

MECÁNICA – UNIDAD 05

MECÁNICA DE FLUIDOS

INDICADORES DE DESEMPEÑO

- i) Describe el comportamiento de la materia a nivel atómico y molecular, utilizando elementos básicos de fuerza, energía y trabajo.
- ii) Resuelve problemas, cuantifica y predice las características del movimiento de cuerpos y sus causas, ya sea de un modo reduccionista, sinérgico, holístico y/o emergente, a fin de aplicar la conceptualización de energía y fuerza, propio de la Mecánica Clásica.
- iii) Interpreta los resultados obtenidos a partir de la aplicación de las Leyes de la Física con el fin de inferir alguna propiedad, comportamiento o característica observable de la materia en alguna escala en particular (microscópica, intermedia o macroscópica).
- iv) Planifica un desarrollo esquemático de la estrategia de solución de un desafío físico.

GUÍA DE APRENDIZAJE

Se resalta el generar primeramente un esquema gráfico del enunciado del problema.

Para tal efecto presentamos una estructura para resolver problemas:

1. Lea detenidamente el enunciado, tratando de entender qué se está preguntando. Destaque o subraye lo que considera importante.
2. Represente el enunciado en un bosquejo, identificando las cargas, campos, cuerpos, etc., que están interactuando. Ponga nombres o conceptos a los componentes para un mejor entendimiento.
3. Construya un diagrama, con ejes de coordenadas correctamente contruidos, donde se indiquen las variables, fuerzas, campos, interacciones, etc. presentes o que podrían modificar el resultado.
4. Realice al trabajo algebraico pertinente. Recuerde ser muy ordenado(a) en su desarrollo, considere ortografía y gramática.
5. Responda explícitamente la pregunta. Por ejemplo: "la fuerza eléctrica es...", "el campo eléctrico apunta hacia...", "el vector fuerza eléctrica es $F = A_i + B_j$, o "el vector E vale (A, B) ", etc. Considere e incluya el carácter vectorial de las magnitudes físicas. No confunda escalares con vectores.

Habilidades de Pensamiento

HP01: Conocer y comprender.

HP02: Analizar.

HP03: Utilizar.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE MECÁNICA DE FLUIDOS

i) Presión hidrostática:

$$P = \rho gh$$

Presión atmosférica a nivel del mar: 101325 Pa

ii) Fuerza de empuje:

$$E = (\rho V_D) g$$

iii) Teorema de Bernoulli:

$$\rho v^2/2 + \rho gh + P = \text{cte (energía por unidad de volumen)}$$

Caudal: $A v$, medido en m^3/s

Flujo másico o "Gasto": ρC , medido en Kg/s

Ecuación de continuidad: $A v = \text{cte}$

iv) El esfuerzo cortante experimentado por un fluido es igual a:

$$\sigma = (\text{Fuerza cortante})/\text{Area.}$$

v) El gradiente de velocidades γ se determina a partir del perfil de velocidades por medio de: $\gamma = \Delta v/\Delta(\text{espacio})$, donde "espacio" puede ser x, y, z, r , etc.

vi) Un reograma corresponde al gráfico σ vs γ .

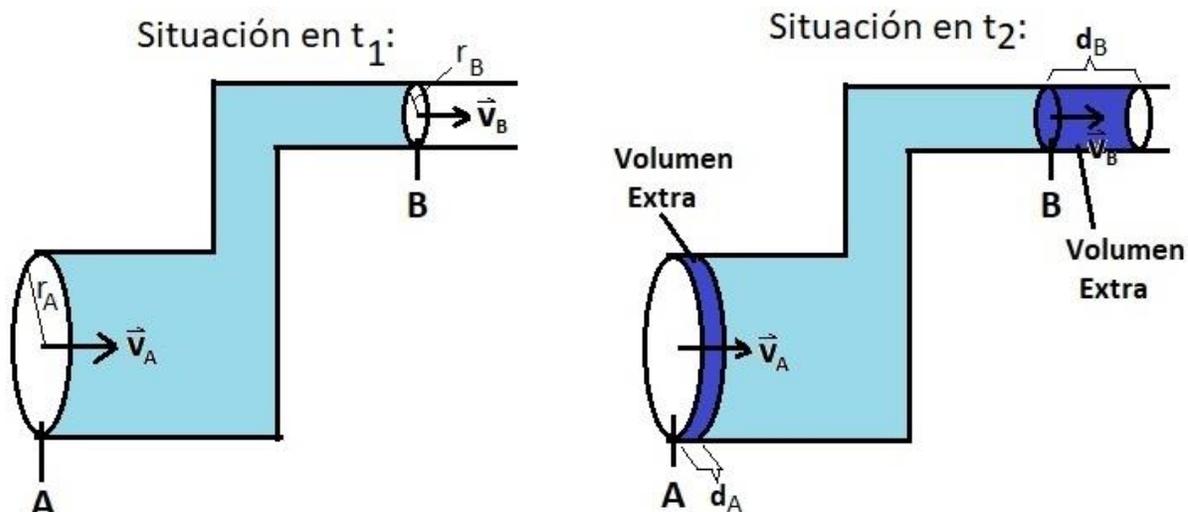
vii) La viscosidad η corresponde a la pendiente de la curva del reograma.

viii) Los fluidos se pueden clasificar en Newtonianos y no Newtonianos.

Los fluidos no Newtonianos pueden ser sin memoria (Dilatante y Pseudoplastico) y con memoria (Tixotrópico y Reopéctico).

Ejemplo de Análisis-01

Se tiene una tubería por el cual se desplaza cierto fluido, de acuerdo con el siguiente esquema:



Determine el volumen del fluido extra que se desplaza en los puntos de control A y B en un intervalo de tiempo $\Delta t = t_2 - t_1$.

Solución.

El volumen extra es igual al volumen de un cilindro generado en un intervalo de tiempo $t_2 - t_1$.

$$\text{En el caso de A: } \text{Vol}_A = (\pi r_A^2) d_A = \pi r_A^2 (v_A \Delta t)$$

$$\text{En el caso de B: } \text{Vol}_B = (\pi r_B^2) d_B = \pi r_B^2 (v_B \Delta t)$$

Preguntas:

a) ¿Cómo calcular el caudal en A y en B?

R: Definición de caudal = $\text{Vol}/\Delta t$ y queda medido en m^3/s .

Luego:

$$\text{Caudal}_A = \pi r_A^2 v_A$$

$$\text{Caudal}_B = \pi r_B^2 v_B$$

b) ¿Qué ocurre si la densidad del fluido permanece constante?

R: $\text{Vol}_A = \text{Vol}_B$, dado que es el mismo $\Delta t = t_2 - t_1$.

Después de igualar, se obtiene: $r_A^2 v_A = r_B^2 v_B$

Esto implica que $\text{Caudal}_A = \text{Caudal}_B$, cuando la densidad es constante.

c) ¿Cómo calcular la masa extra que circula por A y por B en el intervalo de tiempo Δt ?

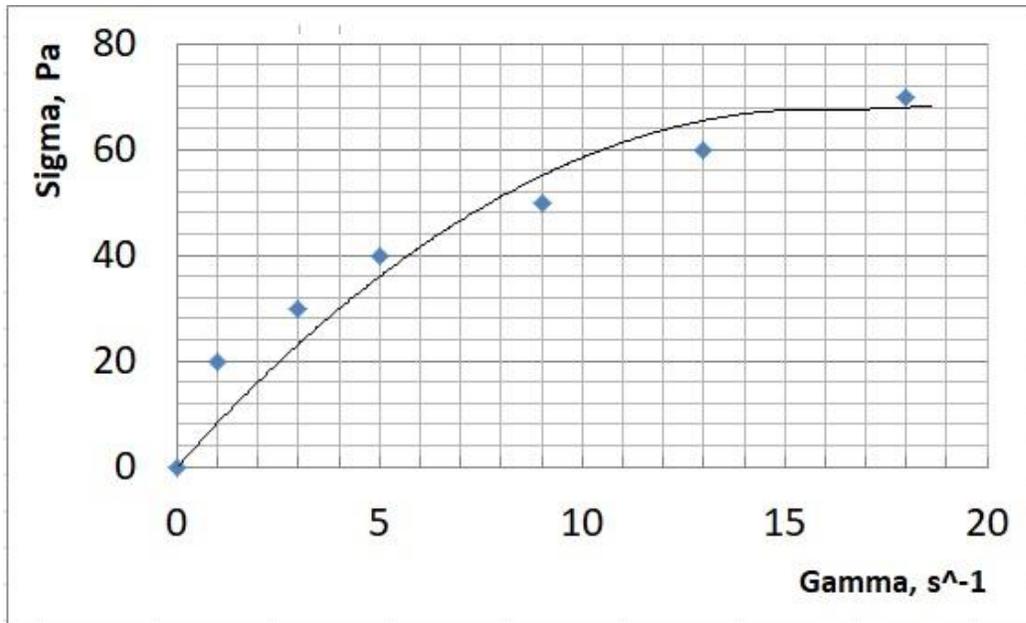
R: Multiplicando el volumen extra por la densidad correspondiente:

$$\text{Masa}_A = \rho_A \pi r_A^2 (v_A \Delta t)$$

$$M_{AB} = \rho_B \pi r_B^2 (v_B \Delta t)$$

Ejemplo de Análisis-02

El siguiente reograma caracteriza el comportamiento reológico de la mostaza comercial:



- De acuerdo con el reograma, ¿Qué tipo de fluido es la mostaza?
- Un grupo de Ingenieros piensa que la curva puede ser rectificada por medio de:
 $y(x) = K x^n$
 O equivalentemente: $\log(y) = \log(K) + n \log(x)$
 Determine los valores de K y n que permiten rectificar adecuadamente la curva.
- ¿El exponente o valor de n es consistente con el hecho de que la mostaza sea un fluido pseudoplástico?
- ¿Qué significado tiene el valor de K?

Respuestas

- Es un fluido Pseudoplástico (fluido no newtoniano sin memoria).
- Los valores adecuados son $K = 19.5$ y $n = 0.4364$.

Como obtenerlos:

Realizar un gráfico u vs v , donde $u = \log(\text{sigma})$ y $v = \log(\text{gamma})$, excluyendo obviamente $\text{gamma} = 0$. Se obtendrá una recta con pendiente 0.4364 e intercepto 1.29. Dado que la linealización se obtuvo por medio de

$\log(\sigma) = \log(K) + n \log(\gamma)$, se tendrá que $n=0.4364$, mientras que $K = 10^{1.29} = 19.5$.

Luego, $\sigma = 19.5 \times \gamma^{0.4364}$ (exponente menor que uno o curva que crece menos que una recta).

c) La afirmación es correcta. Para los fluidos sin memoria se cumplirá que:

$n = 1 \Rightarrow$ Fluido Newtoniano.

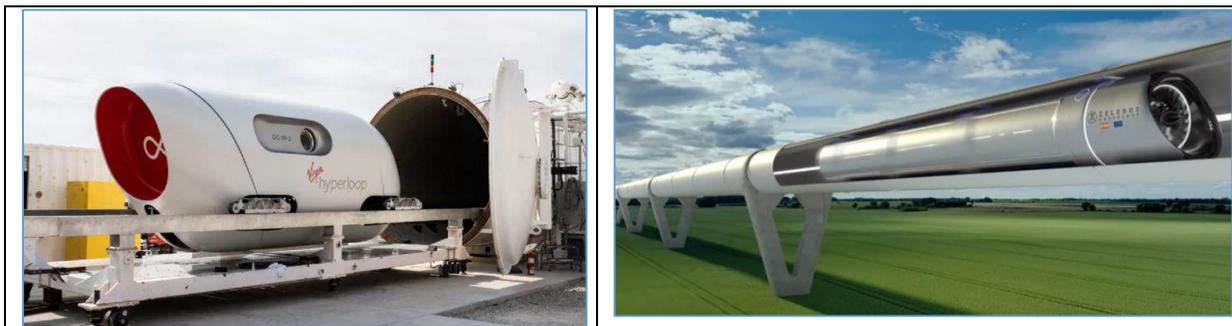
$n < 1 \Rightarrow$ Fluido Pseudoplástico.

$n > 1 \Rightarrow$ Fluido Dilatante.

d) A mayor valor de K, mayor será el esfuerzo cortante σ necesario para batir al fluido considerado, dado que $\sigma = k \gamma^n$. Luego, el valor de K nos permite cuantificar la consistencia del producto.

Importante: "batir el fluido" = generar un determinado gradiente de velocidades.

Aplicación Tecnológica de Mecánica de Fluidos: Hyperloop o tren ultrarrápido que se desplaza dentro de un tubo a baja presión (una milésima de atmósfera) con una rapidez de 1200 Km/h (igual que un avión de combate).



Donde encontrar más información y más ejercicios:

i) Física, Conceptos y Aplicaciones (Paul E. Tippens)

Capítulo 15: Fluidos (15.1, 15.2, 15.3, 15.4)

ii) Física Universitaria (Young, Freedman, Sears y Zemansky)

Capítulo 14: Mecánica de Fluidos (14-9: Viscosidad).

iii) Apuntes de Reología: www.geofisica.cl/uchile/a-fisica_2.htm

Contenidos

- 1) Afirmaciones sobre Mecánica de Fluidos
- 2) Presión hidrostática
- 3) Presión en una arteria
- 4) Principio de Arquímedes

- 5) Teorema de Bernoulli
- 6) Afirmaciones sobre Reología
- 7) Viscosidad y fluidos.

Ejercicio 1

HP01 y HP02

Se tienen las siguientes afirmaciones sobre Fluidos:

- I) Un iceberg puede flotar porque la densidad del hielo es menor que la densidad del agua líquida
- II) La fuerza neta sobre la superficie que provoca una persona que usa zapatillas es menor que la fuerza neta que genera la misma persona cuando usa zapatos de tacones delgados
- III) La constante de la Ecuación de Bernoulli es la energía por unidad de volumen transmitida por un fluido y puede ser medida en Pascales.
- IV) La presión hidrostática es la fuerza que actúa sobre un cuerpo sumergido en un fluido (aire, agua, etc.)
- V) En un sistema aislado, la energía total transmitida por un metro cúbico de un fluido incompresible es constante.
- VI) El empuje es la presión por unidad de área que permite que los objetos de baja densidad puedan flotar.

Seleccione la alternativa correcta:

- a) I y II son verdaderos
- b) III y IV son verdaderos
- c) Sólo V y VI son verdaderos
- d) VI es verdadero
- e) Ninguna de las otras cuatro alternativas es correcta

Respuestas en la última página.

Ejercicio 2

HP03

Un submarino se encuentra sumergido a 250 m de profundidad.

Obtenga:

- a) La presión total o absoluta que soportan las paredes del submarino
- b) La fuerza total que actúa sobre la escotilla sabiendo que ésta es circular y que posee un diámetro de 90 cm.

Respuestas

a) $2.45 \times 10^6 + 101325 = 2.55 \times 10^6 \text{ Pa}$

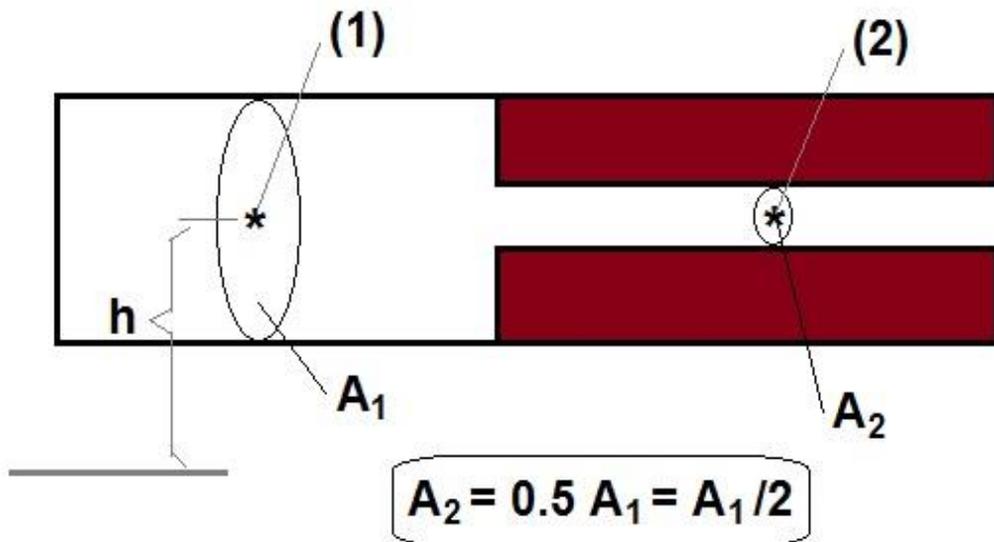
b) $P = F/A \Rightarrow F = P A = 2.55 \times 10^6 \times (\pi \times 0.45^2) = 1.62 \times 10^6 \text{ [N]}$

Ejercicio 3

HP03

La sangre al circular por las arterias presenta las siguientes características: Densidad: $\rho = 1060 \text{ Kg/m}^3$, Presión = 100 mm de Hg = 13332 Pa, rapidez = 0.11 m/s. Se sabe que para cierto paciente una placa arteriosclerótica reduce en un 50% la sección transversal de una arteria horizontal.

Obtenga el porcentaje de variación de la presión arterial debido a la acumulación de grasas en las paredes internas de la arteria.



Respuesta

Aplicando el Teorema de Bernoulli en 1 y 2, se obtiene:

Variación Porcentual = $100 \times (P_2 - P_1)/P_1 = -0.144\%$

Ejercicio 4

HP03

Se tiene cierto objeto esférico ($R=75 \text{ cm}$) de densidad constante e igual a ρ_{obj} flotando en el agua, de modo que el 80% de éste se encuentra sumergido.

Determine:

- El volumen del objeto.
- El volumen de agua desalojado

- c) La expresión del peso del objeto
- d) El valor del empuje
- e) El valor de la densidad del objeto.

Solución

- a) $V = (4/3)\pi R^3 = 1.767 \text{ m}^3$
- b) $V_D = 0.8 \times 1.767 = 1.414 \text{ m}^3$
- c) $P = mg = (\rho_{\text{obj}} V)g = 17.32 \rho_{\text{obj}}$
- d) $E = (\rho V_D) g = 13857 \text{ [N]}$
- e) $P = E \Rightarrow 17.32 \rho_{\text{obj}} = 13857 \Rightarrow \rho_{\text{obj}} = 800 \text{ Kg/m}^3$

Ejercicio 5

HP03

Un jarabe simple (densidad= 1320 kg/m^3) se desplaza por la tubería de una fábrica, teniendo que subir del primer piso al segundo para una serie de procesos implicados en su producción. Determine la velocidad final del fluido, sabiendo que su velocidad inicial es de 30 m/s , la altura inicial es de 1 m , la altura final es de 9 m , la presión inicial es de 1 atmósfera y la final es de 3 atmósferas .

Solución

Ecuación de Bernoulli:

$$0.5 \rho v_1^2 + \rho gh_1 + P_1 = 0.5 \rho v_2^2 + \rho gh_2 + P_2$$

$$v_2 = ((2/\rho) \times (P_1 - P_2) + \rho g(h_1 - h_2) + 660 \times 30^2)^{0.5}$$

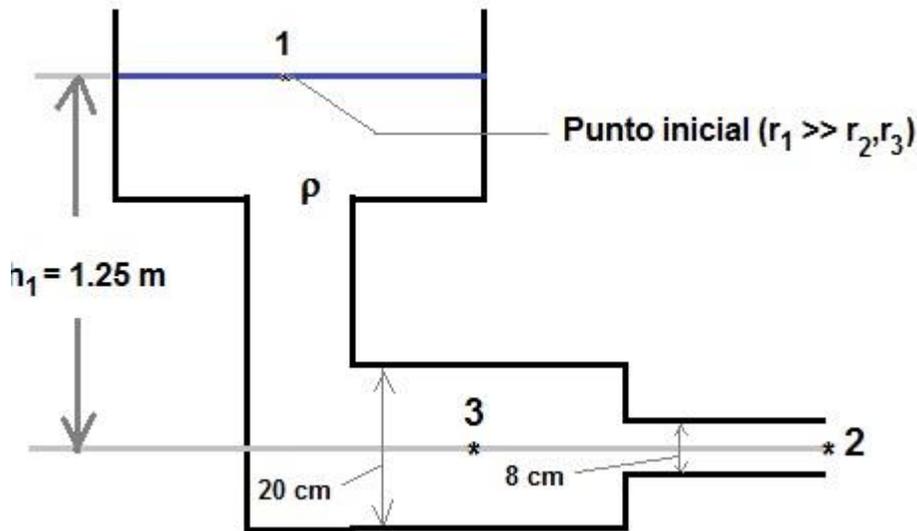
$$v_2 = 20.88 \text{ m/s}$$

Nota: Recuerde utilizar los datos en el S.I.

Ejercicio 6

HP03

Se tiene un sistema de enfriamiento de una máquina que produce alimentos. El líquido de enfriamiento tiene una densidad de 1.2 g/cm^3 y fluye de la siguiente manera por una serie de tuberías cilíndricas:



Importante:

La sección 1 es muy ancha $\Rightarrow v_1$ es prácticamente igual a cero.

P_1 y P_2 equivalen a la presión atmosférica, dado que son secciones abiertas o expuestas a la atmósfera.

Determine:

- La velocidad del fluido a la salida.
- El caudal en 2 (volumen de fluido por unidad de tiempo)
- La rapidez del fluido en 3.
- La presión absoluta en 3.

Respuestas

- Utilizando Bernoulli en 1 y 2 se obtiene que $v_2 = 5 \text{ m/s}$
- $Q_2 = A_2 \times v_2 = 0.025 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_3 = Q_2 \Rightarrow v_3 = 0.8 \text{ m/s}$
- Utilizando Bernoulli en 2 y 3 se obtiene $P_3 = P_{\text{atm}} + (14616) = 115941 \text{ Pa}$.

Ejercicio 7

HP01 y HP02

Se tienen las siguientes afirmaciones sobre Fluidos:

- En un fluido, la rapidez del flujo debe disminuir con la profundidad
- La viscosidad puede ser medida en $\text{Pa} \times \text{s}$
- En un fluido newtoniano, la viscosidad debe depender del sentido en el cual se mida (ej: aumentando sigma o disminuyendo sigma)
- El reograma de un fluido no newtoniano puede ser expresado como $\sigma = K \dot{\gamma}^n$,

con $n \neq 1$

V) En un fluido no newtoniano, la relación entre sigma y gamma es lineal.

Seleccione la alternativa correcta:

- a) III, IV y V son verdaderas
- b) I y III son verdaderas
- c) Sólo III es verdadera
- d) Sólo IV es verdaderas
- e) Ninguna de las otras cuatro alternativas es verdadera

Respuestas al final de esta guía.

Ejercicio 8

HP02

Se tienen las siguientes afirmaciones sobre Fluidos:

- I) La viscosidad puede ser medida en Newton/m²
- II) La expresión $\sigma = 1.8 \gamma^{1.9}$ corresponde a un fluido dilatante
- III) La viscosidad siempre será igual a la derivada de sigma respecto de gamma
- IV) El perfil de velocidades en una tubería es una parábola, dado que en el centro la rapidez es mínima y ésta aumenta al acercarnos a las paredes de la tubería.

Selecciona la alternativa correcta:

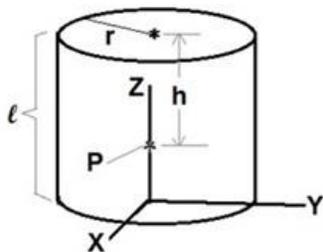
- a) I y II son verdaderas
- b) II y III son verdaderas
- c) III y IV son verdaderas
- d) Sólo I es verdadera
- e) Ninguna de las otras cuatro alternativas es verdadera.

Respuestas al final de esta guía.

Ejercicio 9

HP03

Se dispone de un recipiente conteniendo sémola ($r = 15 \text{ cm}$, $\ell = 37 \text{ cm}$, densidad = 1.47 g/cm^3) de acuerdo con la siguiente figura:



Suponga que el esfuerzo cortante en función del gradiente de velocidades es:

$$\sigma = 1.7 \gamma^{1.3} [Pa]$$

Ecuación 1

- Calcule la presión absoluta en P, sabiendo que la coordenada Z de P vale 6 cm.
- Calcule la cantidad de masa total de sémola contenida en el recipiente.
- De acuerdo con la ecuación 1, ¿Qué tipo de fluido es la sémola?
- Calcule la viscosidad de la sémola en $\gamma = 2 \text{ s}^{-1}$, utilizando $\Delta\gamma = 0.2 \text{ s}^{-1}$.

Respuestas

- 105791 Pa
- 38.45 Kg
- Es un fluido dilatante.
- $2.72 \text{ Pa} \times \text{s}$

Ejercicio 10

HP02 y HP03

Cierto fluido es estudiado del siguiente modo:

Experimento 1:

- Fuerza aplicada sobre una superficie de 1.5 cm^2 : $3 \times 10^{-4} \text{ N}$
- Rapidez del flujo obtenido en función de z:
 $v = 9 + 0.6 z \text{ [m/s]}$

Experimento 2:

- Fuerza aplicada sobre una superficie de 1.9 cm^2 : $4.8 \times 10^{-4} \text{ N}$
- Rapidez del flujo obtenido en función de z:
 $v = 15 + 0.8 z \text{ [m/s]}$

Determine:

- Sigma en el experimento 1 y en el experimento 2.
- Gamma en el experimento 1 y en el experimento 2.
- La viscosidad en $\gamma = 0.7 \text{ s}^{-1}$

Respuestas

- Sigma 1: 2 Pa, Sigma 2: 2.53 Pa
- Gamma 1: 0.6 s^{-1} , Gamma 2: 0.8 s^{-1}
- $\eta = (2.53 - 2)/(0.8 - 0.6) = 2.65 \text{ Pa} \times \text{s}$

Ejercicio 11

HP03

Cierto reograma puede expresarse en el S.I de la forma $\sigma = 3.8 \gamma^{0.5}$.

Determine:

- La expresión de la viscosidad en función de γ (utilice una derivada)
- La viscosidad en $\gamma = 1.4 \text{ s}^{-1}$

Respuestas

- $\eta = d\sigma/d\gamma = 1.9 \gamma^{-0.5}$
- $\eta = 1.9 \times 1.4^{-0.5} = 1.61 \text{ Pa} \times \text{s}$

Ejercicio 12

HP03

Usted se encuentra desempeñando su labor en una industria que trabaja con fluidos. Un empleado recién llegado le pide ayuda para poder comprender el cálculo del caudal y la presión en relación con una cañería por la cual circula glicerina para la producción de alcohol gel.

La glicerina se encuentra circulando por un sistema de cañerías, en donde en el primer punto (A), la cañería tiene un diámetro de 36 cm y fluye con una velocidad de 0.45 m/s. Luego, llega a otro punto del sistema (B) que se encuentra 3 m más alto que el primero y cuya cañería tiene un diámetro de 18 cm. Considerando que la densidad de la glicerina es de 1260 kg/m^3 , determine:

- El caudal de glicerina en el punto A.
- La energía cinética por unidad de volumen en el punto B.
- La diferencia de las presiones entre las secciones del sistema de tuberías.

Respuestas

- $0.0458 \text{ m}^3/\text{s}$
- 2041 J/m^3
- $P_A - P_B = 38958 \text{ Pa}$

Respuestas

Ejercicio 01:

Son verdaderas: I, III y V

Alternativa correcta: (e).

Respuestas del Ejercicio 07:

Son verdaderas: I, II y IV

Alternativa correcta: (e)

Respuestas del Ejercicio 08:

Son verdaderas: II y III

Alternativa correcta: (b)