A través de un conducto de sección circular y longitud L , fluye agua con el siguiente perfil de velocidades $u = u_{max} \cdot (1 - \frac{r^n}{R^n})$.

Determine:

- La expresión de la fuerza ejercida por el fluido sobre las paredes del ducto en la dirección del flujo.

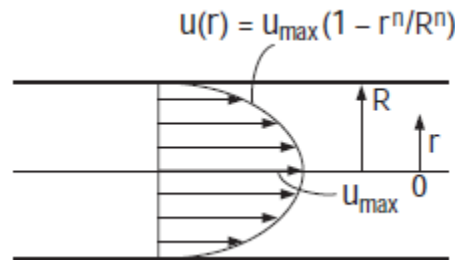


Figura 10

11. Una placa plana delgada de 20×20 cm es empujada a una velocidad $V = 1 \frac{m}{s}$ a través de una película de aceite de 3.6 mm de espesor entre dos placas, una fija y otra en movimiento. La placa en movimiento se mueve a una velocidad $V_w = 0.3 \frac{m}{s}$ en sentido opuesto a la placa sumergida en el aceite. La viscosidad absoluta del aceite es $\mu = 0.027 Pa \cdot s$

Determine:

- La fuerza necesaria a aplicar sobre la placa para mantener el movimiento.
- El punto en el perfil de velocidad donde la velocidad es cero.

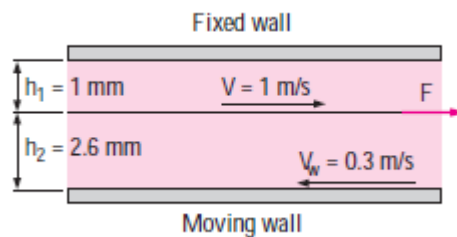


Figura 11

12. Un cuerpo cónico se encuentra rotando sobre una película de aceite SAE 10 W, de espesor 1.2 mm y viscosidad absoluta $\mu = 0.1 Pa \cdot s$ a $20^\circ C$, la cual lo separa de su asiento cónico.

Determine:

- Determine la potencia necesaria para mantenerlo girando a $200 \frac{rad}{s}$

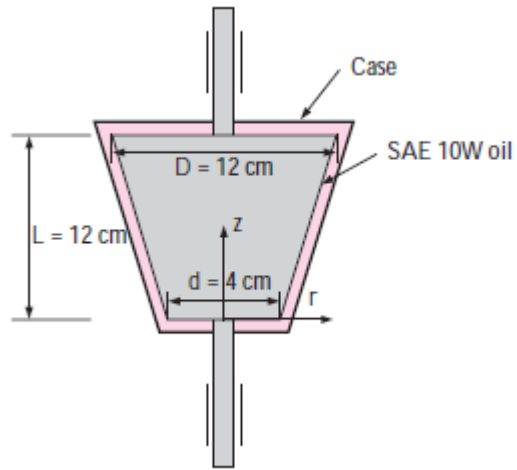


Figura 12

13. Una esfera de radio $r = 15$ cm gira dentro de un asiento esférico el cual posee un hueco $e = 0.25$ mm entre el mismo y la esfera completamente lleno de aceite con una viscosidad absoluta $\mu = 0.027 \text{ Pa} \cdot \text{s}$

Determine:

- El par necesario a aplicar sobre el eje de la esfera para mantenerla girando a una velocidad angular $\omega = 60 \text{ RPM}$ constante.

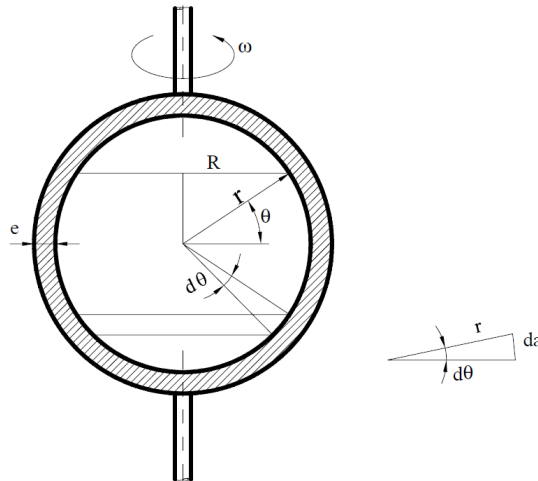


Figura 13

II. Guía de Ejercicios Nº 2 “Cinemática de Fluidos”

1. Determine si el campo de velocidades dado es:

- a) Incompresible.
- b) Irrotacional

$$V = 3ti + xzj + ty^2k$$

2. Dado el campo de velocidades del ejercicio anterior.

Determine:

- a) El campo de aceleración.

3. Dado el campo de velocidades para flujo estacionario, bidimensional e incompresible.

$$\vec{V} = (u, v) = (U_0 + bx)\vec{i} - by\vec{j}$$

Determine:

- a) El campo de aceleración.

4. Dado el campo de velocidades para flujo estacionario, bidimensional e incompresible.

$$\vec{V} = (u, v) = (1 + 2.5x + y)\vec{i} + (-0.5 - 1.5x - 2.5y)\vec{j}$$

Determine:

- a) El valor de la aceleración para el punto $x = 2$ m, e $y = 3$ m.

5. Dado el campo de velocidades para flujo estacionario, bidimensional e incompresible.

$$\vec{V} = (u, v) = (0.5 + 1.2x)\vec{i} + (-2.0 - 1.2y)\vec{j}$$

Determine:

- a) Arme una grilla de 0 a 5 m en la dirección x , y de 0 a 6 m en la dirección y y calcule los módulos y dirección de los vectores velocidad para cada punto y verifique las mismas con la Figura 14.
- b) Arme una grilla de 0 a 5 m en la dirección x , y de 0 a 6 m en la dirección y y calcule los módulos y dirección de los vectores aceleración para cada punto y verifique las mismas con la Figura 15.

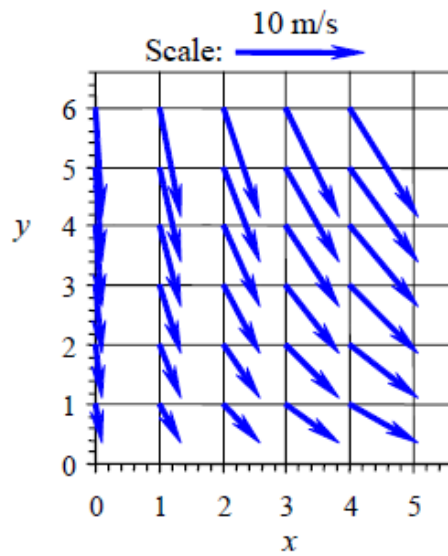


Figura 14 Campo de velocidades

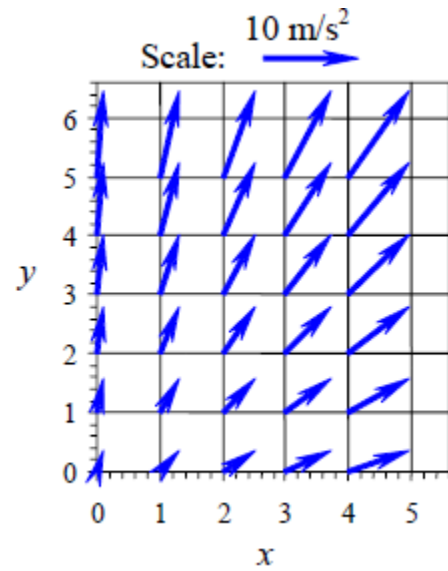


Figura 15 Campo de aceleracion

6. Dado el campo de velocidades para flujo estacionario, bidimensional e incompresible.

$$\vec{V} = (u, v) = (0.5 + 1.2x)\vec{i} + (-2.0 - 1.2y)\vec{j}$$

Determine:

- a) La ecuación de la stream line (línea de corriente) y verifique las mismas con la Figura 16.

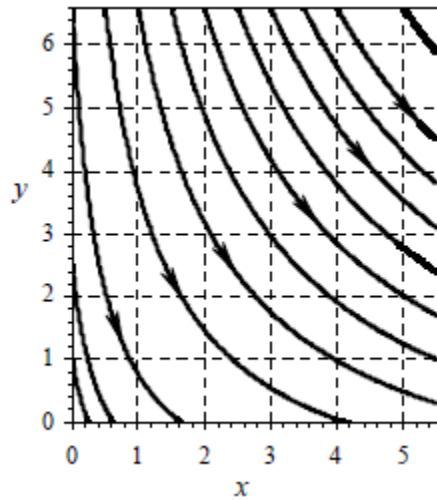


Figura 16 Stream Line

7. A bajas velocidades el flujo por el interior de un tubo circular muy largo tiene una distribución parabólica

$$u = u_{max} \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)$$

Donde R es el radio del tubo y U_{max} la velocidad máxima que se alcanza en el eje.

Determine:

- Una expresión general para el caudal volumétrico y la velocidad media
- Calcular el caudal volumétrico si $R=3$ cm y $u_{max} = 8 \frac{m}{s}$.
- Calcular el caudal másico si $\rho = 1000 \frac{Kg}{m^3}$.

8. Una cierta distribución ideal de velocidad viene dada por:

$$u = \frac{x}{1+t} \quad ; \quad v = \frac{y}{1+2t}$$

Determine:

- Calcule y dibuje las líneas de corriente, senda y traza en el instante $t=0$ pasando por el punto (x_0, y_0, z_0) .

9. Dado un fluido de densidad constante e incompresible que fluye por un canal convergente con una altura media de $Y = \frac{Y_0}{\left(1 + \frac{x}{L}\right)}$, y una velocidad en la dirección x de $u = u_0 \left(1 + \frac{x}{L}\right) \left[1 - \left(\frac{y}{Y}\right)^2\right]$

Determine:

- Velocidad transversal
- Aceleración lineal
- Velocidad Angular
- Vorticidad

- e) Velocidad de deformación volumétrica
- f) Velocidad de deformación angular

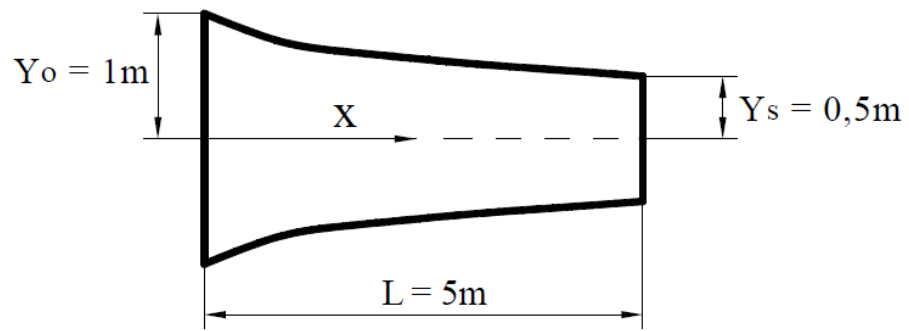


Figura 17

III. Guía de Ejercicios Nº 3 “Estática de Fluidos”

1. Un depósito de sección cuadrada con las dimensiones de la figura, posee un nivel de agua $H_0 = 1.5 \text{ m}$. Si se desplaza verticalmente hacia abajo dicho depósito a una aceleración $a = 5 \text{ m/s}^2$, determine:
- a) La fuerza sobre el fondo del recipiente.

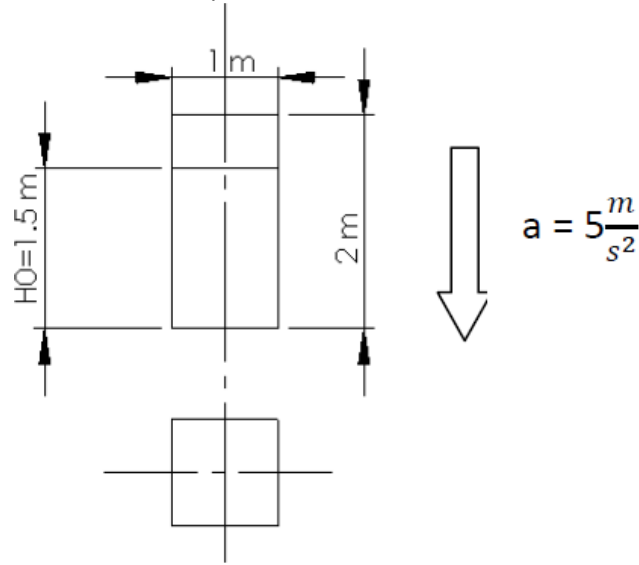


Figura 18

2. Dado un recipiente cubico de masa $m = 350 \text{ Kg}$ que contiene agua con un nivel $H_0 = 0.9 \text{ m}$ y siendo las dimensiones del recipiente las de la figura. Determine:
- a) Cual debe ser la altura del depósito para que no rebalse agua cuando se aplica una fuerza para desplazar el recipiente de $F = 1060 \text{ Kg}$.
- b) Qué valor tiene la fuerza que actúa sobre la pared donde la profundidad es mayor.
- c) La diferencia de presión entre el punto A y el punto C.
- d) La presión en el punto B

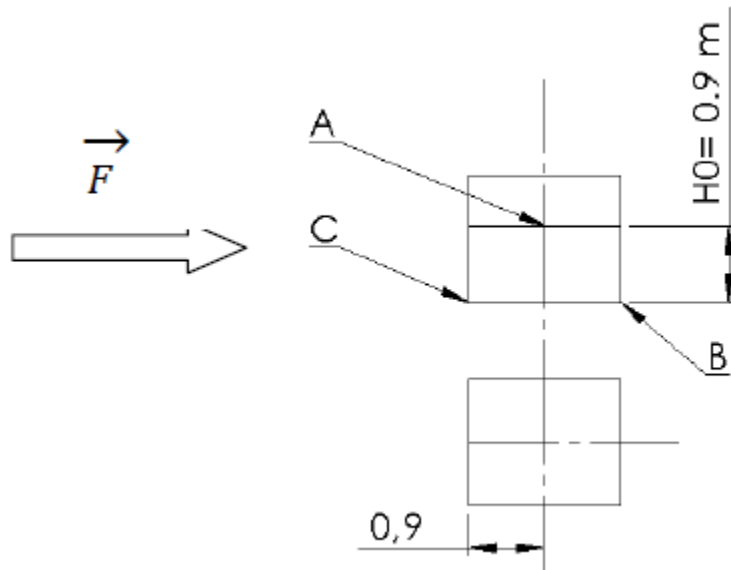


Figura 19

3. Determine con los datos del problema anterior cual sería el volumen derramado si la altura del depósito es de 1 m.
4. Un depósito abierto de 2 m de altura y 1 m de diámetro contiene 1.5 m de agua. Si el cilindro gira alrededor de su eje geométrico. Determine:
 - a) Que velocidad angular ω puede alcanzar sin que se derrame agua.
 - b) Cual es la presión en el fondo del depósito en los puntos C y D si la velocidad es $\omega = 6 \frac{rad}{s}$

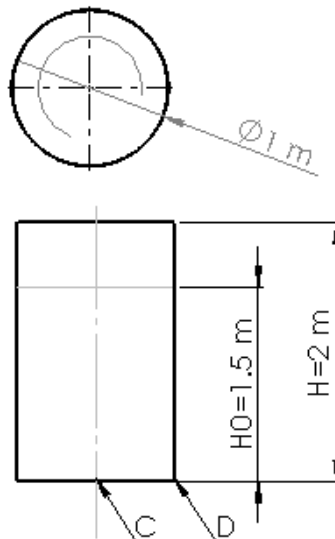


Figura 20

5. Un depósito cilíndrico de 120 cm de diámetro y 180 cm de profundidad se llena de agua y se hace girar a 60 RPM.
 Determine:
 a) El volumen de agua derramada
 b) La profundidad en el eje

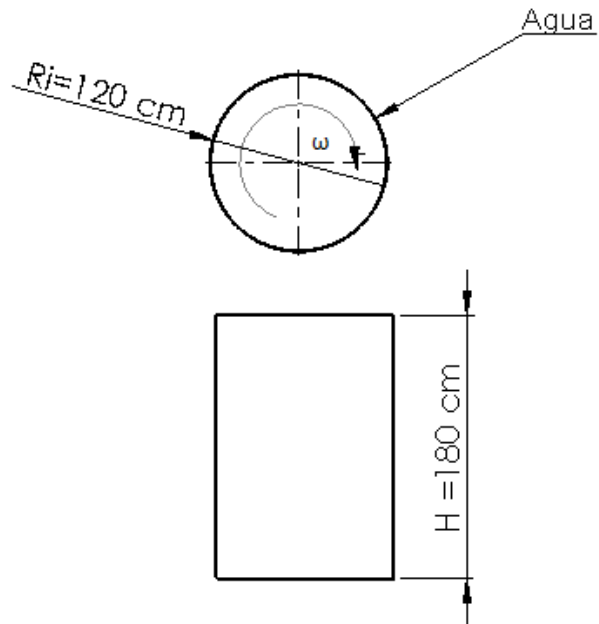


Figura 21

6. Considere un depósito cilíndrico cerrado donde la presión sobre la superficie es igual a $P_0 = 1.09 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$. Cuando el depósito gira a una velocidad angular $\omega = 12 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$. Determine:
 a) Cual es la presión en los puntos C y D.

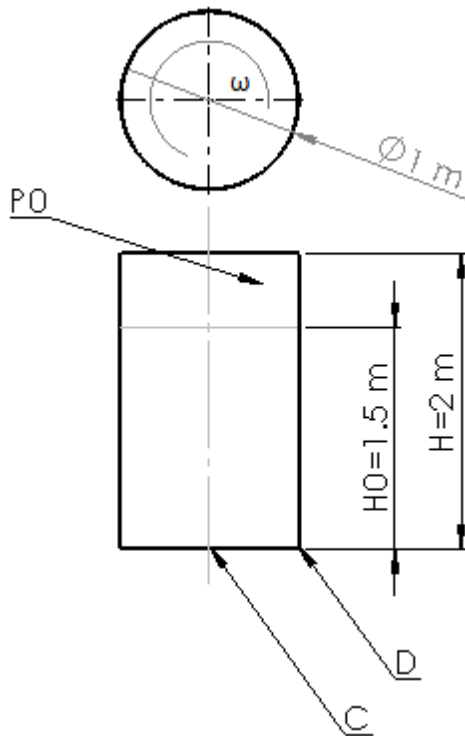


Figura 22

7. Un depósito cilíndrico cerrado de 2 m de altura y 1 m de diámetro contiene 1.5 m de agua. Si el depósito gira a un velocidad angular $\omega = 20 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$. Determine:
- El área del fondo del depósito que queda al descubierto
8. Un cilindro sólido con una longitud de 1.5 m y radio de 0.9 m articulado en el punto A se utiliza como una compuerta automática, como se observa en la figura 1. Cuando el nivel del agua llega a una altura de 8 m, la compuerta se abre girando sobre el eje que pasa por el punto A. Siendo la fricción en la articulación despreciable y actuando la presión atmosférica en ambos lados, determine:
- La fuerza hidrostática que actúa sobre el cilindro y su línea de acción cuando la compuerta se abre.

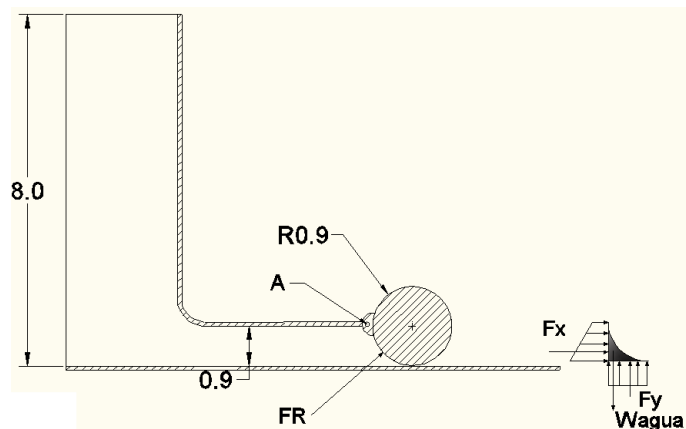


Figura 23

9. Una compuerta de 5 m de longitud con la forma de un cuarto de círculo de radio 3.5 m está articulada alrededor del punto A como puede apreciarse en la figura 2. La compuerta controla un flujo de agua sobre la línea de reborde en B, donde esta comprimida por el resorte. Siendo el peso de la compuerta despreciable, determine:
- a) La fuerza mínima necesaria del resorte que pueda mantener cerrada la compuerta cuando el nivel del agua llega hasta A.

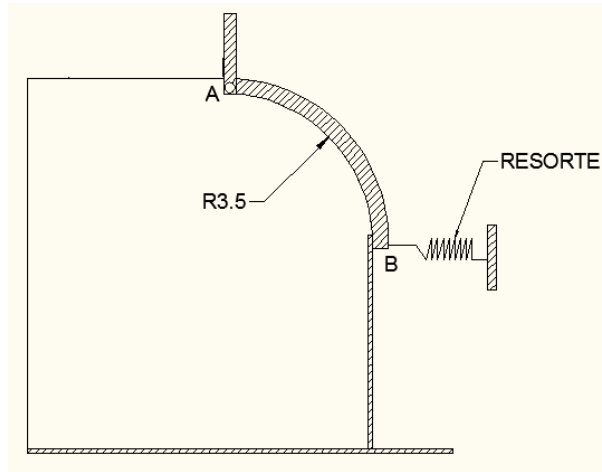


Figura 24

IV. Guía de Ejercicios N° 4 A “Principio de Conservación de la Energía”

1. Establecer la fórmula para determinar el tiempo de descenso del nivel de un líquido en un depósito cilíndrico de sección recta constante mediante un orificio según se muestra en la figura.

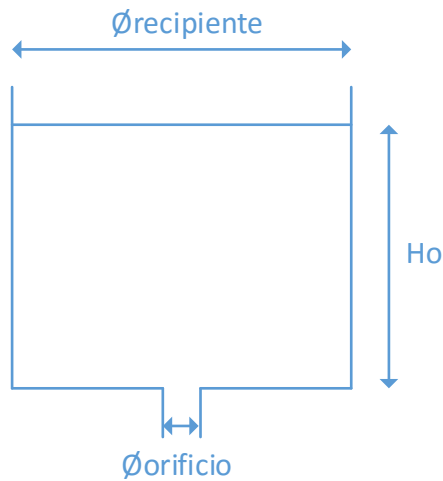


Figura 25

2. Un depósito abierto lleno de agua tiene la forma de un cono truncado con 2.4 m de diámetro en la base superior, 1,2 m de diámetro en la base inferior y 3 m de altura.

Determine:

- a) Cual debe ser el diámetro del orificio para que se vacíe el depósito en 6 minutos si la altura inicial es de 3 m.

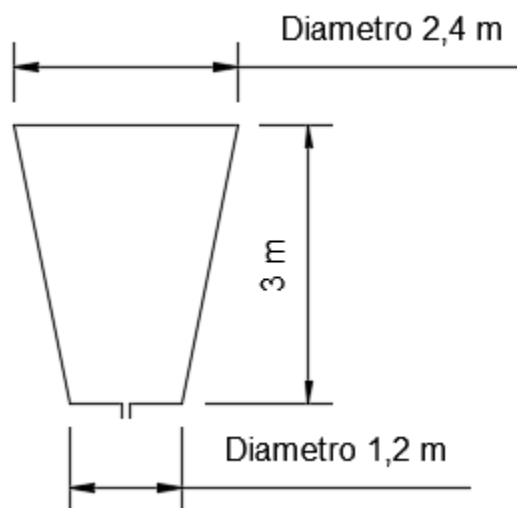


Figura 26

3. Un depósito esférico abierto como el de la figura tiene un nivel inicial de agua H . Determine:

- a) La expresión del tiempo de salida del agua para que esta descargue libremente.

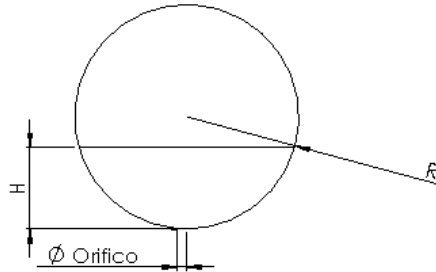


Figura 27

4. Un manómetro diferencial de dos fluidos, 1 y 2 se encuentra conectado en un extremo a una línea por la que circula aire a una presión de 76 KPa y a la $P_{atm}=100$ KPa en el otro extremo. La gravedad específica del fluido 1 es $SG_1= 13.55$.

Determine:

- a) La gravedad específica del fluido SG_2 .

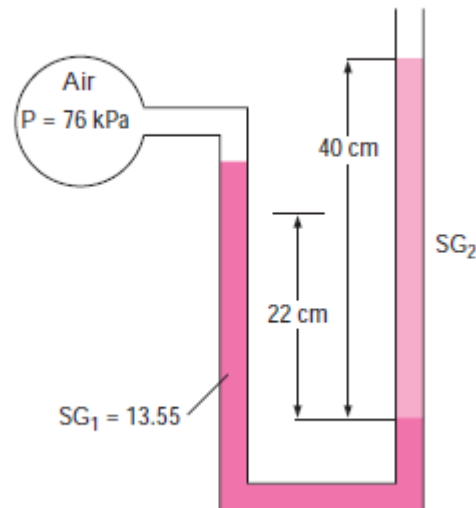


Figura 28

5. Un manómetro diferencial de dos fluidos, Mercurio y glicerina, se encuentra conectado en un extremo a una línea por la que circula agua y a una línea por la que circula Aceite en el otro extremo. La densidades relativas son $SG_{H_2O}=1$, la $SG_{Hg}=13.5$, $SG_{oil} = 0.88$ y $SG_{Glicerina} = 1.26$.

Determine:

- a) La diferencia de presión entre las líneas de aire y aceite.

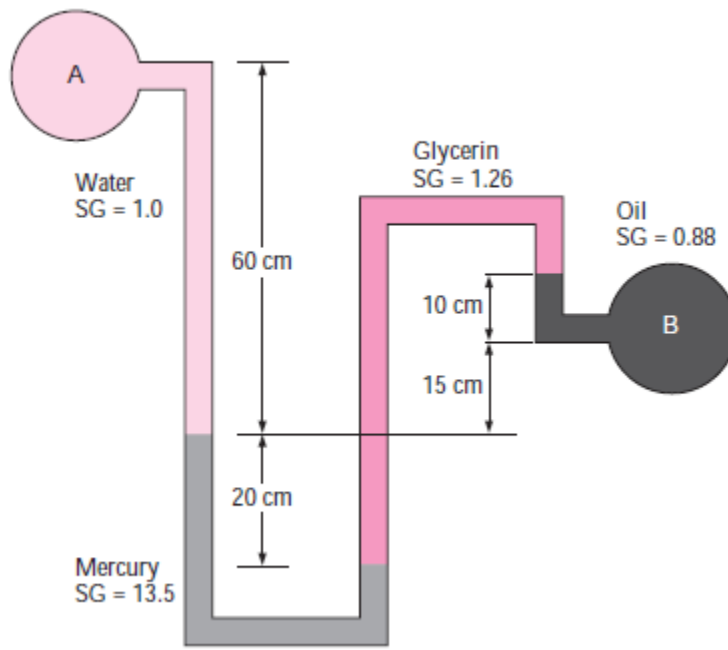


Figura 29

6. Dado el tubo Venturi de la figura por el cual circula agua. Si el manómetro diferencial que se encuentra conectado al tubo Venturi contiene mercurio. Determine:
- El caudal de agua.

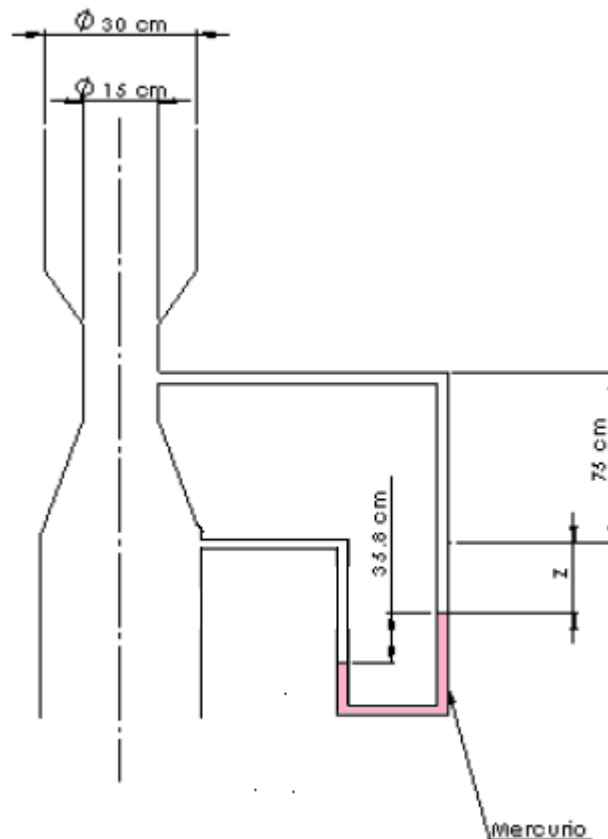


Figura 30

7. En una planta hidroeléctrica fluye agua hacia la misma desde una elevación de 120 m, con un caudal volumétrico $Q=100 \frac{m^3}{s}$. La pérdida de carga total desde la entrada de la cañería hasta la planta hidroeléctrica es $h_L = 35 m$.

Determine:

- a) La energía eléctrica generada por la planta si el rendimiento del generador es del 80 %.

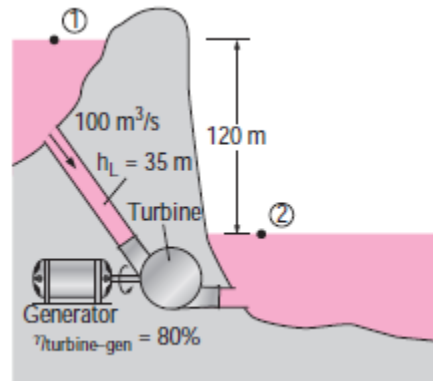


Figura 31

V. Guía de Ejercicios Nº 4 B “Aplicaciones Básicas de las Ecuaciones Indefinidas, Navier-Stokes y de los Principios de Conservación.”

1. La densidad del gas que fluye a través de un conducto de sección constante S y longitud X varía de acuerdo con la ley:

$$\rho = \rho_1 \left(1 - \frac{x}{2X} \right) \text{sen} \frac{v_1 t}{X} \quad \frac{X \pi}{v_1 2} > t \geq 0$$

$$0 \leq x \leq X$$

Determine:

- a) La diferencia entre el caudal másico entrante y saliente en función del tiempo.

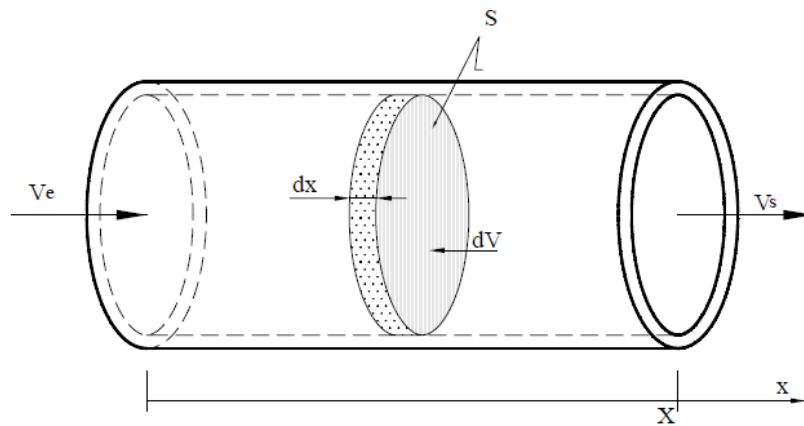


Figura 32

2. El agua que sale de una tobera fija incide sobre una placa plana con una presión de entrada absoluta de 120 kPa. La velocidad del agua que sale de la tobera es de $15 \frac{m}{s}$, el área de la tobera es $0,01 \text{ m}^2$. Suponiendo que el agua se dirige normal a la placa y que fluye a lo largo de la misma, Determine:

- b) La fuerza horizontal sobre el soporte.

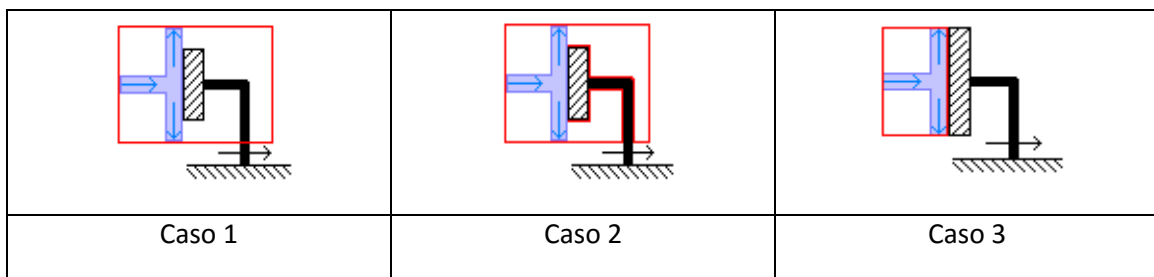


Figura 33

3. A través de un codo reductor de 90° fluye agua estacionariamente. En la entrada del codo la presión absoluta es de 221 kPa y el área de la sección transversal es de $0,01 \text{ m}^2$. En la salida el área de la sección transversal es $0,0025 \text{ m}^2$ y la velocidad $16 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. La presión en la salida es la atmosférica. Determine:
- a) La fuerza requerida para dejar fijo el codo considerando además, que el mismo tiene un volumen total de 15 litros.

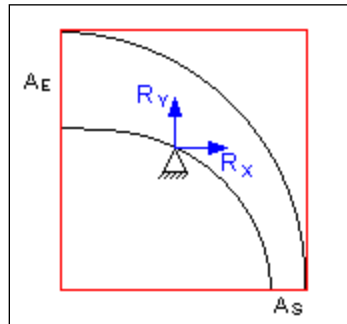


Figura 34

4. Se usa un codo de inversión para cambiar la dirección de flujo de agua que viene por un tubo horizontal en 180 grados. El caudal másico del flujo de agua es de $14 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$, mientras acelera al mismo tiempo. El codo descarga el agua hacia la atmosfera. El área de la sección transversal del codo es de 115 cm^2 a la entrada y de 10 cm^2 a la salida. La distancia de elevación entre los centros de las secciones de entrada y de salida es de 0.3 m. Siendo el peso del codo y del agua dentro del mismo despreciable, el flujo estacionario en reposo, los efectos de la fricción despreciables, y estando el agua descargando a la atmosfera, determine:
- a) Las fuerzas de anclaje necesarias para sostener el codo anclado en su lugar.

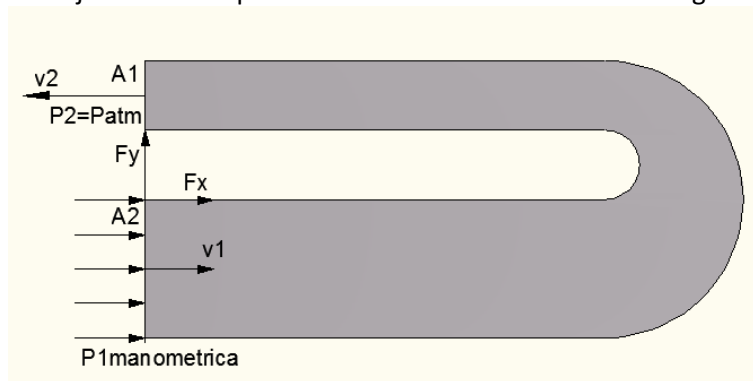


Figura 35

5. Un chorro de 10 cm de diámetro y a una velocidad de $30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ incide sobre un alabe móvil que lleva una velocidad de $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ en la misma dirección del chorro. La dirección de salida del alabe forma un ángulo de 150° con la entrada. Suponiendo que no existe rozamiento. Determine:
- a) Las componentes en las direcciones x e y de la fuerza sobre el alabe.

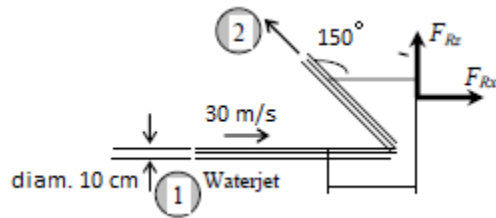


Figura 36

6. Un generador eólico con un diámetro de palas de 10 m tiene una magnitud de velocidad de incidencia del viento de $5 \frac{m}{s}$, velocidad a la cual la turbina genera 1.7 Kw de potencia eléctrica. Siendo el flujo del viento estacionario en reposo e incompresible, la eficiencia del turbogenerador independiente de la magnitud de la velocidad del viento, los efectos de la fricción despreciable, y la densidad del aire $1.225 \frac{Kg}{m^3}$, determine:
- La eficiencia de la unidad del generador eólico.
 - La fuerza horizontal ejercida por el viento sobre el mástil de soporte del generador eólico.

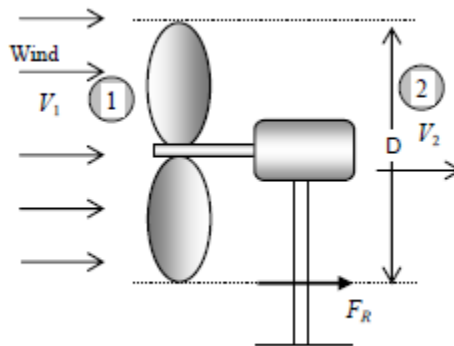


Figura 37

7. Un satélite en órbita posee una masa $m_s = 250 \text{ Kg}$ y una velocidad constante determinada $V_0 = 4000 \frac{m}{s}$. Para alterar su órbita posee un cohete que descarga un chorro de gases de masa $m_f = 0,2 \text{ Kg}$ provenientes de la combustión de combustibles sólidos a una velocidad $V_f = 5000 \frac{m}{s}$ relativa con respecto al satélite en una dirección opuesta a V_0 . La razón de descarga de combustible es constante durante 2 segundos. Siendo el flujo de los gases de la combustión estacionario en reposo y unidimensional en el transcurso del periodo de la combustión, inexistentes la presencia de fuerzas externas que actúen sobre el satélite, el efecto de la fuerza de presión en la salida de la tobera despreciable. Determine:
- La aceleración del satélite en el transcurso del periodo de 2 segundos.
 - El cambio de velocidad del satélite en el transcurso del periodo de 2 segundos.
 - El empuje ejercido sobre el satélite.

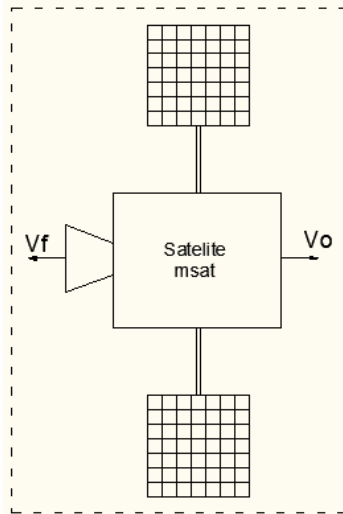


Figura 38

8. Se encuentra fluyendo agua con un caudal de $100 \frac{L}{min}$ a través de una llave sujeta por una brida que tiene un grifo son válvula de compuerta parcialmente cerrada. El diámetro interior del conducto en la ubicación de la brida es de 0.5 inches y la presión manométrica en ese lugar es de 0.9 atm. El peso del agua en el interior de la llave es de $0.3 \overrightarrow{Kg}$, mientras que el peso de la llave es de $1 \overrightarrow{Kg}$. Siendo el flujo estacionario en reposo e incompresible, el diámetro a la salida de la llave es igual al existente en la brida, determine:
- a) La fuerza neta sobre la brida.

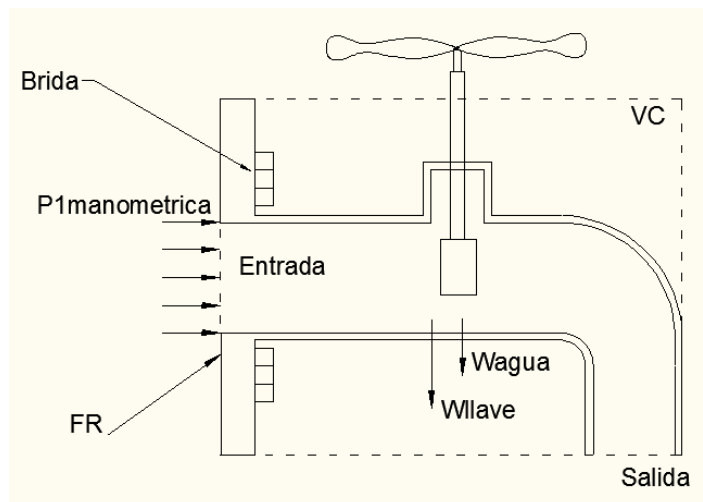


Figura 39

9. En la figura número 7 se observa un trípode que sostiene una boquilla que dirige un chorro de agua de 0.05 m de diámetro proveniente de una manguera. La masa de la boquilla llena de agua es de 10 Kg, el trípode puede suministrar una fuerza nominal de soporte de 1800 N. Un bombero se encuentra parado detrás de la boquilla y resulto golpeado por esta cuando el trípode fallo y soltó la boquilla. El alumno ha sido contratado para reconstruir el accidente y después de probar el trípode ha determinado que a medida que el flujo de agua aumento hizo caer al bombero a 1800 N. En su informe final el alumno debe dar la velocidad del agua y el flujo coherentes con la falla.

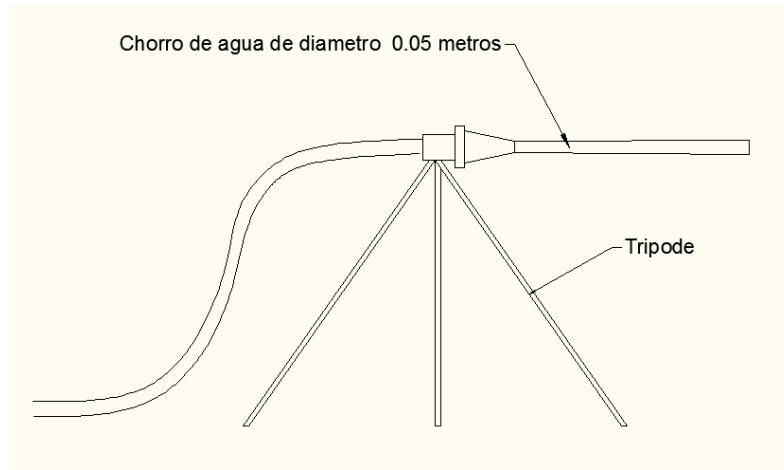


Figura 40

10. Un tanque de $0,05 \text{ m}^3$ de volumen contiene aire a 800 kPa (absolutos) y $15 \text{ }^\circ\text{C}$. En $t = 0$, el aire empieza a escapar del tanque a través de una válvula cuya sección es de 65 mm^2 . Allí mismo se registra una velocidad del flujo de $311 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, y una densidad de $6,13 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$. Las propiedades del resto del tanque pueden suponerse uniformes en cada instante.

Determine:

- a) En $t = 0$, la relación de cambio instantánea de la densidad en el tanque y el valor de la densidad de tanque.

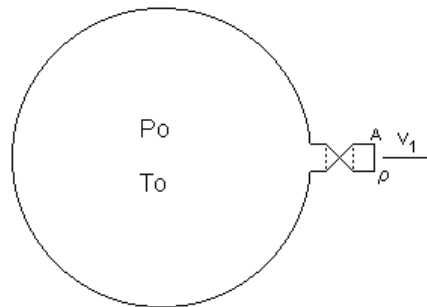


Figura 41

11. Un regador de jardín de tres bocas posee un torque resistivo de $T_0 = 50 \text{ N}\cdot\text{m}$, el caudal de agua que inyecta es $Q_{\text{vol}} = 40 \frac{\text{Litros}}{\text{s}}$, el diámetro de las boquillas es $\phi = 0.012 \text{ m}$, y el radio al que se encuentra el eje de las boquillas es $r = 40 \text{ cm}$

Determine:

- a) La velocidad angular ω a la que gira el regador.

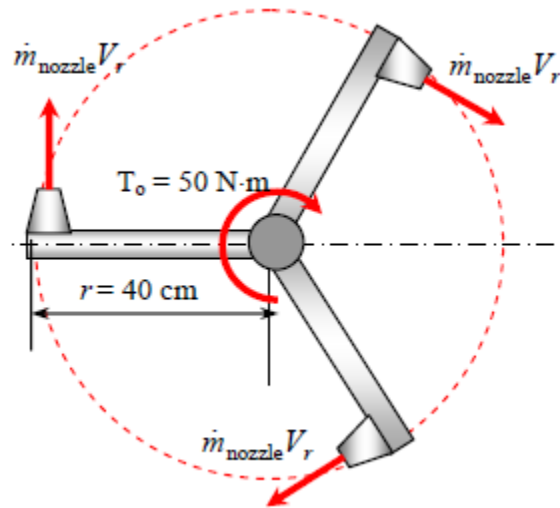


Figura 42

12. Considerando en un flujo de Couette totalmente desarrollado:

- Flujo Estacionario
- Flujo incompresible
- Flujo Laminar entre dos placas paralelas de dimensiones infinitas
- La placa superior se encuentra moviéndose a una velocidad V .
- La placa inferior se encuentra quieta.
- La distancia entre las dos placas es h .
- La gravedad actúa en la dirección negativa del eje Z (hacia adentro de esta página, Figura 43).
- No hay otra presión aplicada que la presión hidrostática

Determine:

- a) El campo de velocidades
- b) El campo de presiones
- c) Las tensiones de corte actuantes en la placa inferior.

Nota: Para resolver el problema aplique los siguientes pasos:

Paso 1: Plantee el problema identificando la geometría y dimensiones

Paso 2: Haga una lista de todas las hipótesis, simplificaciones y condiciones de contorno. En este problema asuma las siguientes hipótesis:

1. **Placas infinitas en las direcciones X y Z .**
2. **Flujo Estacionario**
3. **Flujo paralelo. Asumimos componente en Y de la velocidad $v=0$**
4. **Flujo newtoniano incompresible y laminar**
5. **La presión es constante a lo largo de X . El flujo se da como producto de las tensiones de corte, no por diferencial de presión a lo largo de x , el cual es nulo.**
6. **El flujo es netamente bidimensional, asumiendo que cualquier derivada de la velocidad con respecto a z es cero. Y que $w=0$.**
7. **La componente de la gravedad solo actúa en la dirección de Z negativo.**

Paso 3: Simplifique las ecuaciones diferenciales de continuidad y Navier-Stokes

Paso 4: Integre las ecuaciones diferenciales

Paso 5: Aplique las condiciones de borde y determine las constantes de integración.

Paso 6: Verifique los resultados

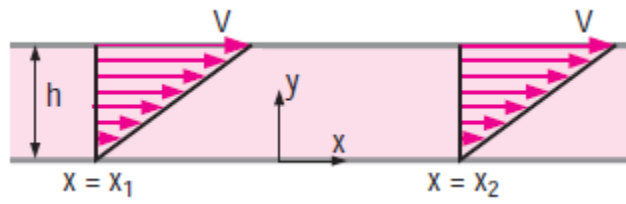


Figura 43

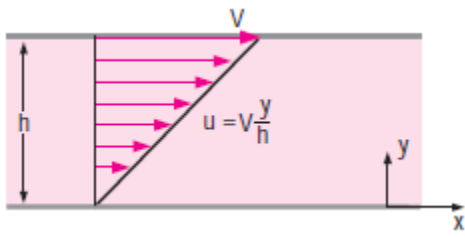


Figura 44

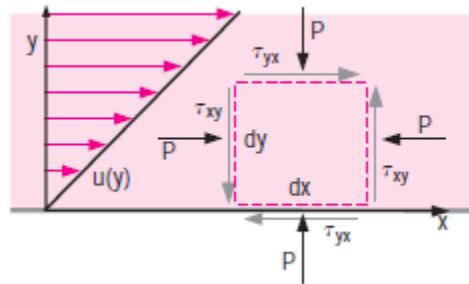


Figura 45

Solucion:

- $u = \frac{y}{h} V$
- $P = P_0 - \rho g z$
- $\frac{\vec{F}}{A} = \mu \frac{V}{h} \vec{t}$

VI. Guía de Ejercicios N° 6 “Perdida de Carga”

1. Determine la expresión de la velocidad a la salida del conducto de longitud L y diámetro D .

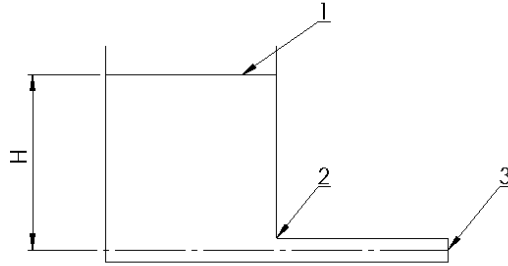


Figura 46

2. Por un ducto circular recto de diámetro 0.3 m y longitud $L=400\text{m}$ circula un caudal volumétrico $Q = 1000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ de fuel oil de peso específico $\gamma = 940 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$, $\mu = 0.18 \frac{\text{Kg}\cdot\text{s}}{\text{m}^2}$.

Determine:

- a) Perdida de carga por unidad de longitud
 - b) La caída de presión
 - c) La resistencia opuesta al escurrimiento en un tramo de 400 m
3. Dada una cañería lisa por la cual se conduce un caudal volumétrico $Q = 5 \frac{\text{L}}{\text{s}}$ de aceite, cuyo peso específico es igual a $\gamma = 900 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$, la viscosidad cinemática $\nu = 1.5 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$ y la longitud de la cañería $L = 300\text{ m}$. Si la pérdida de carga es $\Delta_h = 6.6\text{ m}$,

Determine:

- a) El diámetro de la cañería
4. Por un ducto liso de diámetro 0.1 m circula un caudal volumétrico de agua $Q = 10 \frac{\text{L}}{\text{s}}$ a $20\text{ }^\circ\text{C}$.
Determine:
 - a) Perdida de carga para un recorrido de 250 m
 - b) Verificar el punto a) utilizando el diagrama de Moody

5. Por una tubería lisa de sección circular de longitud $L = 150\text{ m}$ circula aire caliente a una presión $P = 1\text{ atm}$, una temperatura $T = 35\text{ }^\circ\text{C}$, un caudal volumétrico $Q = 0.35 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$. La pérdida de carga dada con los parámetros anteriores es $\Delta_h = 20\text{ m}$.

Determine:

- a) El diámetro de la cañería
6. Si se tienen dos depósitos de sección circular de diferentes alturas, conectados por una tubería con una rugosidad relativa $\frac{\epsilon}{\phi} = 0.0052$, y por la cual circula un caudal volumétrico $Q = 0.006 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ de

agua. Teniendo en cuenta la acción de las curvas de la cañería y los accesorios de la misma.
 Determine:

- El nivel necesario en el depósito Z1 para que sea posible la circulación de agua con el caudal volumétrico dado.
- La pérdida de carga en la cañería.

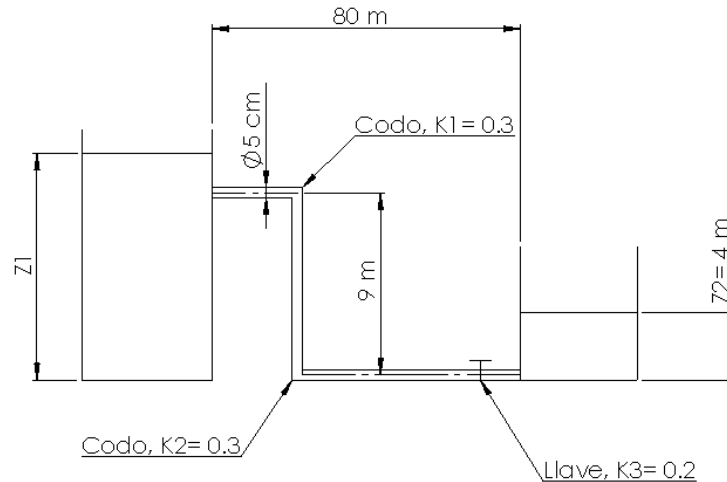


Figura 47

- Se tiene una bomba eléctrica con un rendimiento $\eta = 0.7$ que recolecta agua de la superficie de un río para enviarla a un tanque que se encuentra a 12 ft de altura. La cañería que conecta la bomba con el tanque tiene una longitud $L = 125$ ft y un $\phi = 5$ ", por la cañería el agua circula con un caudal volumétrico $Q_{vol} = 1.5 \frac{ft^3}{s}$, a una temperatura de 70 °F, una $\rho = 62.3 \frac{lbm}{ft^3}$, $\mu = 6.556 \times 10^{-6} \frac{lbm}{ft \cdot s}$. La cañería tiene tres codos a 90° con unos $K_L = 0.3$ y el coeficiente de pérdida de carga en accesorio a la entra del ducto es $K_1 = 0.3$. La rugosidad de la cañería es $\epsilon = 0.0005$ ft. La velocidad del agua en la superficie del río es de $v = 6 \frac{ft}{s}$ y la presión es la atmosférica.

Determine:

- La potencia eléctrica a suministrar a la bomba para mantener el caudal volumétrico constante.

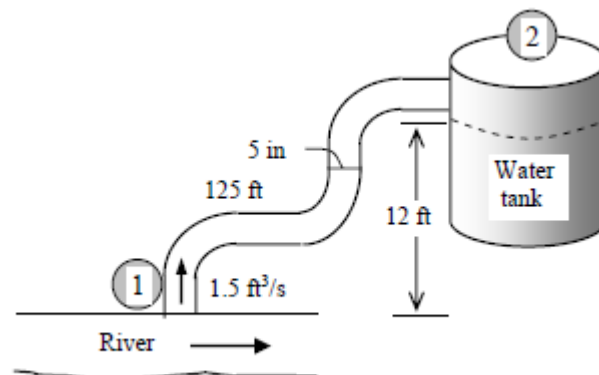


Figura 48

k

8. Se desea impulsar agua a 20 °C mediante una bomba a través de una tubería de hierro fundido de acuerdo al esquema de la figura. El caudal volumétrico de salida es $Q = 0.001 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$, los coeficientes de pérdida de carga para los estrechamientos de la cañería son $K_0=0.3$ y $K_1=1.1$, la viscosidad absoluta $\mu = 1.002 \times 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}$, rugosidad relativa $\frac{\epsilon}{\phi} = 0.0052$, diámetro de la cañería 0.04 m.

Determine:

- La presión en m de columna de agua que debe entregar la bomba.
- La potencia en Hp necesaria para el motor de la bomba si esta tiene un rendimiento de la bomba es $\eta = 0.7$.

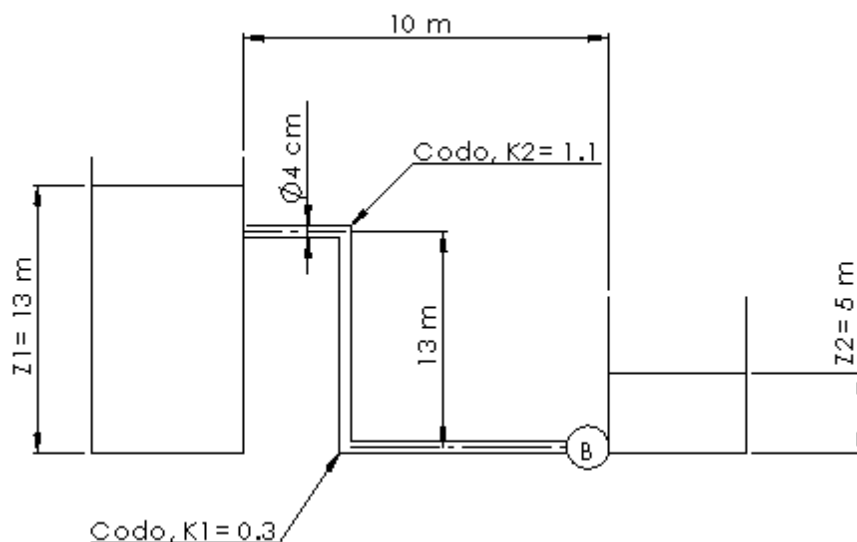


Figura 49

9. Por una tubería de sección circular de diámetro $\phi = 6$ cm y longitud $L = 50$ cm circula petróleo a una temperatura $T = 20$ °C ($\rho = 888 \frac{\text{Kg}}{\text{sm}^3}$, viscosidad absoluta $\mu = 0.800 \frac{\text{Kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}$). La presión a la entrada y salida de la tubería miden 745 y 97 KPa.

Determine:

- La pérdida de carga de la cañería si la cañería esta horizontal
- La pérdida de carga de la cañería si la cañería esta inclinada 20° hacia arriba
- La pérdida de carga de la cañería si la cañería esta inclinada 20° hacia abajo

VII. Guía de Ejercicios Nº 7 “Flujo Compresible Isentrópico Unidimensional”

1. En un conducto de sección constante $A = 0.01 \text{ m}^2$, fluye aire isentrópicamente a $T = 283 \text{ °K}$ y $P = 6895 \text{ Pa}$. Calcule todos los parámetros del flujo si la velocidad del flujo de aire es:
 - a. $V = 61 \text{ m/s}$
 - b. $V = 610 \text{ m/s}$
2. En el extremo de un conducto de descarga de un tanque fluye aire a cierta velocidad. Encuentre y grafique una expresión para la velocidad de salida del flujo en función de la temperatura ($V_s = f(T_s)$). ¿Existe un límite para esta velocidad? ¿Y para la temperatura, la presión y el Nº de Mach?
3. A través de una tobera convergente divergente cuya sección de salida es 0.001 m^2 , fluye aire isotrópicamente. La tobera alimenta desde un gran depósito donde las condiciones de estancamiento son 350 K y 1.0 MPa (absoluto). La presión de salida es 954 KPa (absoluta) y el número de Mach en la garganta es 0.68 . Se determinaran las condiciones de flujo en la garganta y el número de mach a la salida.

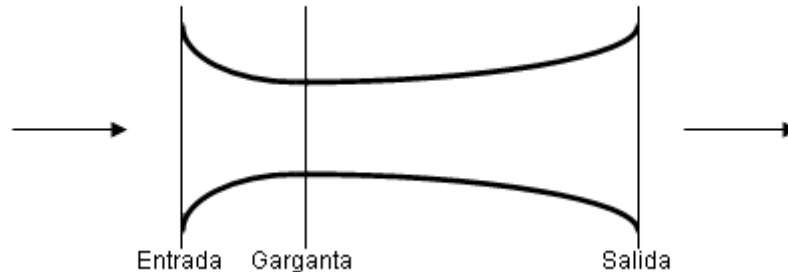


Figura 50

4. A través de una tobera convergente divergente fluye aire isotrópicamente. La tobera alimenta desde un gran depósito donde la presión de estancamiento es 100 atmosferas. Siendo el número de Mach de diseño de 1.75 , determine:
 - a. La presión a la salida de la tobera para que el flujo se encuentre en el límite 1, tobera saturada.
 - b. La presión a la salida de la tobera para que el flujo se encuentre en la condición de diseño, tobera adaptada.
 - c. El rango de presión a la salida de la tobera para que haya una onda de choque normal en el canal divergente de la tobera, régimen 2.

VIII. Guía de Ejercicios N° 8 “Bombas y Neumática”

- Para una operación de lavado de una planta de electricidad se necesita un caudal volumétrico $Q = 370 \frac{\text{galones}}{\text{min}}$. La carga hidrostática neta es de alrededor de 24 ft para este caudal. Un ingeniero recién contratado elige la bomba TACO modelo 4013 de la serie F1 de diámetro de rotor 8.25 in. Si la bomba opera a 1160 RPM como indica la gráfica de rendimiento determine:

- El rendimiento de la bomba utilizando la gráfica de rendimiento.
- Existe una bomba de la misma serie que entregue el mismo caudal pero posea un rendimiento mayor? Si es así, especifique el diámetro del rotor de esta y justifique la elección del ingeniero.

- Una bomba centrífuga se utiliza para succionar agua desde un recipiente. La entrada de la bomba se encuentra a $Z_2 = 2.2 \text{ m}$ por encima de la entrada de la cañería por donde se succiona el agua. La cañería es lisa, tiene una longitud $L = 2.8 \text{ m}$, un $\phi = 24 \text{ mm}$, y dos perdidas menores, una debido a la entrada a la misma $K_L = 0.85$ y un codo a 90° $K_L = 0.3$. La curva de carga neta de aspiración positiva necesaria provista por el fabricante es $\text{NPSH} = 2.2 \text{ m} + (0.0013 \frac{\text{m}}{(\frac{\text{L}}{\text{min}})^2}) \cdot Q_{\text{vol}}^2$.

$P_{\text{atm}} = 101.3 \text{ KPa}$. Para el agua a $T = 25^\circ \text{C}$, $\rho = 997 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$, $\mu = 8.91 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}$
Y presión de vapor $P_v = 3.169 \text{ KPa}$.

Determine:

- A partir de que caudal volumétrico ocurriría la cavitación.

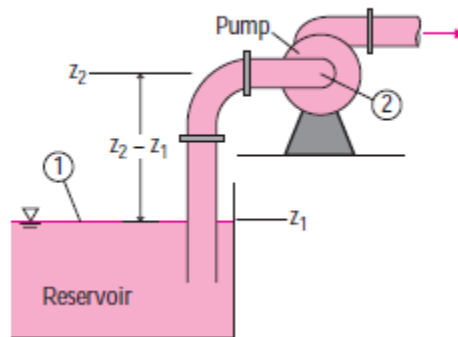


Figura 51

- Dada una bomba de la serie F1 modelo 4013 de TACO que bombea agua a 25°C desde un depósito que está a $Z_1 = 4 \text{ ft}$ de altura por arriba del eje central de admisión de la bomba centrífuga. El diámetro del rotor de la bomba es de 11.25 in. Hay varias perdidas de carga menores, una entrada de bordes agudos $K_1 = 0.5$, tres codos a 90 grados $k_2 = k_3 = k_4 = 0.3$ y una válvula globo $k_5 = 6$.

Dado:

Diámetro de la cañería = 4 in

$$M = 8.91 \times 10^{-4} \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$\frac{\varepsilon}{\phi} = 0.005$$

$$P_{\text{vapor del agua}} = 3.169 \text{ KPa}$$

$$\rho = 997 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Longitud de la cañería = 10.5 ft

Determine:

a) Si el caudal volumétrico es $Q = 400 \frac{\text{galones}}{\text{min}}$ si la bomba cavita

b) Evalúe que sucedería con respecto a la cavitación si la temperatura del agua fuera superior, por ejemplo 60°C .

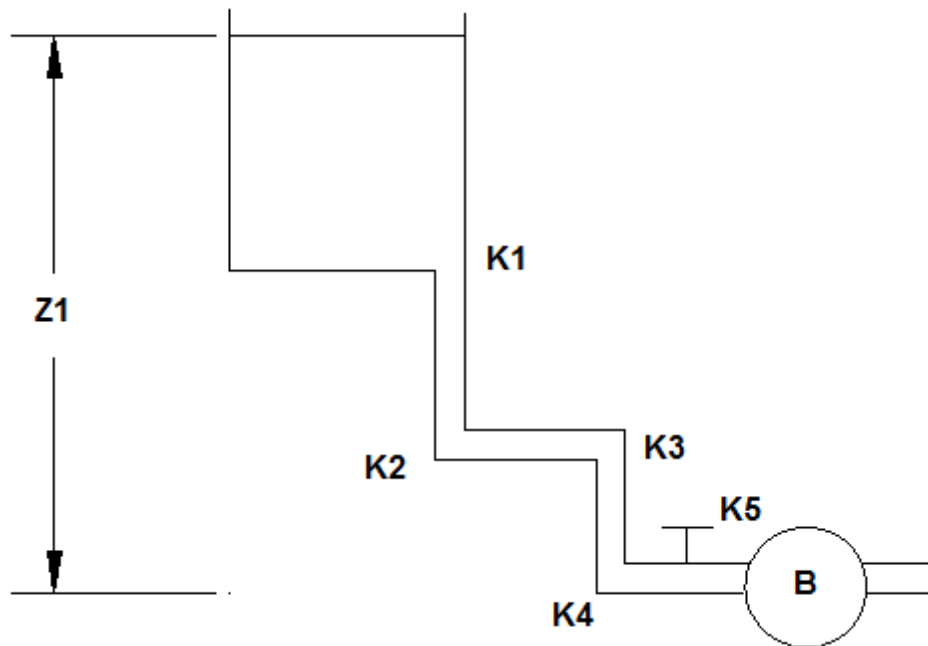


Figura 52

ANEXO I DIAGRAMAS

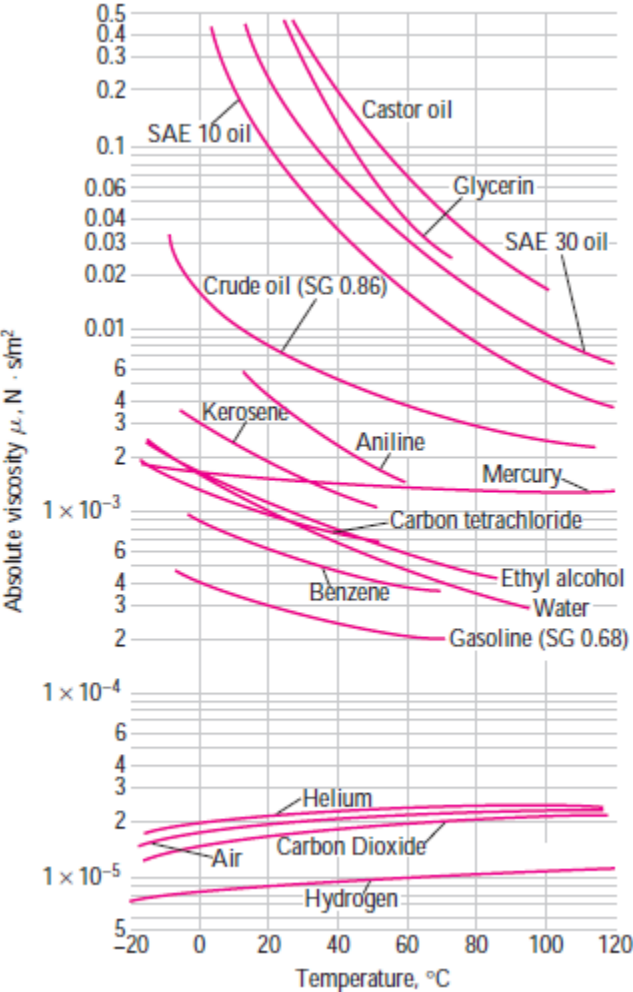
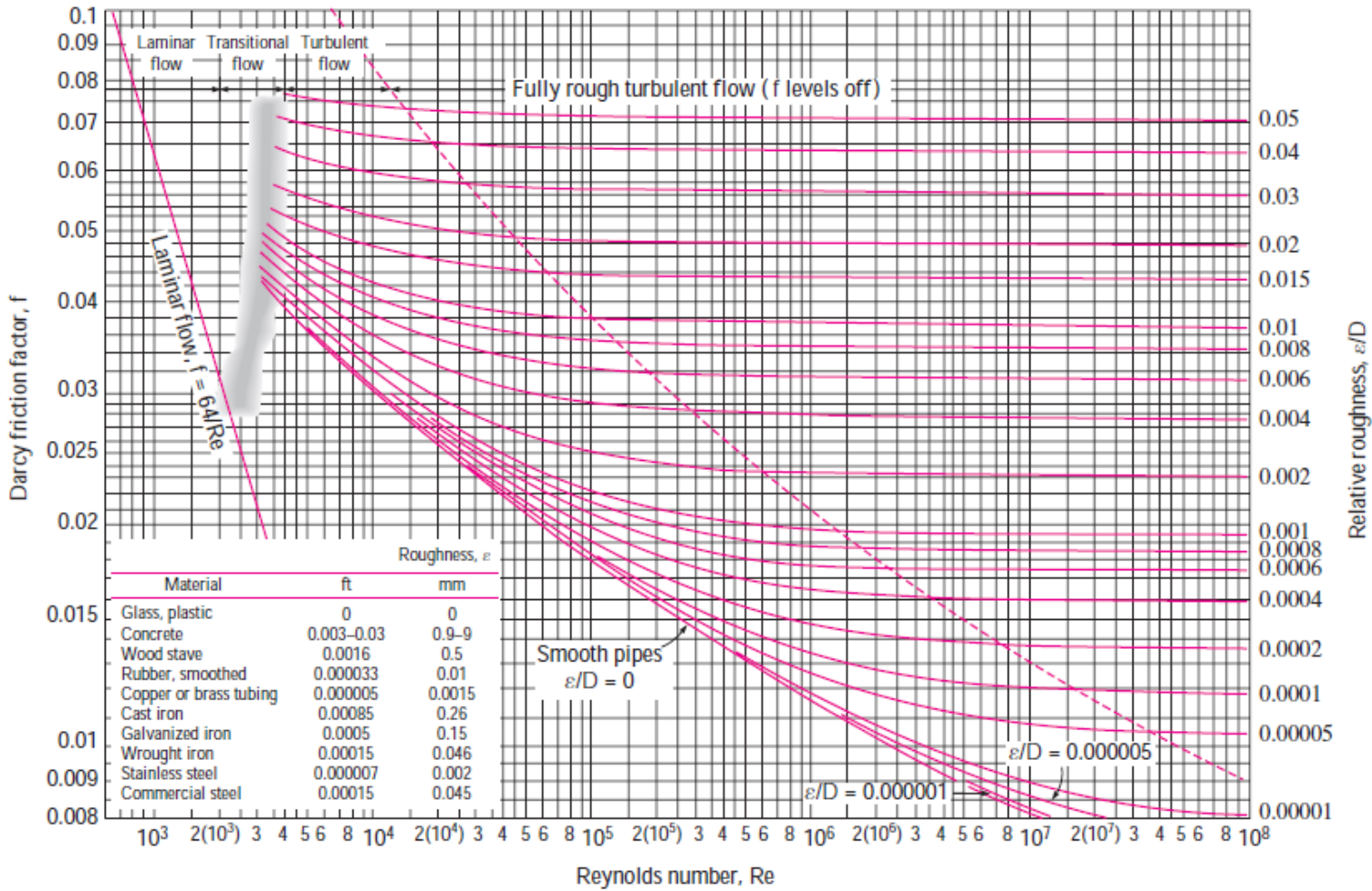


Figure 1 Viscosidad absoluta como función de la temperatura

Figure 2 Diagrama de Moody



The Moody chart for the friction factor for fully developed flow in circular pipes for use in the head loss relation $h_L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$. Friction factors in the turbulent flow are evaluated from the Colebrook equation $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$.

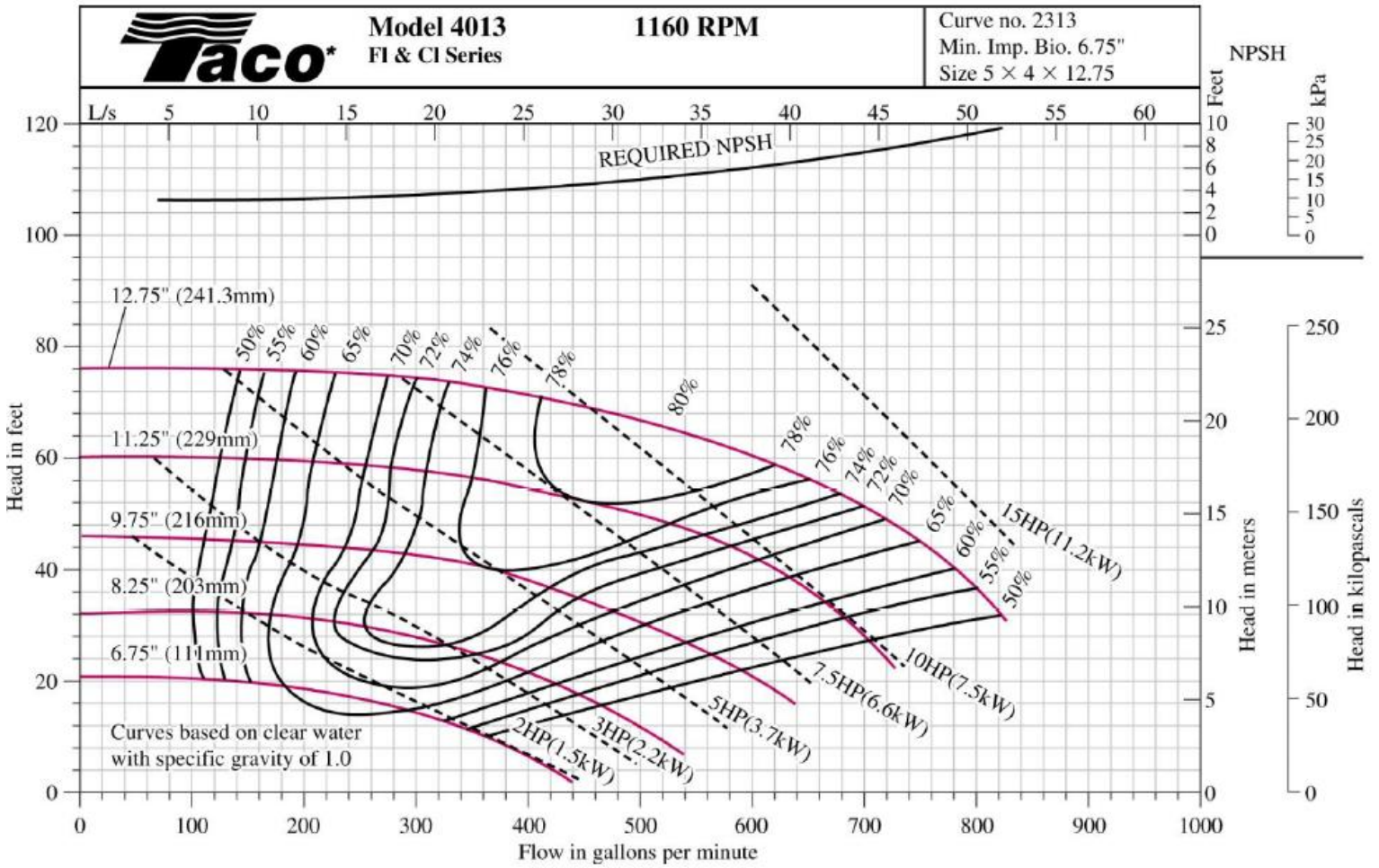


Figure 3 Curvas de Rendimiento de la familia de bombas TACO Modelo 4013

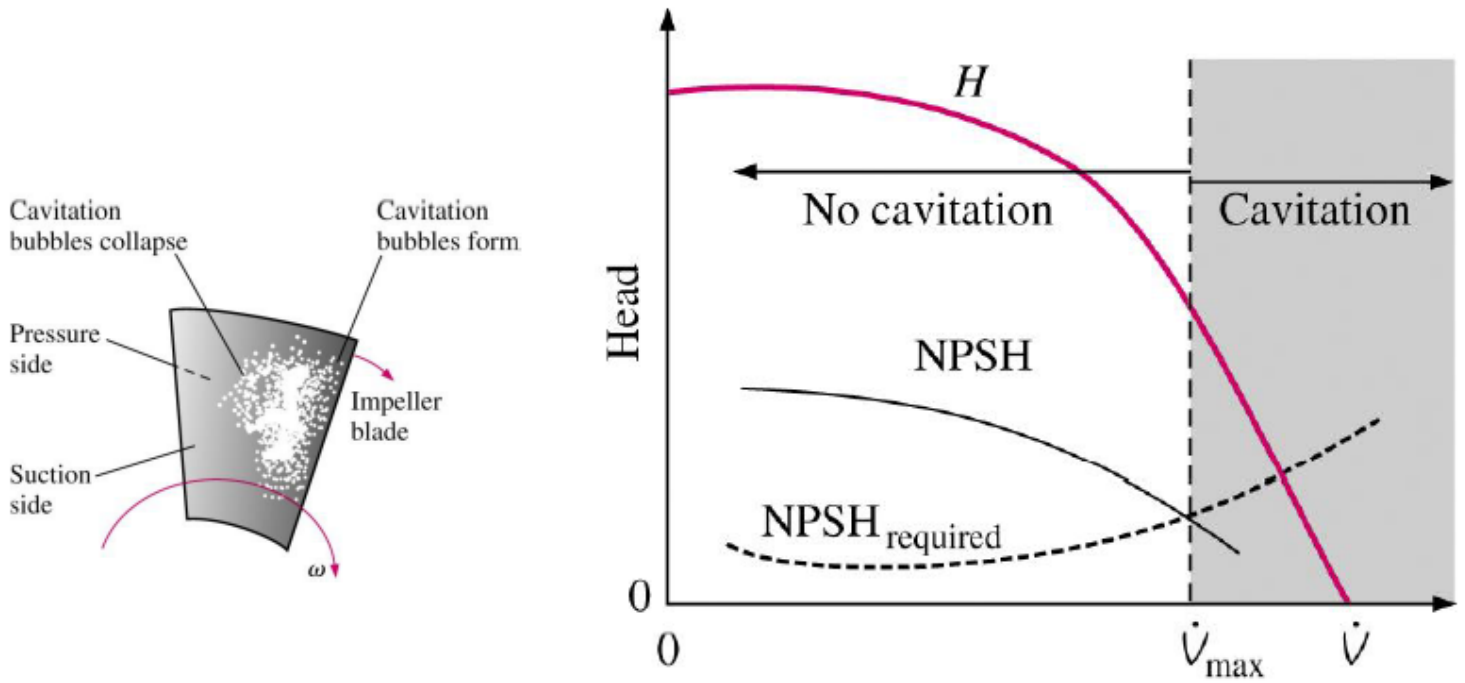


Figure 4 Curvas de carga de aspiración de una bomba

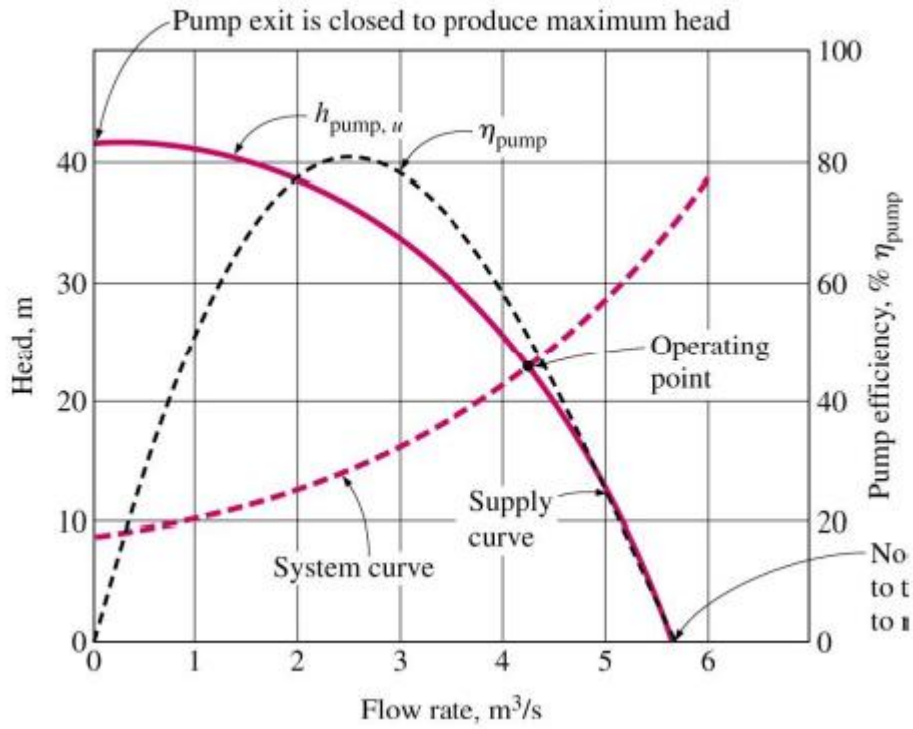
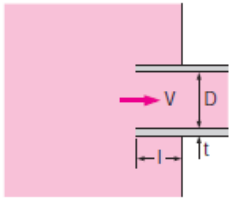


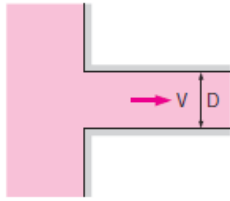
Figure 5 Curvas de Rendimiento de una bomba

Pipe Inlet

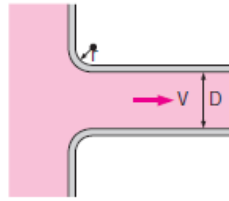
Reentrant: $K_L = 0.80$
 ($t \ll D$ and $l \approx 0.1D$)



Sharp-edged: $K_L = 0.50$

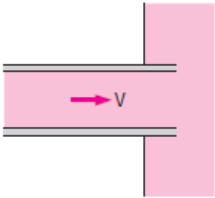


Well-rounded ($r/D > 0.2$): $K_L = 0.03$
 Slightly rounded ($r/D = 0.1$): $K_L = 0.12$
 (see Fig. 8-36)

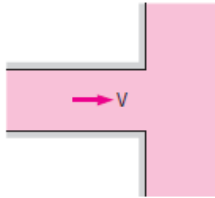


Pipe Exit

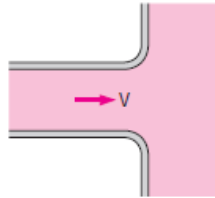
Reentrant: $K_L = \alpha$



Sharp-edged: $K_L = \alpha$



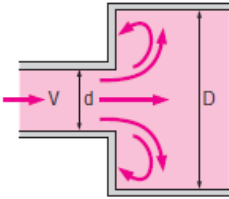
Rounded: $K_L = \alpha$



Note: The kinetic energy correction factor is $\alpha = 2$ for fully developed laminar flow, and $\alpha = 1$ for fully developed turbulent flow.

Sudden Expansion and Contraction (based on the velocity in the smaller-diameter pipe)

Sudden expansion: $K_L = \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2$



Sudden contraction: See chart.

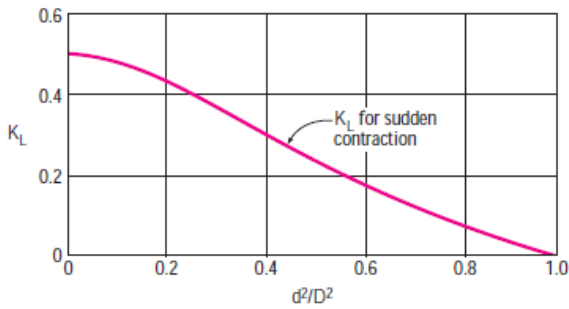
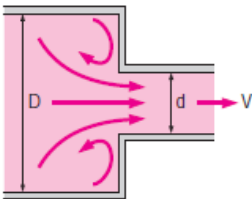


Figura 53 Factores de perdida de carga menores para entradas filosas y suavizadas

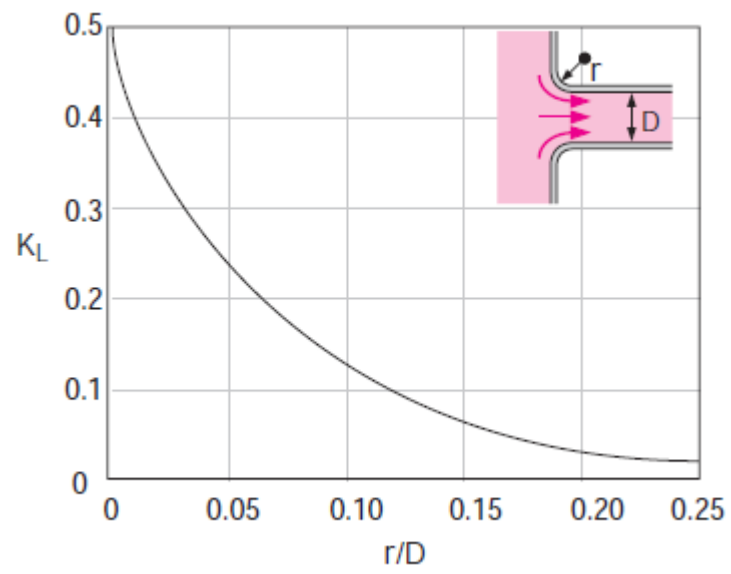
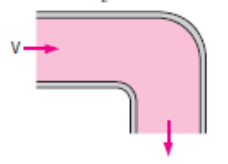
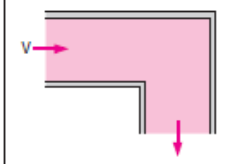
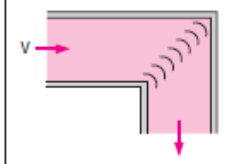
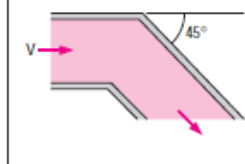
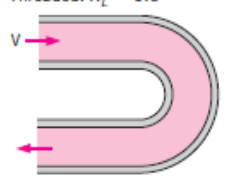
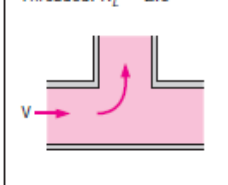
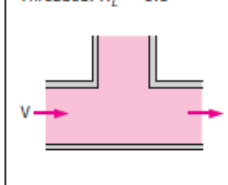
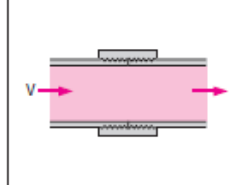


Figura 54 Factor de perdida de carga menor para entrada no filose en funcion de sus radios

<p>Bends and Branches 90° smooth bend: Flanged: $K_L = 0.3$ Threaded: $K_L = 0.9$</p> 	<p>90° miter bend (without vanes): $K_L = 1.1$</p> 	<p>90° miter bend (with vanes): $K_L = 0.2$</p> 	<p>45° threaded elbow: $K_L = 0.4$</p> 
<p>180° return bend: Flanged: $K_L = 0.2$ Threaded: $K_L = 1.5$</p> 	<p>Tee (branch flow): Flanged: $K_L = 1.0$ Threaded: $K_L = 2.0$</p> 	<p>Tee (line flow): Flanged: $K_L = 0.2$ Threaded: $K_L = 0.9$</p> 	<p>Threaded union: $K_L = 0.08$</p> 

Valves

Globe valve, fully open: $K_L = 10$	Gate valve, fully open: $K_L = 0.2$
Angle valve, fully open: $K_L = 5$	$\frac{1}{2}$ closed: $K_L = 0.3$
Ball valve, fully open: $K_L = 0.05$	$\frac{1}{4}$ closed: $K_L = 2.1$
Swing check valve: $K_L = 2$	$\frac{3}{4}$ closed: $K_L = 17$

* These are representative values for loss coefficients. Actual values strongly depend on the design and manufacture of the components and may differ from the given values considerably (especially for valves). Actual manufacturer's data should be used in the final design.

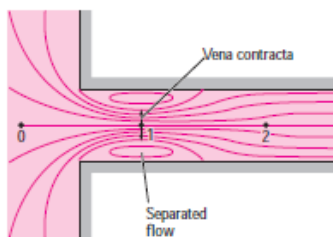
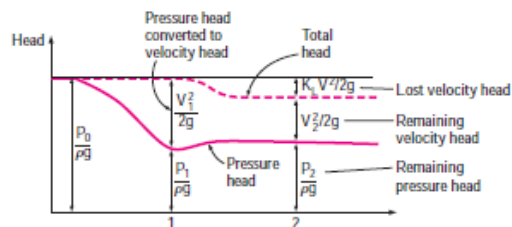


Figura 55 Factores de pérdida de carga menores para algunos accesorios

ANEXO 2 TABLAS DE PROPIEDADES

Tabla 1 masa molar, constante R, cp y cv de algunas sustancias

Molar mass, gas constant, and Ideal-gas specific heats of some substances

Substance	Molar Mass <i>M</i> , kg/kmol	Gas Constant <i>R</i> , kJ/kg · K*	Specific Heat Data at 25°C		
			<i>c_p</i> , kJ/kg · K	<i>c_v</i> , kJ/kg · K	<i>k</i> = <i>c_p</i> / <i>c_v</i>
Air	28.97	0.2870	1.005	0.7180	1.400
Ammonia, NH ₃	17.03	0.4882	2.093	1.605	1.304
Argon, Ar	39.95	0.2081	0.5203	0.3122	1.667
Bromine, Br ₂	159.81	0.05202	0.2253	0.1732	1.300
Isobutane, C ₄ H ₁₀	58.12	0.1430	1.663	1.520	1.094
<i>n</i> -Butane, C ₄ H ₁₀	58.12	0.1430	1.694	1.551	1.092
Carbon dioxide, CO ₂	44.01	0.1889	0.8439	0.6550	1.288
Carbon monoxide, CO	28.01	0.2968	1.039	0.7417	1.400
Chlorine, Cl ₂	70.905	0.1173	0.4781	0.3608	1.325
Chlorodifluoromethane (R-22), CHClF ₂	86.47	0.09615	0.6496	0.5535	1.174
Ethane, C ₂ H ₆	30.070	0.2765	1.744	1.468	1.188
Ethylene, C ₂ H ₄	28.054	0.2964	1.527	1.231	1.241
Fluorine, F ₂	38.00	0.2187	0.8237	0.6050	1.362
Helium, He	4.003	2.077	5.193	3.116	1.667
<i>n</i> -Heptane, C ₇ H ₁₆	100.20	0.08297	1.649	1.566	1.053
<i>n</i> -Hexane, C ₆ H ₁₄	86.18	0.09647	1.654	1.558	1.062
Hydrogen, H ₂	2.016	4.124	14.30	10.18	1.405
Krypton, Kr	83.80	0.09921	0.2480	0.1488	1.667
Methane, CH ₄	16.04	0.5182	2.226	1.708	1.303
Neon, Ne	20.183	0.4119	1.030	0.6180	1.667
Nitrogen, N ₂	28.01	0.2968	1.040	0.7429	1.400
Nitric oxide, NO	30.006	0.2771	0.9992	0.7221	1.384
Nitrogen dioxide, NO ₂	46.006	0.1889	0.8060	0.6171	1.306
Oxygen, O ₂	32.00	0.2598	0.9180	0.6582	1.395
<i>n</i> -Pentane, C ₅ H ₁₂	72.15	0.1152	1.664	1.549	1.074
Propane, C ₃ H ₈	44.097	0.1885	1.669	1.480	1.127
Propylene, C ₃ H ₆	42.08	0.1976	1.531	1.333	1.148
Steam, H ₂ O	18.015	0.4615	1.865	1.403	1.329
Sulfur dioxide, SO ₂	64.06	0.1298	0.6228	0.4930	1.263
Tetrachloromethane, CCl ₄	153.82	0.05405	0.5415	0.4875	1.111
Tetrafluoroethane (R-134a), C ₂ H ₂ F ₄	102.03	0.08149	0.8334	0.7519	1.108
Trifluoroethane (R-143a), C ₂ H ₃ F ₃	84.04	0.09893	0.9291	0.8302	1.119
Xenon, Xe	131.30	0.06332	0.1583	0.09499	1.667

Tabla 2 Punto de ebullición y congelamiento de algunos fluidos

Boiling and freezing point properties

Substance	Boiling Data at 1 atm		Freezing Data		Liquid Properties		
	Normal Boiling Point, °C	Latent Heat of Vaporization h_{fg} , kJ/kg	Freezing Point, °C	Latent Heat of Fusion h_{if} , kJ/kg	Temperature, °C	Density ρ , kg/m ³	Specific Heat c_p , kJ/kg · K
Ammonia	-33.3	1357	-77.7	322.4	-33.3	682	4.43
					-20	665	4.52
					0	639	4.60
					25	602	4.80
Argon	-185.9	161.6	-189.3	28	-185.6	1394	1.14
Benzene	80.2	394	5.5	126	20	879	1.72
Brine (20% sodium chloride by mass)	103.9	—	-17.4	—	20	1150	3.11
<i>n</i> -Butane	-0.5	385.2	-138.5	80.3	-0.5	601	2.31
Carbon dioxide	-78.4*	230.5 (at 0°C)	-56.6	—	0	298	0.59
Ethanol	78.2	838.3	-114.2	109	25	783	2.46
Ethyl alcohol	78.6	855	-156	108	20	789	2.84
Ethylene glycol	198.1	800.1	-10.8	181.1	20	1109	2.84
Glycerine	179.9	974	18.9	200.6	20	1261	2.32
Helium	-268.9	22.8	—	—	-268.9	146.2	22.8
Hydrogen	-252.8	445.7	-259.2	59.5	-252.8	70.7	10.0
Isobutane	-11.7	367.1	-160	105.7	-11.7	593.8	2.28
Kerosene	204–293	251	-24.9	—	20	820	2.00
Mercury	356.7	294.7	-38.9	11.4	25	13,560	0.139
Methane	-161.5	510.4	-182.2	58.4	-161.5	423	3.49
					-100	301	5.79
					25	787	2.55
Methanol	64.5	1100	-97.7	99.2	25	787	2.55
Nitrogen	-195.8	198.6	-210	25.3	-195.8	809	2.06
					-160	596	2.97
					20	703	2.10
Octane	124.8	306.3	-57.5	180.7	25	910	1.80
Oil (light)	—	—	—	—	20	910	1.80
Oxygen	-183	212.7	-218.8	13.7	-183	1141	1.71
Petroleum	—	230–384	—	—	20	640	2.0
Propane	-42.1	427.8	-187.7	80.0	-42.1	581	2.25
					0	529	2.53
					50	449	3.13
Refrigerant-134a	-26.1	216.8	-96.6	—	-50	1443	1.23
					-26.1	1374	1.27
					0	1295	1.34
					25	1207	1.43
Water	100	2257	0.0	333.7	0	1000	4.22
					25	997	4.18
					50	988	4.18
					75	975	4.19
					100	958	4.22

* Sublimation temperature. (At pressures below the triple-point pressure of 518 kPa, carbon dioxide exists as a solid or gas. Also, the freezing-point temperature of carbon dioxide is the triple-point temperature of -56.5°C.)

Tabla 3 Propiedades del agua saturada

Properties of saturated water

Temp. <i>T</i> , °C	Saturation Pressure <i>P</i> _{sat} , kPa	Density ρ , kg/m ³		Enthalpy of Vaporization <i>h</i> _{fg} , kJ/kg	Specific Heat <i>c</i> _p , J/kg · K		Thermal Conductivity <i>k</i> , W/m · K		Dynamic Viscosity μ , kg/m · s		Prandtl Number <i>Pr</i>		Volume Expansion Coefficient β , 1/K Liquid
		Liquid	Vapor		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2501	4217	1854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2490	4205	1857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2478	4194	1862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2466	4186	1863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2454	4182	1867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2442	4180	1870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2431	4178	1875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2419	4178	1880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2407	4179	1885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2395	4180	1892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2383	4181	1900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2371	4183	1908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2359	4185	1916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2346	4187	1926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2334	4190	1936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2321	4193	1948	0.667	0.0225	0.378 × 10 ⁻³	1.142 × 10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607 × 10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2309	4197	1962	0.670	0.0230	0.355 × 10 ⁻³	1.159 × 10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.653 × 10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2296	4201	1977	0.673	0.0235	0.333 × 10 ⁻³	1.176 × 10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.670 × 10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2283	4206	1993	0.675	0.0240	0.315 × 10 ⁻³	1.193 × 10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.702 × 10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2270	4212	2010	0.677	0.0246	0.297 × 10 ⁻³	1.210 × 10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.716 × 10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2257	4217	2029	0.679	0.0251	0.282 × 10 ⁻³	1.227 × 10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.750 × 10 ⁻³
110	143.27	950.6	0.8263	2230	4229	2071	0.682	0.0262	0.255 × 10 ⁻³	1.261 × 10 ⁻⁵	1.58	1.00	0.798 × 10 ⁻³
120	198.53	943.4	1.121	2203	4244	2120	0.683	0.0275	0.232 × 10 ⁻³	1.296 × 10 ⁻⁵	1.44	1.00	0.858 × 10 ⁻³
130	270.1	934.6	1.496	2174	4263	2177	0.684	0.0288	0.213 × 10 ⁻³	1.330 × 10 ⁻⁵	1.33	1.01	0.913 × 10 ⁻³
140	361.3	921.7	1.965	2145	4286	2244	0.683	0.0301	0.197 × 10 ⁻³	1.365 × 10 ⁻⁵	1.24	1.02	0.970 × 10 ⁻³
150	475.8	916.6	2.546	2114	4311	2314	0.682	0.0316	0.183 × 10 ⁻³	1.399 × 10 ⁻⁵	1.16	1.02	1.025 × 10 ⁻³
160	617.8	907.4	3.256	2083	4340	2420	0.680	0.0331	0.170 × 10 ⁻³	1.434 × 10 ⁻⁵	1.09	1.05	1.145 × 10 ⁻³
170	791.7	897.7	4.119	2050	4370	2490	0.677	0.0347	0.160 × 10 ⁻³	1.468 × 10 ⁻⁵	1.03	1.05	1.178 × 10 ⁻³
180	1,002.1	887.3	5.153	2015	4410	2590	0.673	0.0364	0.150 × 10 ⁻³	1.502 × 10 ⁻⁵	0.983	1.07	1.210 × 10 ⁻³
190	1,254.4	876.4	6.388	1979	4460	2710	0.669	0.0382	0.142 × 10 ⁻³	1.537 × 10 ⁻⁵	0.947	1.09	1.280 × 10 ⁻³
200	1,553.8	864.3	7.852	1941	4500	2840	0.663	0.0401	0.134 × 10 ⁻³	1.571 × 10 ⁻⁵	0.910	1.11	1.350 × 10 ⁻³
220	2,318	840.3	11.60	1859	4610	3110	0.650	0.0442	0.122 × 10 ⁻³	1.641 × 10 ⁻⁵	0.865	1.15	1.520 × 10 ⁻³
240	3,344	813.7	16.73	1767	4760	3520	0.632	0.0487	0.111 × 10 ⁻³	1.712 × 10 ⁻⁵	0.836	1.24	1.720 × 10 ⁻³
260	4,688	783.7	23.69	1663	4970	4070	0.609	0.0540	0.102 × 10 ⁻³	1.788 × 10 ⁻⁵	0.832	1.35	2.000 × 10 ⁻³
280	6,412	750.8	33.15	1544	5280	4835	0.581	0.0605	0.094 × 10 ⁻³	1.870 × 10 ⁻⁵	0.854	1.49	2.380 × 10 ⁻³
300	8,581	713.8	46.15	1405	5750	5980	0.548	0.0695	0.086 × 10 ⁻³	1.965 × 10 ⁻⁵	0.902	1.69	2.950 × 10 ⁻³
320	11,274	667.1	64.57	1239	6540	7900	0.509	0.0836	0.078 × 10 ⁻³	2.084 × 10 ⁻⁵	1.00	1.97	
340	14,586	610.5	92.62	1028	8240	11,870	0.469	0.110	0.070 × 10 ⁻³	2.255 × 10 ⁻⁵	1.23	2.43	
360	18,651	528.3	144.0	720	14,690	25,800	0.427	0.178	0.060 × 10 ⁻³	2.571 × 10 ⁻⁵	2.06	3.73	
374.14	22,090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043 × 10 ⁻³	4.313 × 10 ⁻⁵			

Note 1: Kinematic viscosity ν and thermal diffusivity α can be calculated from their definitions, $\nu = \mu/\rho$ and $\alpha = k/\rho c_p = \nu/Pr$. The temperatures 0.01°C, 100°C, and 374.14°C are the triple-, boiling-, and critical-point temperatures of water, respectively. The properties listed above (except the vapor density) can be used at any pressure with negligible error except at temperatures near the critical-point value.

Note 2: The unit kJ/kg · °C for specific heat is equivalent to kJ/kg · K, and the unit W/m · °C for thermal conductivity is equivalent to W/m · K.

Source: Viscosity and thermal conductivity data are from J. V. Sengers and J. T. R. Watson, *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 15 (1986), pp. 1291–1322. Other data are obtained from various sources or calculated.

Tabla 4 Propiedades del aire a una presión de 1 atmósfera.

Properties of air at 1 atm pressure

Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Density $\rho, \text{kg/m}^3$	Specific Heat c_p $\text{J/kg} \cdot \text{K}$	Thermal Conductivity $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Thermal Diffusivity $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Dynamic Viscosity $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Kinematic Viscosity $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Prandtl Number Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

ANEXO 3 TABLAS DE FLUJO ISENTROPICO

Tabla 5 Expresiones fundamentales de parámetros críticos y de relación entre parámetros totales y estacionarios para flujo isentropico.

$$Ma^* = Ma \sqrt{\frac{k+1}{2 + (k-1)Ma^2}}$$

$$\frac{A}{A^*} = \frac{1}{Ma} \left[\left(\frac{2}{k+1} \right) \left(1 + \frac{k-1}{2} Ma^2 \right) \right]^{0.5(k+1)/(k-1)}$$

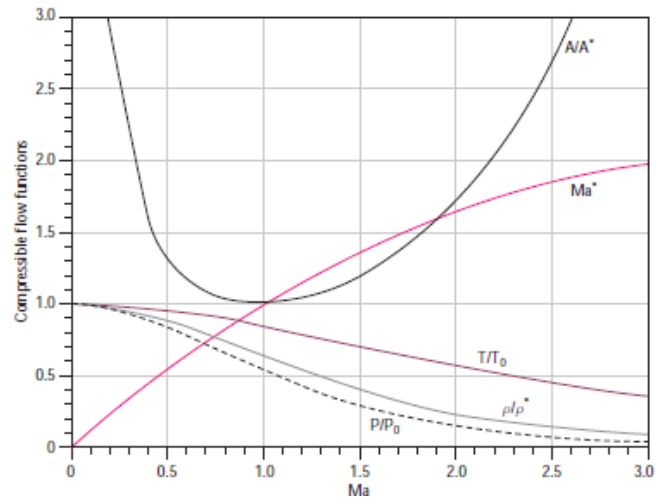
$$\frac{P}{P_0} = \left(1 + \frac{k-1}{2} Ma^2 \right)^{-k/(k-1)}$$

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \left(1 + \frac{k-1}{2} Ma^2 \right)^{-1/(k-1)}$$

$$\frac{T}{T_0} = \left(1 + \frac{k-1}{2} Ma^2 \right)^{-1}$$

One-dimensional isentropic compressible flow functions for an ideal gas with $k = 1.4$

Ma	Ma*	A/A*	P/P ₀	ρ/ρ ₀	T/T ₀
0	0	∞	1.0000	1.0000	1.0000
0.1	0.1094	5.8218	0.9930	0.9950	0.9980
0.2	0.2182	2.9635	0.9725	0.9803	0.9921
0.3	0.3257	2.0351	0.9395	0.9564	0.9823
0.4	0.4313	1.5901	0.8956	0.9243	0.9690
0.5	0.5345	1.3398	0.8430	0.8852	0.9524
0.6	0.6348	1.1882	0.7840	0.8405	0.9328
0.7	0.7318	1.0944	0.7209	0.7916	0.9107
0.8	0.8251	1.0382	0.6560	0.7400	0.8865
0.9	0.9146	1.0089	0.5913	0.6870	0.8606
1.0	1.0000	1.0000	0.5283	0.6339	0.8333
1.2	1.1583	1.0304	0.4124	0.5311	0.7764
1.4	1.2999	1.1149	0.3142	0.4374	0.7184
1.6	1.4254	1.2502	0.2353	0.3557	0.6614
1.8	1.5360	1.4390	0.1740	0.2868	0.6068
2.0	1.6330	1.6875	0.1278	0.2300	0.5556
2.2	1.7179	2.0050	0.0935	0.1841	0.5081
2.4	1.7922	2.4031	0.0684	0.1472	0.4647
2.6	1.8571	2.8960	0.0501	0.1179	0.4252
2.8	1.9140	3.5001	0.0368	0.0946	0.3894
3.0	1.9640	4.2346	0.0272	0.0760	0.3571
5.0	2.2361	25.000	0.0019	0.0113	0.1667
∞	2.2495	∞	0	0	0



(K = 1,4) – (0,92 ≤ M ≤ 1,79)

Mach	T/T ₀	P/P ₀	ρ/ρ ₀	A/A*
0,00	1,000000	1,000000	1,000000	Infinito
0,01	0,999980	0,999930	0,999950	57,8738
0,02	0,999920	0,999720	0,999800	28,9421
0,03	0,999820	0,999370	0,999550	19,3005
0,04	0,999680	0,998881	0,999200	14,4815
0,05	0,999500	0,998252	0,998751	11,5914
0,06	0,999281	0,997484	0,998202	9,66591
0,07	0,999021	0,996578	0,997554	8,29153
0,08	0,998722	0,995533	0,996807	7,26161
0,09	0,998383	0,994351	0,995961	6,46134
0,10	0,998004	0,993031	0,995017	5,82183
0,11	0,997586	0,991576	0,993976	5,29923
0,12	0,997128	0,989985	0,992836	4,86432
0,13	0,996631	0,988259	0,991600	4,49686
0,14	0,996095	0,986400	0,990267	4,18240
0,15	0,995520	0,984408	0,988838	3,91034
0,16	0,994906	0,982285	0,987314	3,67274
0,17	0,994253	0,980030	0,985695	3,46351
0,18	0,993562	0,977647	0,983982	3,27793
0,19	0,992832	0,975135	0,982176	3,11226
0,20	0,992063	0,972497	0,980277	2,96352
0,21	0,991257	0,969733	0,978286	2,82929
0,22	0,990413	0,966845	0,976204	2,70760
0,23	0,989531	0,963835	0,974032	2,59681
0,24	0,988611	0,960703	0,971771	2,49556
0,25	0,987654	0,957453	0,969421	2,40271
0,26	0,986660	0,954085	0,966984	2,31729
0,27	0,985630	0,950600	0,964460	2,23847
0,28	0,984562	0,947002	0,961851	2,16555
0,29	0,983458	0,943291	0,959157	2,09793
0,30	0,982318	0,939470	0,956380	2,03507
0,31	0,981142	0,935540	0,953521	1,97651
0,32	0,979931	0,931503	0,950580	1,92185
0,33	0,978684	0,927362	0,947560	1,87074
0,34	0,977402	0,923118	0,944460	1,82288
0,35	0,976086	0,918773	0,941283	1,77797
0,36	0,974735	0,914330	0,938029	1,73578
0,37	0,973350	0,909790	0,934700	1,69609
0,38	0,971931	0,905156	0,931297	1,65870
0,39	0,970478	0,900430	0,927821	1,62343
0,40	0,968992	0,895614	0,924274	1,59014
0,41	0,967474	0,890711	0,920657	1,55867
0,42	0,965922	0,885722	0,916971	1,52890
0,43	0,964339	0,880651	0,913217	1,50072
0,44	0,962723	0,875498	0,909398	1,47401
0,45	0,961076	0,870267	0,905513	1,44867

Mach	T/T ₀	P/P ₀	ρ/ρ ₀	A/A*
0,46	0,959398	0,864960	0,901566	1,42463
0,47	0,957689	0,859580	0,897556	1,40180
0,48	0,955950	0,854128	0,893486	1,38010
0,49	0,954180	0,848607	0,889357	1,35947
0,50	0,952381	0,843019	0,885170	1,33984
0,51	0,950552	0,837367	0,880927	1,32117
0,52	0,948695	0,831654	0,876629	1,30339
0,53	0,946808	0,825881	0,872278	1,28645
0,54	0,944894	0,820050	0,867876	1,27032
0,55	0,942951	0,814165	0,863422	1,25495
0,56	0,940982	0,808228	0,858920	1,24029
0,57	0,938985	0,802241	0,854371	1,22633
0,58	0,936961	0,796206	0,849775	1,21301
0,59	0,934911	0,790127	0,845135	1,20031
0,60	0,932836	0,784004	0,840452	1,18820
0,61	0,930735	0,777841	0,835728	1,17665
0,62	0,928609	0,771639	0,830963	1,16565
0,63	0,926458	0,765402	0,826160	1,15515
0,64	0,924283	0,759131	0,821319	1,14515
0,65	0,922084	0,752829	0,816443	1,13562
0,66	0,919862	0,746498	0,811533	1,12654
0,67	0,917616	0,740140	0,806590	1,11789
0,68	0,915349	0,733758	0,801616	1,10965
0,69	0,913059	0,727353	0,796612	1,10182
0,70	0,910747	0,720928	0,791579	1,09437
0,71	0,908414	0,714485	0,786519	1,08729
0,72	0,906060	0,708025	0,781434	1,08057
0,73	0,903685	0,701552	0,776324	1,07419
0,74	0,901291	0,695068	0,771191	1,06814
0,75	0,898876	0,688573	0,766037	1,06242
0,76	0,896443	0,682070	0,760863	1,05700
0,77	0,893991	0,675562	0,755670	1,05188
0,78	0,891520	0,669050	0,750460	1,04705
0,79	0,889031	0,662536	0,745234	1,04251
0,80	0,886525	0,656022	0,739992	1,03823
0,81	0,884001	0,649509	0,734738	1,03422
0,82	0,881461	0,643000	0,729471	1,03046
0,83	0,878905	0,636496	0,724193	1,02696
0,84	0,876332	0,630000	0,718905	1,02370
0,85	0,873744	0,623512	0,713609	1,02067
0,86	0,871141	0,617034	0,708306	1,01787
0,87	0,868523	0,610569	0,702997	1,01530
0,88	0,865891	0,604117	0,697683	1,01294
0,89	0,863245	0,597680	0,692365	1,01080
0,90	0,860585	0,591260	0,687044	1,00886
0,91	0,857913	0,584858	0,681722	1,00713

(K = 1,4) – (0,92 ≤ M ≤ 1,79)

Mach	T/T ₀	P/P ₀	ρ/ρ ₀	A/A*
0,92	0,855227	0,578476	0,676400	1,00560
0,93	0,852529	0,572114	0,671079	1,00426
0,94	0,849820	0,565775	0,665759	1,00311
0,95	0,847099	0,559460	0,660443	1,00215
0,96	0,844366	0,553170	0,655130	1,00136
0,97	0,841623	0,546905	0,649822	1,00076
0,98	0,838870	0,540669	0,644520	1,00034
0,99	0,836106	0,534460	0,639225	1,00008
1,00	0,833333	0,528282	0,633938	1,00000
1,01	0,830551	0,522134	0,628660	1,00008
1,02	0,827760	0,516018	0,623391	1,00033
1,03	0,824960	0,509935	0,618133	1,00074
1,04	0,822152	0,503886	0,612887	1,00131
1,05	0,819336	0,497872	0,607653	1,00203
1,06	0,816513	0,491894	0,602432	1,00291
1,07	0,813683	0,485952	0,597225	1,00394
1,08	0,810846	0,480047	0,592033	1,00512
1,09	0,808002	0,474181	0,586856	1,00645
1,10	0,805153	0,468354	0,581696	1,00793
1,11	0,802298	0,462567	0,576553	1,00955
1,12	0,799437	0,456820	0,571427	1,01131
1,13	0,796572	0,451114	0,566320	1,01322
1,14	0,793701	0,445451	0,561232	1,01527
1,15	0,790826	0,439829	0,556164	1,01745
1,16	0,787948	0,434251	0,551116	1,01978
1,17	0,785065	0,428716	0,546090	1,02224
1,18	0,782179	0,423225	0,541085	1,02484
1,19	0,779290	0,417778	0,536102	1,02757
1,20	0,776398	0,412377	0,531142	1,03044
1,21	0,773503	0,407021	0,526205	1,03344
1,22	0,770606	0,401711	0,521292	1,03657
1,23	0,767707	0,396446	0,516403	1,03983
1,24	0,764807	0,391229	0,511539	1,04323
1,25	0,761905	0,386058	0,506701	1,04675
1,26	0,759002	0,380934	0,501888	1,05041
1,27	0,756098	0,375857	0,497102	1,05419
1,28	0,753194	0,370828	0,492342	1,05810
1,29	0,750289	0,365847	0,487608	1,06214
1,30	0,747384	0,360914	0,482903	1,06630
1,31	0,744480	0,356029	0,478225	1,07060
1,32	0,741576	0,351192	0,473575	1,07502
1,33	0,738672	0,346403	0,468953	1,07957
1,34	0,735770	0,341663	0,464361	1,08424
1,35	0,732869	0,336971	0,459797	1,08904

Mach	T/T ₀	P/P ₀	ρ/ρ ₀	A/A*
1,36	0,729970	0,332328	0,455263	1,09396
1,37	0,727072	0,327733	0,450758	1,09902
1,38	0,724176	0,323187	0,446283	1,10419
1,39	0,721282	0,318690	0,441838	1,10950
1,40	0,718391	0,314241	0,437423	1,11493
1,41	0,715502	0,309840	0,433039	1,12048
1,42	0,712616	0,305488	0,428686	1,12616
1,43	0,709733	0,301185	0,424363	1,13197
1,44	0,706854	0,296929	0,420072	1,13790
1,45	0,703977	0,292722	0,415812	1,14396
1,46	0,701105	0,288563	0,411583	1,15015
1,47	0,698236	0,284452	0,407386	1,15646
1,48	0,695372	0,280388	0,403220	1,16290
1,49	0,692511	0,276372	0,399086	1,16947
1,50	0,689655	0,272403	0,394984	1,17617
1,51	0,686804	0,268481	0,390914	1,18299
1,52	0,683957	0,264607	0,386876	1,18994
1,53	0,681115	0,260779	0,382870	1,19702
1,54	0,678279	0,256997	0,378897	1,20423
1,55	0,675447	0,253262	0,374955	1,21157
1,56	0,672622	0,249573	0,371045	1,21904
1,57	0,669801	0,245930	0,367168	1,22664
1,58	0,666987	0,242332	0,363323	1,23438
1,59	0,664178	0,238779	0,359510	1,24224
1,60	0,661376	0,235271	0,355730	1,25024
1,61	0,658579	0,231808	0,351982	1,25836
1,62	0,655789	0,228389	0,348266	1,26663
1,63	0,653006	0,225014	0,344582	1,27502
1,64	0,650229	0,221683	0,340930	1,28355
1,65	0,647459	0,218395	0,337311	1,29222
1,66	0,644695	0,215150	0,333723	1,30102
1,67	0,641939	0,211948	0,330168	1,30996
1,68	0,639190	0,208788	0,326644	1,31904
1,69	0,636448	0,205670	0,323152	1,32825
1,70	0,633714	0,202593	0,319693	1,33761
1,71	0,630986	0,199558	0,316264	1,34710
1,72	0,628267	0,196564	0,312868	1,35674
1,73	0,625555	0,193611	0,309502	1,36651
1,74	0,622851	0,190697	0,306169	1,37643
1,75	0,620155	0,187824	0,302866	1,38649
1,76	0,617467	0,184990	0,299595	1,39670
1,77	0,614787	0,182195	0,296354	1,40705
1,78	0,612115	0,179438	0,293145	1,41755
1,79	0,609451	0,176720	0,289966	1,42819

(K = 1,4) – (1,80 ≤ M ≤ 2,67)

Mach	T/T ₀	P/P ₀	ρ/ρ ₀	A/A*
1,80	0,606796	0,174040	0,286818	1,43898
1,81	0,604149	0,171398	0,283701	1,44992
1,82	0,601511	0,168792	0,280614	1,46101
1,83	0,598881	0,166224	0,277557	1,47225
1,84	0,596260	0,163691	0,274530	1,48365
1,85	0,593648	0,161195	0,271533	1,49519
1,86	0,591044	0,158734	0,268566	1,50689
1,87	0,588450	0,156309	0,265628	1,51875
1,88	0,585864	0,153918	0,262720	1,53076
1,89	0,583288	0,151562	0,259841	1,54293
1,90	0,580720	0,149240	0,256991	1,55526
1,91	0,578162	0,146951	0,254169	1,56774
1,92	0,575612	0,144696	0,251377	1,58039
1,93	0,573072	0,142473	0,248613	1,59320
1,94	0,570542	0,140283	0,245877	1,60617
1,95	0,568020	0,138126	0,243170	1,61931
1,96	0,565509	0,135999	0,240490	1,63261
1,97	0,563006	0,133905	0,237839	1,64608
1,98	0,560513	0,131841	0,235215	1,65972
1,99	0,558029	0,129808	0,232618	1,67352
2,00	0,555556	0,127805	0,230048	1,68750
2,01	0,553091	0,125831	0,227506	1,70165
2,02	0,550637	0,123888	0,224990	1,71597
2,03	0,548192	0,121973	0,222500	1,73047
2,04	0,545756	0,120087	0,220037	1,74514
2,05	0,543331	0,118229	0,217601	1,75999
2,06	0,540915	0,116399	0,215190	1,77502
2,07	0,538509	0,114597	0,212805	1,79022
2,08	0,536113	0,112823	0,210446	1,80561
2,09	0,533726	0,111075	0,208112	1,82119
2,10	0,531350	0,109353	0,205803	1,83694
2,11	0,528983	0,107658	0,203519	1,85289
2,12	0,526626	0,105988	0,201259	1,86902
2,13	0,524279	0,104345	0,199025	1,88533
2,14	0,521942	0,102726	0,196814	1,90184
2,15	0,519615	0,101132	0,194628	1,91854
2,16	0,517298	0,099562	0,192466	1,93544
2,17	0,514991	0,098017	0,190327	1,95252
2,18	0,512694	0,096495	0,188212	1,96981
2,19	0,510407	0,094997	0,186120	1,98729
2,20	0,508130	0,093522	0,184051	2,00497
2,21	0,505863	0,092069	0,182005	2,02286
2,22	0,503606	0,090640	0,179981	2,04094
2,23	0,501359	0,089232	0,177980	2,05923

Mach	T/T ₀	P/P ₀	ρ/ρ ₀	A/A*
2,24	0,499122	0,087846	0,176001	2,07773
2,25	0,496894	0,086482	0,174044	2,09644
2,26	0,494677	0,085139	0,172110	2,11535
2,27	0,492470	0,083817	0,170196	2,13447
2,28	0,490273	0,082515	0,168304	2,15381
2,29	0,488086	0,081234	0,166433	2,17336
2,30	0,485909	0,079973	0,164584	2,19313
2,31	0,483741	0,078731	0,162755	2,21312
2,32	0,481584	0,077509	0,160946	2,23332
2,33	0,479437	0,076306	0,159158	2,25375
2,34	0,477300	0,075122	0,157390	2,27440
2,35	0,475172	0,073957	0,155642	2,29528
2,36	0,473055	0,072810	0,153914	2,31638
2,37	0,470947	0,071681	0,152206	2,33771
2,38	0,468850	0,070570	0,150516	2,35928
2,39	0,466762	0,069476	0,148846	2,38107
2,40	0,464684	0,068399	0,147195	2,40310
2,41	0,462616	0,067340	0,145563	2,42537
2,42	0,460558	0,066297	0,143950	2,44787
2,43	0,458509	0,065271	0,142354	2,47061
2,44	0,456471	0,064261	0,140777	2,49360
2,45	0,454442	0,063267	0,139218	2,51683
2,46	0,452423	0,062288	0,137677	2,54031
2,47	0,450414	0,061326	0,136154	2,56403
2,48	0,448414	0,060378	0,134648	2,58801
2,49	0,446425	0,059445	0,133159	2,61224
2,50	0,444444	0,058528	0,131687	2,63672
2,51	0,442474	0,057624	0,130232	2,66146
2,52	0,440513	0,056736	0,128794	2,68645
2,53	0,438562	0,055861	0,127373	2,71171
2,54	0,436620	0,055000	0,125968	2,73723
2,55	0,434688	0,054153	0,124579	2,76301
2,56	0,432766	0,053319	0,123206	2,78906
2,57	0,430852	0,052499	0,121849	2,81538
2,58	0,428949	0,051692	0,120507	2,84197
2,59	0,427055	0,050897	0,119182	2,86884
2,60	0,425170	0,050115	0,117871	2,89598
2,61	0,423295	0,049346	0,116575	2,92339
2,62	0,421429	0,048589	0,115295	2,95109
2,63	0,419572	0,047844	0,114029	2,97907
2,64	0,417725	0,047110	0,112778	3,00733
2,65	0,415887	0,046389	0,111542	3,03588
2,66	0,414058	0,045679	0,110320	3,06472
2,67	0,412239	0,044980	0,109112	3,09385

(K = 1,4) – (2,67 ≤ M ≤ 3,55)

Mach	T/T ₀	P/P ₀	ρ/ρ ₀	A/A*
2,68	0,410428	0,044292	0,107918	3,12327
2,69	0,408627	0,043616	0,106738	3,15299
2,70	0,406835	0,042950	0,105571	3,18301
2,71	0,405052	0,042295	0,104418	3,21333
2,72	0,403278	0,041650	0,103279	3,24395
2,73	0,401513	0,041016	0,102152	3,27488
2,74	0,399757	0,040391	0,101039	3,30611
2,75	0,398010	0,039777	0,099939	3,33766
2,76	0,396272	0,039172	0,098851	3,36952
2,77	0,394543	0,038577	0,097777	3,40169
2,78	0,392822	0,037992	0,096714	3,43418
2,79	0,391111	0,037415	0,095664	3,46699
2,80	0,389408	0,036848	0,094626	3,50012
2,81	0,387714	0,036290	0,093601	3,53358
2,82	0,386029	0,035741	0,092587	3,56737
2,83	0,384352	0,035201	0,091585	3,60148
2,84	0,382684	0,034669	0,090594	3,63593
2,85	0,381025	0,034146	0,089616	3,67072
2,86	0,379374	0,033631	0,088648	3,70584
2,87	0,377732	0,033124	0,087692	3,74131
2,88	0,376098	0,032625	0,086747	3,77711
2,89	0,374473	0,032134	0,085813	3,81327
2,90	0,372856	0,031651	0,084889	3,84977
2,91	0,371248	0,031176	0,083977	3,88662
2,92	0,369648	0,030708	0,083075	3,92383
2,93	0,368056	0,030248	0,082183	3,96139
2,94	0,366472	0,029795	0,081302	3,99932
2,95	0,364897	0,029349	0,080431	4,03760
2,96	0,363330	0,028910	0,079571	4,07625
2,97	0,361771	0,028479	0,078720	4,11527
2,98	0,360220	0,028054	0,077879	4,15466
2,99	0,358677	0,027635	0,077048	4,19443
3,00	0,357143	0,027224	0,076226	4,23457
3,01	0,355616	0,026819	0,075414	4,27509
3,02	0,354098	0,026420	0,074612	4,31599
3,03	0,352587	0,026027	0,073819	4,35728
3,04	0,351084	0,025641	0,073034	4,39895
3,05	0,349589	0,025261	0,072260	4,44102
3,06	0,348102	0,024887	0,071494	4,48347
3,07	0,346623	0,024519	0,070736	4,52633
3,08	0,345151	0,024156	0,069988	4,56959
3,09	0,343687	0,023800	0,069248	4,61325
3,10	0,342231	0,023449	0,068517	4,65731
3,11	0,340783	0,023103	0,067794	4,70178

Mach	T/T ₀	P/P ₀	ρ/ρ ₀	A/A*
3,12	0,339342	0,022763	0,067080	4,74667
3,13	0,337909	0,022428	0,066374	4,79197
3,14	0,336483	0,022099	0,065676	4,83769
3,15	0,335064	0,021775	0,064986	4,88383
3,16	0,333654	0,021455	0,064304	4,93039
3,17	0,332250	0,021141	0,063630	4,97739
3,18	0,330854	0,020832	0,062964	5,02481
3,19	0,329465	0,020527	0,062305	5,07266
3,20	0,328084	0,020228	0,061654	5,12096
3,21	0,326710	0,019933	0,061011	5,16969
3,22	0,325343	0,019642	0,060374	5,21887
3,23	0,323983	0,019357	0,059746	5,26849
3,24	0,322631	0,019075	0,059124	5,31857
3,25	0,321285	0,018798	0,058510	5,36909
3,26	0,319947	0,018526	0,057902	5,42008
3,27	0,318615	0,018257	0,057302	5,47152
3,28	0,317291	0,017993	0,056708	5,52343
3,29	0,315974	0,017733	0,056121	5,57580
3,30	0,314663	0,017477	0,055541	5,62865
3,31	0,313360	0,017225	0,054968	5,68196
3,32	0,312063	0,016977	0,054401	5,73576
3,33	0,310773	0,016732	0,053841	5,79003
3,34	0,309490	0,016492	0,053287	5,84479
3,35	0,308214	0,016255	0,052739	5,90004
3,36	0,306944	0,016022	0,052197	5,95577
3,37	0,305681	0,015792	0,051662	6,01201
3,38	0,304425	0,015566	0,051133	6,06873
3,39	0,303175	0,015344	0,050610	6,12596
3,40	0,301932	0,015125	0,050093	6,18370
3,41	0,300696	0,014909	0,049581	6,24194
3,42	0,299466	0,014697	0,049076	6,30070
3,43	0,298242	0,014487	0,048576	6,35997
3,44	0,297025	0,014282	0,048082	6,41976
3,45	0,295814	0,014079	0,047594	6,48007
3,46	0,294610	0,013879	0,047111	6,54092
3,47	0,293412	0,013683	0,046633	6,60229
3,48	0,292220	0,013489	0,046161	6,66419
3,49	0,291034	0,013299	0,045694	6,72664
3,50	0,289855	0,013111	0,045233	6,78962
3,51	0,288682	0,012926	0,044776	6,85315
3,52	0,287515	0,012744	0,044325	6,91723
3,53	0,286354	0,012565	0,043879	6,98186
3,54	0,285199	0,012389	0,043438	7,04705
3,55	0,284051	0,012215	0,043002	7,11281

(K = 1,4) – (3,56 ≤ M ≤ 4,43)

Mach	T/T ₀	P/P ₀	ρ/ρ ₀	A/A*
3,56	0,282908	0,012044	0,042571	7,17912
3,57	0,281771	0,011875	0,042145	7,24601
3,58	0,280640	0,011709	0,041723	7,31346
3,59	0,279515	0,011546	0,041306	7,38150
3,60	0,278396	0,011385	0,040894	7,45011
3,61	0,277283	0,011226	0,040486	7,51931
3,62	0,276176	0,011070	0,040083	7,58910
3,63	0,275074	0,010916	0,039685	7,65948
3,64	0,273979	0,010765	0,039291	7,73045
3,65	0,272889	0,010616	0,038901	7,80203
3,66	0,271804	0,010469	0,038516	7,87421
3,67	0,270725	0,010324	0,038135	7,94700
3,68	0,269652	0,010182	0,037758	8,02040
3,69	0,268585	0,010041	0,037386	8,09442
3,70	0,267523	0,009903	0,037017	8,16907
3,71	0,266466	0,009767	0,036653	8,24433
3,72	0,265415	0,009633	0,036292	8,32023
3,73	0,264370	0,009500	0,035936	8,39676
3,74	0,263330	0,009370	0,035584	8,47393
3,75	0,262295	0,009242	0,035235	8,55174
3,76	0,261266	0,009116	0,034890	8,63020
3,77	0,260242	0,008991	0,034550	8,70931
3,78	0,259223	0,008869	0,034212	8,78907
3,79	0,258210	0,008748	0,033879	8,86950
3,80	0,257202	0,008629	0,033549	8,95059
3,81	0,256199	0,008512	0,033223	9,03234
3,82	0,255201	0,008396	0,032901	9,11477
3,83	0,254208	0,008283	0,032582	9,19788
3,84	0,253221	0,008171	0,032266	9,28167
3,85	0,252239	0,008060	0,031954	9,36614
3,86	0,251261	0,007951	0,031646	9,45131
3,87	0,250289	0,007844	0,031340	9,53717
3,88	0,249322	0,007739	0,031039	9,62373
3,89	0,248360	0,007635	0,030740	9,71100
3,90	0,247402	0,007532	0,030445	9,79897
3,91	0,246450	0,007431	0,030152	9,88766
3,92	0,245502	0,007332	0,029863	9,97707
3,93	0,244560	0,007233	0,029578	10,0672
3,94	0,243622	0,007137	0,029295	10,1581
3,95	0,242689	0,007042	0,029015	10,2496
3,96	0,241761	0,006948	0,028739	10,3420
3,97	0,240837	0,006855	0,028465	10,4350
3,98	0,239919	0,006764	0,028194	10,5289
3,99	0,239005	0,006675	0,027926	10,6234

Mach	T/T ₀	P/P ₀	ρ/ρ ₀	A/A*
4,00	0,238095	0,006586	0,027662	10,7188
4,01	0,237191	0,006499	0,027400	10,8148
4,02	0,236290	0,006413	0,027140	10,9117
4,03	0,235395	0,006328	0,026884	11,0093
4,04	0,234504	0,006245	0,026630	11,1077
4,05	0,233618	0,006163	0,026379	11,2069
4,06	0,232736	0,006082	0,026131	11,3068
4,07	0,231858	0,006002	0,025885	11,4076
4,08	0,230985	0,005923	0,025643	11,5091
4,09	0,230117	0,005845	0,025402	11,6115
4,10	0,229253	0,005769	0,025164	11,7147
4,11	0,228393	0,005694	0,024929	11,8186
4,12	0,227537	0,005619	0,024696	11,9234
4,13	0,226686	0,005546	0,024466	12,0290
4,14	0,225840	0,005474	0,024238	12,1354
4,15	0,224997	0,005403	0,024013	12,2427
4,16	0,224159	0,005333	0,023790	12,3508
4,17	0,223325	0,005264	0,023569	12,4597
4,18	0,222495	0,005195	0,023351	12,5695
4,19	0,221670	0,005128	0,023135	12,6801
4,20	0,220848	0,005062	0,022921	12,7916
4,21	0,220031	0,004997	0,022710	12,9040
4,22	0,219217	0,004932	0,022500	13,0172
4,23	0,218408	0,004869	0,022293	13,1313
4,24	0,217603	0,004806	0,022088	13,2463
4,25	0,216802	0,004745	0,021886	13,3622
4,26	0,216005	0,004684	0,021685	13,4789
4,27	0,215212	0,004624	0,021487	13,5965
4,28	0,214423	0,004565	0,021290	13,7151
4,29	0,213638	0,004507	0,021096	13,8345
4,30	0,212857	0,004449	0,020903	13,9549
4,31	0,212079	0,004393	0,020713	14,0762
4,32	0,211306	0,004337	0,020525	14,1984
4,33	0,210536	0,004282	0,020338	14,3215
4,34	0,209770	0,004228	0,020154	14,4456
4,35	0,209008	0,004174	0,019971	14,5706
4,36	0,208250	0,004121	0,019791	14,6965
4,37	0,207496	0,004069	0,019612	14,8234
4,38	0,206745	0,004018	0,019435	14,9513
4,39	0,205998	0,003968	0,019260	15,0801
4,40	0,205255	0,003918	0,019087	15,2099
4,41	0,204515	0,003868	0,018915	15,3406
4,42	0,203779	0,003820	0,018746	15,4724
4,43	0,203047	0,003772	0,018578	15,6051

(K = 1,4) – (4,44 ≤ M ≤ 4,50)

Mach	T/T ₀	P/P ₀	ρ/ρ ₀	A/A*
4,44	0,202318	0,003725	0,018411	15,7388
4,45	0,201593	0,003678	0,018247	15,8735
4,46	0,200871	0,003633	0,018084	16,0092
4,47	0,200153	0,003587	0,017923	16,1459
4,48	0,199438	0,003543	0,017763	16,2837
4,49	0,198727	0,003499	0,017605	16,4224
4,50	0,198020	0,003455	0,017449	16,5622

ANEXO 4 TABLAS DE ONDA DE CHOQUE NORMAL

Tabla 6 Expresiones fundamentales de parámetros críticos y de relación entre parámetros previos y posteriores a una onda de choque Normal.

$$T_{01} = T_{02}$$

$$Ma_2 = \sqrt{\frac{(k-1)Ma_1^2 + 2}{2kMa_1^2 - k + 1}}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{1 + kMa_1^2}{1 + kMa_2^2} = \frac{2kMa_1^2 - k + 1}{k + 1}$$

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{P_2/P_1}{T_2/T_1} = \frac{(k+1)Ma_1^2}{2 + (k-1)Ma_1^2} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{2 + Ma_1^2(k-1)}{2 + Ma_2^2(k-1)}$$

$$\frac{P_{02}}{P_{01}} = \frac{Ma_1 [1 + Ma_2^2(k-1)/2]^{(k+1)/2(k-1)}}{Ma_2 [1 + Ma_1^2(k-1)/2]}$$

$$\frac{P_{02}}{P_1} = \frac{(1 + kMa_1^2)[1 + Ma_2^2(k-1)/2]^{k(k-1)}}{1 + kMa_2^2}$$

One-dimensional normal shock functions for an ideal gas with $k = 1.4$

Ma_1	Ma_2	P_2/P_1	ρ_2/ρ_1	T_2/T_1	P_{02}/P_{01}	P_{02}/P_1
1.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.8929
1.1	0.9118	1.2450	1.1691	1.0649	0.9989	2.1328
1.2	0.8422	1.5133	1.3416	1.1280	0.9928	2.4075
1.3	0.7860	1.8050	1.5157	1.1909	0.9794	2.7136
1.4	0.7397	2.1200	1.6897	1.2547	0.9582	3.0492
1.5	0.7011	2.4583	1.8621	1.3202	0.9298	3.4133
1.6	0.6684	2.8200	2.0317	1.3880	0.8952	3.8050
1.7	0.6405	3.2050	2.1977	1.4583	0.8557	4.2238
1.8	0.6165	3.6133	2.3592	1.5316	0.8127	4.6695
1.9	0.5956	4.0450	2.5157	1.6079	0.7674	5.1418
2.0	0.5774	4.5000	2.6667	1.6875	0.7209	5.6404
2.1	0.5613	4.9783	2.8119	1.7705	0.6742	6.1654
2.2	0.5471	5.4800	2.9512	1.8569	0.6281	6.7165
2.3	0.5344	6.0050	3.0845	1.9468	0.5833	7.2937
2.4	0.5231	6.5533	3.2119	2.0403	0.5401	7.8969
2.5	0.5130	7.1250	3.3333	2.1375	0.4990	8.5261
2.6	0.5039	7.7200	3.4490	2.2383	0.4601	9.1813
2.7	0.4956	8.3383	3.5590	2.3429	0.4236	9.8624
2.8	0.4882	8.9800	3.6636	2.4512	0.3895	10.5694
2.9	0.4814	9.6450	3.7629	2.5632	0.3577	11.3022
3.0	0.4752	10.3333	3.8571	2.6790	0.3283	12.0610
4.0	0.4350	18.5000	4.5714	4.0469	0.1388	21.0681
5.0	0.4152	29.0000	5.0000	5.8000	0.0617	32.6335
∞	0.3780	∞	6.0000	∞	0	∞

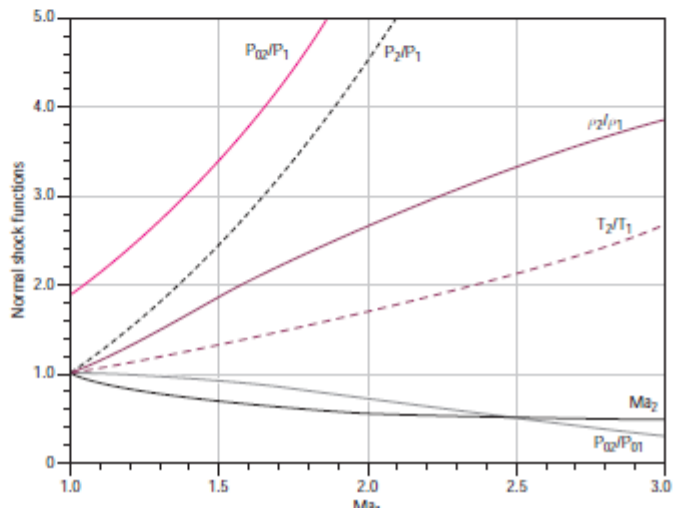


Tabla 7 Onda de Choque Normal (k = 1,4)

M ₁	M ₂	P ₂ /P ₁	ρ ₂ /ρ ₁	T ₂ /T ₁	P ₀₂ /P ₀₁
1,00	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
1,01	0,990132	1,023450	1,016694	1,006645	0,999999
1,02	0,980519	1,047133	1,033441	1,013249	0,999990
1,03	0,971154	1,071050	1,050240	1,019814	0,999967
1,04	0,962025	1,095200	1,067088	1,026345	0,999923
1,05	0,953125	1,119583	1,083982	1,032843	0,999853
1,06	0,944445	1,144200	1,100921	1,039312	0,999751
1,07	0,935977	1,169050	1,117903	1,045753	0,999611
1,08	0,927713	1,194133	1,134925	1,052170	0,999431
1,09	0,919647	1,219450	1,151985	1,058564	0,999204
1,10	0,911770	1,245000	1,169082	1,064938	0,998928
1,11	0,904078	1,270783	1,186213	1,071294	0,998599
1,12	0,896563	1,296800	1,203377	1,077634	0,998213
1,13	0,889219	1,323050	1,220571	1,083960	0,997768
1,14	0,882042	1,349533	1,237793	1,090274	0,997261
1,15	0,875024	1,376250	1,255042	1,096577	0,996690
1,16	0,868162	1,403200	1,272315	1,102872	0,996052
1,17	0,861451	1,430383	1,289610	1,109159	0,995345
1,18	0,854884	1,457800	1,306927	1,115441	0,994569
1,19	0,848459	1,485450	1,324262	1,121719	0,993720
1,20	0,842170	1,513333	1,341615	1,127994	0,992798
1,21	0,836014	1,541450	1,358983	1,134268	0,991802
1,22	0,829986	1,569800	1,376364	1,140541	0,990731
1,23	0,824083	1,598383	1,393757	1,146816	0,989583
1,24	0,818301	1,627200	1,411160	1,153094	0,988359
1,25	0,812636	1,656250	1,428571	1,159375	0,987057
1,26	0,807085	1,685533	1,445989	1,165661	0,985677
1,27	0,801645	1,715050	1,463412	1,171953	0,984219
1,28	0,796312	1,744800	1,480839	1,178251	0,982682
1,29	0,791084	1,774783	1,498267	1,184558	0,981067
1,30	0,785957	1,805000	1,515695	1,190873	0,979374
1,31	0,780929	1,835450	1,533122	1,197198	0,977602
1,32	0,775997	1,866133	1,550546	1,203533	0,975752
1,33	0,771159	1,897050	1,567965	1,209880	0,973824
1,34	0,766412	1,928200	1,585379	1,216239	0,971819
1,35	0,761753	1,959583	1,602785	1,222612	0,969737
1,36	0,757181	1,991200	1,620182	1,228998	0,967579
1,37	0,752692	2,023050	1,637569	1,235398	0,965344
1,38	0,748286	2,055133	1,654945	1,241814	0,963035
1,39	0,743959	2,087450	1,672307	1,248246	0,960652
1,40	0,739709	2,120000	1,689655	1,254694	0,958194
1,41	0,735536	2,152783	1,706988	1,261159	0,955665
1,42	0,731436	2,185800	1,724303	1,267643	0,953063
1,43	0,727408	2,219050	1,741600	1,274144	0,950390

M ₁	M ₂	P ₂ /P ₁	ρ ₂ /ρ ₁	T ₂ /T ₁	P ₀₂ /P ₀₁
1,44	0,723451	2,252533	1,758878	1,280665	0,947648
1,45	0,719562	2,286250	1,776135	1,287205	0,944837
1,46	0,715740	2,320200	1,793370	1,293765	0,941958
1,47	0,711983	2,354383	1,810582	1,300346	0,939012
1,48	0,708290	2,388800	1,827770	1,306948	0,936001
1,49	0,704659	2,423450	1,844933	1,313571	0,932925
1,50	0,701089	2,458333	1,862069	1,320216	0,929787
1,51	0,697578	2,493450	1,879177	1,326884	0,926586
1,52	0,694125	2,528800	1,896257	1,333574	0,923324
1,53	0,690729	2,564383	1,913308	1,340288	0,920003
1,54	0,687388	2,600200	1,930327	1,347026	0,916624
1,55	0,684101	2,636250	1,947315	1,353787	0,913188
1,56	0,680867	2,672533	1,964270	1,360573	0,909697
1,57	0,677685	2,709050	1,981192	1,367384	0,906151
1,58	0,674553	2,745800	1,998079	1,374220	0,902552
1,59	0,671471	2,782783	2,014931	1,381081	0,898901
1,60	0,668437	2,820000	2,031746	1,387969	0,895200
1,61	0,665451	2,857450	2,048524	1,394882	0,891450
1,62	0,662511	2,895133	2,065264	1,401822	0,887653
1,63	0,659616	2,933050	2,081965	1,408789	0,883809
1,64	0,656765	2,971200	2,098627	1,415783	0,879921
1,65	0,653958	3,009583	2,115248	1,422804	0,875988
1,66	0,651194	3,048200	2,131827	1,429853	0,872014
1,67	0,648471	3,087050	2,148365	1,436930	0,867999
1,68	0,645789	3,126133	2,164860	1,444035	0,863944
1,69	0,643147	3,165450	2,181311	1,451168	0,859851
1,70	0,640544	3,205000	2,197719	1,458330	0,855721
1,71	0,637979	3,244783	2,214081	1,465521	0,851556
1,72	0,635452	3,284800	2,230398	1,472742	0,847356
1,73	0,632962	3,325050	2,246669	1,479991	0,843124
1,74	0,630508	3,365533	2,262893	1,487270	0,838860
1,75	0,628089	3,406250	2,279070	1,494579	0,834565
1,76	0,625705	3,447200	2,295199	1,501918	0,830242
1,77	0,623354	3,488383	2,311279	1,509287	0,825891
1,78	0,621037	3,529800	2,327310	1,516687	0,821513
1,79	0,618753	3,571450	2,343292	1,524117	0,817111
1,80	0,616501	3,613333	2,359223	1,531578	0,812684
1,81	0,614281	3,655450	2,375104	1,539069	0,808234
1,82	0,612091	3,697800	2,390934	1,546592	0,803763
1,83	0,609931	3,740383	2,406712	1,554146	0,799271
1,84	0,607802	3,783200	2,422438	1,561732	0,794761
1,85	0,605701	3,826250	2,438112	1,569349	0,790232
1,86	0,603629	3,869533	2,453733	1,576999	0,785686
1,87	0,601585	3,913050	2,469301	1,584680	0,781125

Cont. Tabla 7 Onda de Choque Normal (k = 1,4)

M ₁	M ₂	P ₂ /P ₁	ρ ₂ /ρ ₁	T ₂ /T ₁	P ₀₂ /P ₀₁
1,88	0,599569	3,956800	2,484814	1,592393	0,776549
1,89	0,597579	4,000783	2,500274	1,600138	0,771959
1,90	0,595616	4,045000	2,515679	1,607916	0,767357
1,91	0,593680	4,089450	2,531030	1,615726	0,762743
1,92	0,591769	4,134133	2,546325	1,623568	0,758119
1,93	0,589883	4,179050	2,561565	1,631444	0,753486
1,94	0,588022	4,224200	2,576749	1,639352	0,748844
1,95	0,586185	4,269583	2,591877	1,647294	0,744195
1,96	0,584372	4,315200	2,606949	1,655268	0,739540
1,97	0,582582	4,361050	2,621964	1,663276	0,734879
1,98	0,580816	4,407133	2,636922	1,671317	0,730214
1,99	0,579072	4,453450	2,651823	1,679392	0,725545
2,00	0,577350	4,500000	2,666667	1,687500	0,720874
2,01	0,575650	4,546783	2,681453	1,695642	0,716201
2,02	0,573972	4,593800	2,696181	1,703817	0,711527
2,03	0,572315	4,641050	2,710851	1,712027	0,706853
2,04	0,570679	4,688533	2,725463	1,720271	0,702180
2,05	0,569063	4,736250	2,740016	1,728548	0,697508
2,06	0,567467	4,784200	2,754511	1,736860	0,692839
2,07	0,565890	4,832383	2,768947	1,745206	0,688174
2,08	0,564334	4,880800	2,783325	1,753586	0,683512
2,09	0,562796	4,929450	2,797643	1,762001	0,678855
2,10	0,561277	4,978333	2,811902	1,770450	0,674203
2,11	0,559776	5,027450	2,826102	1,778934	0,669558
2,12	0,558294	5,076800	2,840243	1,787453	0,664919
2,13	0,556830	5,126383	2,854324	1,796006	0,660288
2,14	0,555383	5,176200	2,868345	1,804594	0,655666
2,15	0,553953	5,226250	2,882307	1,813218	0,651052
2,16	0,552541	5,276533	2,896209	1,821876	0,646447
2,17	0,551145	5,327050	2,910052	1,830569	0,641853
2,18	0,549766	5,377800	2,923834	1,839297	0,637269
2,19	0,548403	5,428783	2,937557	1,848061	0,632697
2,20	0,547056	5,480000	2,951220	1,856860	0,628136
2,21	0,545724	5,531450	2,964822	1,865694	0,623588
2,22	0,544409	5,583133	2,978365	1,874563	0,619053
2,23	0,543108	5,635050	2,991848	1,883468	0,614531
2,24	0,541822	5,687200	3,005271	1,892409	0,610023
2,25	0,540552	5,739583	3,018634	1,901385	0,605530
2,26	0,539295	5,792200	3,031936	1,910396	0,601051
2,27	0,538053	5,845050	3,045179	1,919444	0,596588
2,28	0,536825	5,898133	3,058362	1,928527	0,592140
2,29	0,535611	5,951450	3,071485	1,937646	0,587709
2,30	0,534411	6,005000	3,084548	1,946801	0,583295
2,31	0,533224	6,058783	3,097551	1,955991	0,578897

M ₁	M ₂	P ₂ /P ₁	ρ ₂ /ρ ₁	T ₂ /T ₁	P ₀₂ /P ₀₁
2,32	0,532051	6,112800	3,110495	1,965218	0,574517
2,33	0,530890	6,167050	3,123378	1,974481	0,570154
2,34	0,529743	6,221533	3,136202	1,983779	0,565810
2,35	0,528608	6,276250	3,148967	1,993114	0,561484
2,36	0,527486	6,331200	3,161671	2,002485	0,557177
2,37	0,526376	6,386383	3,174316	2,011892	0,552889
2,38	0,525278	6,441800	3,186902	2,021336	0,548621
2,39	0,524192	6,497450	3,199429	2,030816	0,544372
2,40	0,523118	6,553333	3,211896	2,040332	0,540144
2,41	0,522055	6,609450	3,224304	2,049884	0,535936
2,42	0,521004	6,665800	3,236653	2,059473	0,531748
2,43	0,519964	6,722383	3,248943	2,069098	0,527581
2,44	0,518936	6,779200	3,261174	2,078760	0,523435
2,45	0,517918	6,836250	3,273347	2,088459	0,519311
2,46	0,516911	6,893533	3,285461	2,098194	0,515208
2,47	0,515915	6,951050	3,297516	2,107965	0,511126
2,48	0,514929	7,008800	3,309514	2,117773	0,507067
2,49	0,513954	7,066783	3,321452	2,127618	0,503030
2,50	0,512989	7,125000	3,333333	2,137500	0,499015
2,51	0,512034	7,183450	3,345156	2,147418	0,495022
2,52	0,511089	7,242133	3,356921	2,157374	0,491052
2,53	0,510154	7,301050	3,368629	2,167366	0,487105
2,54	0,509228	7,360200	3,380279	2,177394	0,483181
2,55	0,508312	7,419583	3,391871	2,187460	0,479280
2,56	0,507406	7,479200	3,403407	2,197563	0,475402
2,57	0,506509	7,539050	3,414885	2,207702	0,471547
2,58	0,505620	7,599133	3,426307	2,217879	0,467715
2,59	0,504741	7,659450	3,437671	2,228093	0,463907
2,60	0,503871	7,720000	3,448980	2,238343	0,460123
2,61	0,503010	7,780783	3,460231	2,248631	0,456362
2,62	0,502157	7,841800	3,471427	2,258956	0,452625
2,63	0,501313	7,903050	3,482567	2,269318	0,448912
2,64	0,500477	7,964533	3,493651	2,279717	0,445223
2,65	0,499649	8,026250	3,504679	2,290153	0,441557
2,66	0,498830	8,088200	3,515651	2,300626	0,437916
2,67	0,498019	8,150383	3,526569	2,311137	0,434298
2,68	0,497216	8,212800	3,537431	2,321685	0,430705
2,69	0,496421	8,275450	3,548238	2,332270	0,427136
2,70	0,495634	8,338333	3,558991	2,342892	0,423590
2,71	0,494854	8,401450	3,569689	2,353552	0,420069
2,72	0,494082	8,464800	3,580333	2,364249	0,416572
2,73	0,493317	8,528383	3,590923	2,374984	0,413099
2,74	0,492560	8,592200	3,601458	2,385756	0,409650
2,75	0,491810	8,656250	3,611940	2,396565	0,406226

Cont. Tabla 7 Onda de Choque Normal (k = 1,4)

M ₁	M ₂	P ₂ /P ₁	ρ ₂ /ρ ₁	T ₂ /T ₁	P ₀₂ /P ₀₁
2,76	0,491068	8,720533	3,622369	2,407412	0,402825
2,77	0,490332	8,785050	3,632744	2,418296	0,399449
2,78	0,489604	8,849800	3,643066	2,429218	0,396096
2,79	0,488882	8,914783	3,653335	2,440177	0,392768
2,80	0,488167	8,980000	3,663551	2,451173	0,389464
2,81	0,487459	9,045450	3,673715	2,462208	0,386184
2,82	0,486758	9,111133	3,683827	2,473279	0,382927
2,83	0,486064	9,177050	3,693886	2,484389	0,379695
2,84	0,485376	9,243200	3,703894	2,495536	0,376486
2,85	0,484694	9,309583	3,713850	2,506720	0,373302
2,86	0,484019	9,376200	3,723755	2,517942	0,370141
2,87	0,483350	9,443050	3,733608	2,529202	0,367003
2,88	0,482687	9,510133	3,743411	2,540500	0,363890
2,89	0,482030	9,577450	3,753162	2,551835	0,360800
2,90	0,481380	9,645000	3,762864	2,563207	0,357733
2,91	0,480735	9,712783	3,772514	2,574618	0,354690
2,92	0,480096	9,780800	3,782115	2,586066	0,351670
2,93	0,479463	9,849050	3,791666	2,597552	0,348674
2,94	0,478836	9,917533	3,801167	2,609076	0,345701
2,95	0,478215	9,986250	3,810619	2,620638	0,342750
2,96	0,477599	10,055200	3,820021	2,632237	0,339823
2,97	0,476989	10,124383	3,829374	2,643874	0,336919
2,98	0,476384	10,193800	3,838679	2,655549	0,334038
2,99	0,475785	10,263450	3,847935	2,667262	0,331180
3,00	0,475191	10,333333	3,857143	2,679012	0,328344
3,01	0,474602	10,403450	3,866303	2,690801	0,325531
3,02	0,474019	10,473800	3,875414	2,702627	0,322740
3,03	0,473441	10,544383	3,884478	2,714491	0,319972
3,04	0,472868	10,615200	3,893495	2,726394	0,317226
3,05	0,472300	10,686250	3,902465	2,738334	0,314502
3,06	0,471737	10,757533	3,911387	2,750312	0,311800
3,07	0,471179	10,829050	3,920263	2,762328	0,309120
3,08	0,470625	10,900800	3,929092	2,774381	0,306462
3,09	0,470077	10,972783	3,937875	2,786473	0,303826
3,10	0,469534	11,045000	3,946612	2,798603	0,301211
3,11	0,468995	11,117450	3,955303	2,810771	0,298618
3,12	0,468460	11,190133	3,963948	2,822977	0,296046
3,13	0,467931	11,263050	3,972548	2,835220	0,293496
3,14	0,467406	11,336200	3,981103	2,847502	0,290967
3,15	0,466885	11,409583	3,989613	2,859822	0,288458
3,16	0,466369	11,483200	3,998078	2,872180	0,285971
3,17	0,465858	11,557050	4,006499	2,884576	0,283505
3,18	0,465350	11,631133	4,014875	2,897010	0,281059
3,19	0,464847	11,705450	4,023208	2,909482	0,278633

M ₁	M ₂	P ₂ /P ₁	ρ ₂ /ρ ₁	T ₂ /T ₁	P ₀₂ /P ₀₁
3,20	0,464349	11,780000	4,031496	2,921992	0,276229
3,21	0,463854	11,854783	4,039741	2,934540	0,273844
3,22	0,463364	11,929800	4,047943	2,947127	0,271480
3,23	0,462878	12,005050	4,056101	2,959751	0,269135
3,24	0,462395	12,080533	4,064216	2,972414	0,266811
3,25	0,461917	12,156250	4,072289	2,985115	0,264506
3,26	0,461443	12,232200	4,080319	2,997854	0,262221
3,27	0,460973	12,308383	4,088307	3,010631	0,259956
3,28	0,460507	12,384800	4,096253	3,023446	0,257710
3,29	0,460044	12,461450	4,104158	3,036299	0,255483
3,30	0,459586	12,538333	4,112020	3,049191	0,253276
3,31	0,459131	12,615450	4,119841	3,062120	0,251087
3,32	0,458680	12,692800	4,127621	3,075088	0,248918
3,33	0,458232	12,770383	4,135360	3,088094	0,246767
3,34	0,457788	12,848200	4,143059	3,101139	0,244635
3,35	0,457348	12,926250	4,150717	3,114221	0,242521
3,36	0,456912	13,004533	4,158334	3,127342	0,240426
3,37	0,456479	13,083050	4,165912	3,140501	0,238349
3,38	0,456049	13,161800	4,173449	3,153698	0,236290
3,39	0,455623	13,240783	4,180947	3,166934	0,234249
3,40	0,455200	13,320000	4,188406	3,180208	0,232226
3,41	0,454781	13,399450	4,195825	3,193520	0,230220
3,42	0,454365	13,479133	4,203205	3,206870	0,228232
3,43	0,453952	13,559050	4,210547	3,220259	0,226262
3,44	0,453543	13,639200	4,217850	3,233685	0,224309
3,45	0,453137	13,719583	4,225115	3,247151	0,222373
3,46	0,452734	13,800200	4,232341	3,260654	0,220454
3,47	0,452334	13,881050	4,239530	3,274196	0,218553
3,48	0,451938	13,962133	4,246680	3,287776	0,216668
3,49	0,451544	14,043450	4,253794	3,301394	0,214799
3,50	0,451154	14,125000	4,260870	3,315051	0,212948
3,51	0,450767	14,206783	4,267908	3,328746	0,211112
3,52	0,450382	14,288800	4,274910	3,342479	0,209293
3,53	0,450001	14,371050	4,281876	3,356251	0,207490
3,54	0,449623	14,453533	4,288804	3,370061	0,205704
3,55	0,449247	14,536250	4,295697	3,383910	0,203933
3,56	0,448875	14,619200	4,302553	3,397797	0,202177
3,57	0,448505	14,702383	4,309373	3,411722	0,200438
3,58	0,448138	14,785800	4,316158	3,425685	0,198714
3,59	0,447774	14,869450	4,322907	3,439687	0,197006
3,60	0,447413	14,953333	4,329621	3,453728	0,195312
3,61	0,447054	15,037450	4,336300	3,467806	0,193634
3,62	0,446699	15,121800	4,342944	3,481924	0,191971
3,63	0,446346	15,206383	4,349554	3,496079	0,190323

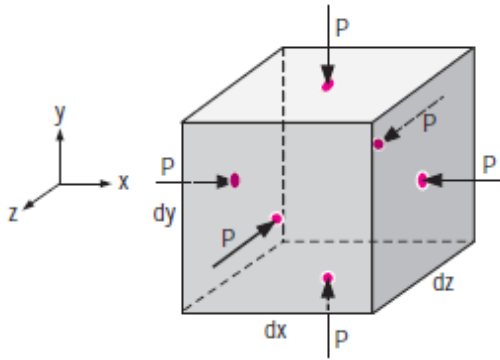
Cont. Tabla 7 Onda de Choque Normal (k = 1,4)

M ₁	M ₂	P ₂ /P ₁	ρ ₂ /ρ ₁	T ₂ /T ₁	P ₀₂ /P ₀₁
3,64	0,445995	15,291200	4,356128	3,510273	0,188690
3,65	0,445648	15,376250	4,362669	3,524505	0,187071
3,66	0,445302	15,461533	4,369175	3,538776	0,185467
3,67	0,444960	15,547050	4,375648	3,553085	0,183877
3,68	0,444620	15,632800	4,382086	3,567433	0,182302
3,69	0,444283	15,718783	4,388492	3,581819	0,180741
3,70	0,443948	15,805000	4,394864	3,596244	0,179194
3,71	0,443615	15,891450	4,401202	3,610707	0,177660
3,72	0,443285	15,978133	4,407508	3,625208	0,176141
3,73	0,442958	16,065050	4,413781	3,639748	0,174636
3,74	0,442633	16,152200	4,420021	3,654326	0,173143
3,75	0,442310	16,239583	4,426230	3,668943	0,171665
3,76	0,441990	16,327200	4,432405	3,683598	0,170200
3,77	0,441672	16,415050	4,438549	3,698292	0,168748
3,78	0,441356	16,503133	4,444661	3,713024	0,167309
3,79	0,441043	16,591450	4,450741	3,727795	0,165883
3,80	0,440732	16,680000	4,456790	3,742604	0,164470
3,81	0,440423	16,768783	4,462808	3,757452	0,163070
3,82	0,440117	16,857800	4,468794	3,772338	0,161683
3,83	0,439812	16,947050	4,474749	3,787262	0,160308
3,84	0,439510	17,036533	4,480674	3,802225	0,158946
3,85	0,439210	17,126250	4,486568	3,817227	0,157596
3,86	0,438912	17,216200	4,492432	3,832267	0,156258
3,87	0,438617	17,306383	4,498265	3,847346	0,154932
3,88	0,438323	17,396800	4,504069	3,862463	0,153619
3,89	0,438032	17,487450	4,509842	3,877619	0,152317
3,90	0,437742	17,578333	4,515586	3,892813	0,151027
3,91	0,437455	17,669450	4,521301	3,908046	0,149749
3,92	0,437170	17,760800	4,526986	3,923317	0,148483
3,93	0,436887	17,852383	4,532641	3,938627	0,147228
3,94	0,436605	17,944200	4,538268	3,953975	0,145984
3,95	0,436326	18,036250	4,543866	3,969362	0,144752
3,96	0,436049	18,128533	4,549435	3,984788	0,143531
3,97	0,435773	18,221050	4,554976	4,000252	0,142321
3,98	0,435500	18,313800	4,560488	4,015754	0,141122
3,99	0,435228	18,406783	4,565972	4,031295	0,139934
4,00	0,434959	18,500000	4,571429	4,046875	0,138756
4,01	0,434691	18,593450	4,576857	4,062493	0,137590
4,02	0,434425	18,687133	4,582257	4,078150	0,136434
4,03	0,434161	18,781050	4,587630	4,093845	0,135288
4,04	0,433899	18,875200	4,592976	4,109579	0,134153
4,05	0,433638	18,969583	4,598295	4,125352	0,133028
4,06	0,433380	19,064200	4,603586	4,141163	0,131914
4,07	0,433123	19,159050	4,608850	4,157013	0,130809

M ₁	M ₂	P ₂ /P ₁	ρ ₂ /ρ ₁	T ₂ /T ₁	P ₀₂ /P ₀₁
4,08	0,432868	19,254133	4,614088	4,172901	0,129715
4,09	0,432614	19,349450	4,619299	4,188828	0,128631
4,10	0,432363	19,445000	4,624484	4,204793	0,127556
4,11	0,432113	19,540783	4,629643	4,220797	0,126491
4,12	0,431865	19,636800	4,634775	4,236840	0,125436
4,13	0,431618	19,733050	4,639881	4,252921	0,124391
4,14	0,431373	19,829533	4,644962	4,269041	0,123355
4,15	0,431130	19,926250	4,650017	4,285200	0,122328
4,16	0,430888	20,023200	4,655046	4,301397	0,121311
4,17	0,430648	20,120383	4,660050	4,317632	0,120303
4,18	0,430410	20,217800	4,665029	4,333907	0,119304
4,19	0,430173	20,315450	4,669983	4,350219	0,118314
4,20	0,429938	20,413333	4,674912	4,366571	0,117334
4,21	0,429704	20,511450	4,679816	4,382961	0,116362
4,22	0,429472	20,609800	4,684695	4,399390	0,115399
4,23	0,429241	20,708383	4,689550	4,415857	0,114444
4,24	0,429012	20,807200	4,694381	4,432363	0,113498
4,25	0,428785	20,906250	4,699187	4,448908	0,112561
4,26	0,428559	21,005533	4,703969	4,465491	0,111633
4,27	0,428334	21,105050	4,708728	4,482113	0,110712
4,28	0,428111	21,204800	4,713462	4,498774	0,109801
4,29	0,427890	21,304783	4,718173	4,515473	0,108897
4,30	0,427669	21,405000	4,722861	4,532211	0,108002
4,31	0,427451	21,505450	4,727525	4,548987	0,107114
4,32	0,427233	21,606133	4,732166	4,565802	0,106235
4,33	0,427018	21,707050	4,736784	4,582656	0,105364
4,34	0,426803	21,808200	4,741378	4,599548	0,104500
4,35	0,426590	21,909583	4,745950	4,616480	0,103644
4,36	0,426378	22,011200	4,750500	4,633449	0,102796
4,37	0,426168	22,113050	4,755027	4,650458	0,101956
4,38	0,425959	22,215133	4,759531	4,667505	0,101124
4,39	0,425751	22,317450	4,764013	4,684590	0,100298
4,40	0,425545	22,420000	4,768473	4,701715	0,099481
4,41	0,425340	22,522783	4,772911	4,718878	0,098670
4,42	0,425136	22,625800	4,777327	4,736080	0,097867
4,43	0,424934	22,729050	4,781721	4,753320	0,097071
4,44	0,424732	22,832533	4,786093	4,770599	0,096283
4,45	0,424532	22,936250	4,790445	4,787917	0,095501
4,46	0,424334	23,040200	4,794774	4,805273	0,094727
4,47	0,424136	23,144383	4,799082	4,822668	0,093959
4,48	0,423940	23,248800	4,803370	4,840102	0,093199
4,49	0,423745	23,353450	4,807636	4,857575	0,092445
4,50	0,423552	23,458333	4,811881	4,875086	0,091698

ANEXO 5 TENSOR DE TENSIONES, EC. DE CONTINUIDAD, NAVIER-STOKES

Tensor de tensiones para Fluido en Reposo:



$$\sigma_{ij} = \begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -P & 0 & 0 \\ 0 & -P & 0 \\ 0 & 0 & -P \end{pmatrix}$$

Presion Media:

$$P_m = -\frac{1}{3}(\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz})$$

Tensor de tensiones para Fluido en Movimiento:

$$\sigma_{ij} = \begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -P & 0 & 0 \\ 0 & -P & 0 \\ 0 & 0 & -P \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \tau_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \tau_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \tau_{zz} \end{pmatrix}$$

Tensor de tensiones viscoso para flujo newtoniano incompresible:

$$\tau_{ij} = 2\mu\epsilon_{ij}$$

$$\tau_{ij} = \begin{pmatrix} \tau_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \tau_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \tau_{zz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} & \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) & \mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \\ \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) & 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} & \mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \\ \mu \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) & \mu \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) & 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} \end{pmatrix}$$

Tensor de tensiones para Fluido en Movimiento:

$$\sigma_{ij} = \begin{pmatrix} -P & 0 & 0 \\ 0 & -P & 0 \\ 0 & 0 & -P \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} & \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) & \mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \\ \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) & 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} & \mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \\ \mu \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) & \mu \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) & 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} \end{pmatrix}$$

Incompressible continuity equation:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

x-component of the incompressible Navier–Stokes equation:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

y-component of the incompressible Navier–Stokes equation:

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \rho g_y + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right)$$

z-component of the incompressible Navier–Stokes equation:

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right)$$

Bibliografía:

- Guía de Trabajos Prácticos de Mecánica de los Fluidos, Ing. Nahuel Castello, UTN FRH.
- Apuntes de Clase Teórica de Mecánica de los Fluidos, Ing. Nahuel Castello, UTN FRH.
- Gas Dynamics; Zucrow M. J., Hoffman J. D.; Ed. Jhon Wiley and Son.
- Fundamentals of aerodynamics 2nd Edition; Anderson J.D., Ed. McGraw-Hill.
- The Dynamics and Thermodynamics of Compressible fluid flow, VOL. 1 y VOL. 2, Shapiro A. H.; Ed. McGraw-Hill.
- Introducción a la Mecánica de los Fluidos 2da Edición; Fox R. W., McDonald A. T., ed. Graw-Hill-Interamericana.
- Mecánica de los Fluidos, Frank M. White, ed. MacGraw-Hill.