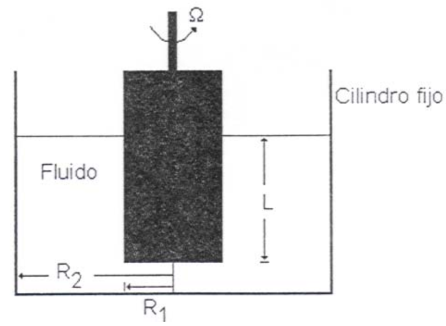
UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
DEPARTAMENTO DE TERMODINAMICA Y
FENOMENOS DE TRANSFERENCIA

**FENOMENOS DE TRANSPORTE I (TF-1221)**
**Ejercicios para el segundo parcial**
**Profs. Dosinda González y Juan Meléndez**

**PROBLEMA 1**: Para medir la viscosidad de un fluido newtoniano se dispone de un equipo de cilindros concéntricos, tal como se muestra en la figura. El cilindro exterior es fijo y posee perfectamente centrado otro cilindro macizo que rota a una velocidad angular $\Omega$, constante. En el espacio vacío se coloca el fluido cuya viscosidad se desea medir. Si la fuerza necesaria para mantener el movimiento del cilindro es F, encuentre una expresión para calcular la viscosidad del fluido en función de la geometría del sistema (L, $R_1$, $R_2$), de la velocidad angular $\Omega$ y de la fuerza aplicada F. Desprecie los efectos de borde (L >> $R_1$).



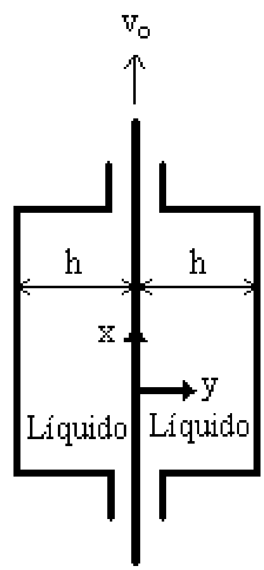

**PROBLEMA 2:** Una lámina delgada de un cierto material es arrastrada verticalmente hacia arriba a una velocidad constante $v_o$, a través de un líquido newtoniano de densidad $\rho$ y viscosidad $\mu$ contenido en una columna vertical larga de sección transversal rectangular. Un corte vertical del sistema se muestra en la figura. La columna de líquido es puesta en movimiento por la lámina, pero el flujo neto a través de cualquier sección horizontal es cero. Demuestre que el movimiento del líquido puede ser descrito por la ecuación

$$\frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} = \frac{1}{\mu}\left(\frac{\partial P}{\partial x} + \rho g\right) \text{ donde } \frac{\partial P}{\partial x} \neq 0$$

y que la fuerza total que el líquido ejerce sobre la lámina, $F_T$ está dada por:

$$\frac{F_T}{\frac{1}{2}\rho v_o^2 A} = 8\left(\frac{\rho v_o h}{\mu}\right)^{-1}$$

donde A es el área total de la superficie mojada y h es la distancia uniforme entre cada una de la superficie de la lámina y los lados de la columna. Suponga que la columna está completamente llena de líquido, que no hay fugas a través de la ranuras por las que pasa la lámina, que el movimiento del líquido es laminar y estacionario.

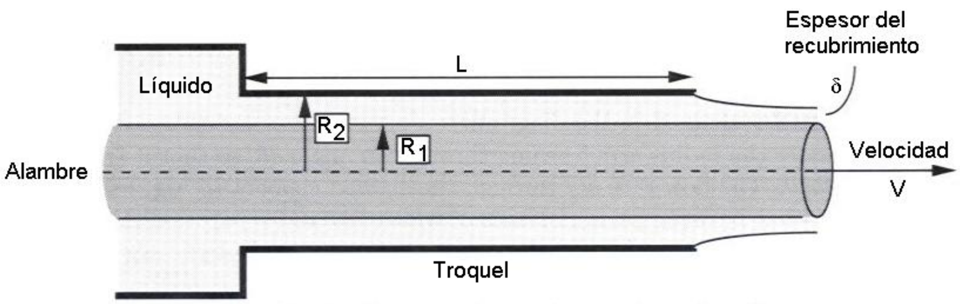



**PROBLEMA 3:** En la industria manufacturera de alambres recubiertos, el alambre se sumerge en un envase lleno del líquido recubridor y a continuación se pasa a través de un troquel el cual cepilla el líquido y deja una capa del espesor deseado ($\delta$). El proceso puede representarse como se muestra en la figura. La presión a ambos lados del troquel es la atmosférica. Determine:

a) El perfil de velocidades en el espacio anular (troquel).

b) El flujo volumétrico total (Q) que circula por el ánulo.
c) El valor límite de Q cuando $R_1$ tiende a cero.
d) El espesor final del recubrimiento ($\delta$).
e) La fuerza F necesaria para mover el alambre a través del troquel.

**Nota**: Suponga que el proceso ocurre en estado estacionario, que el líquido se comporta como newtoniano con propiedades constantes ($\rho$ y $\mu$).
Son datos del problema: $R_1$, $R_2$, L, V, $\rho$ y $\mu$.

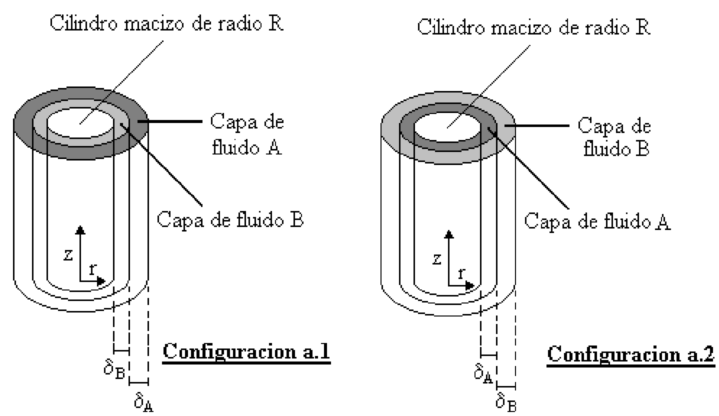



**PROBLEMA 4**: En la compañía de alimentos "Antonio" se fabrican "habaneras" para helados. Estas consisten en un cilindro hueco de barquilla de radio interno $R_1$, radio externo $R_2$ y longitud L. Para aumentar las ganancias el gerente de la fábrica decide comercializar las mismas barquillas pero recubiertas interna y externamente con una pasta de chocolate. Para facilitar el estudio económico se le pide a usted que determine la máxima cantidad de esta pasta que se empleará para recubrir 100 "habaneras". Considere que la pasta de chocolate tiene las siguientes propiedades: Fluido Bingham con $\rho$, $\mu$ y $\tau_o$ conocidos.

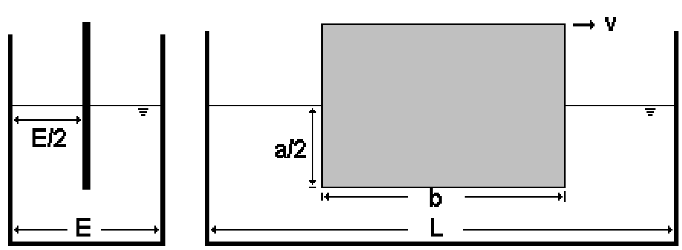
**PROBLEMA 5:** Para el tratamiento superficial de una barra cilíndrica maciza de radio R = 1 cm y longitud L (L>>R), se debe sumergir la misma en dos fluidos A y B para formar una capa no deslizante sobre la superficie de la pieza. Considere que los fluidos A y B siguen el modelo de Bingham: $\tau_{rz} = \tau_0 - \mu \cdot \dfrac{\partial v_z}{\partial r}$ ,

con $\tau_{0A}$ = 400 Pa, $\tau_{0B}$ = 700 Pa y $\mu_A$ = 3 cP, $\mu_B$ = 5 cP, $\rho_A$ = 1500 kg/m$^3$, $\rho_B$ = 500 kg/m$^3$

(a) Diga cuál es la mejor forma de recubrir la pieza para lograr un espesor total ($\delta = \delta_A + \delta_B$ ) máximo: Sumergirla primero en B y luego en A (configuración a.1) o viceversa (configuración a.2)?
(b) Calcule el valor de δ máximo en estado estacionario.
Nota: Utilice el sistema de referencia indicado en la figura.




**PROBLEMA 6:** Para estimar viscosidades de fluidos se ideó el siguiente equipo:



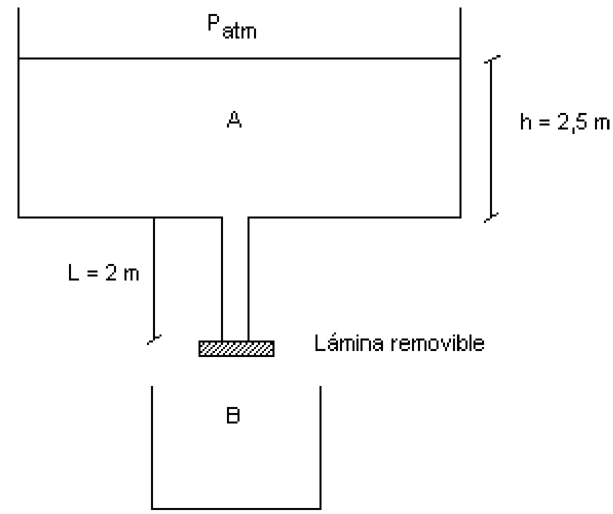

Vista frontal Vista lateral

El líquido se almacena en un envase rectangular de dimensiones L x E (L>>E) y se arrastra a través de él una lámina muy delgada con una velocidad constante v. En un dial es posible detectar la fuerza F, aplicada para lograr este movimiento.
Encuentre una expresión para determinar la viscosidad de un fluido newtoniano en función de F, v, las dimensiones de la lámina y la distancia de ésta al estanque (E/2).
Suponga despreciables los efectos de borde.

**PROBLEMA 7**

Determine la fuerza por unidad de longitud con la que se debe halar una barra maciza cilíndrica de radio $R_1$ muy larga, contenida concéntricamente en una tubería cilíndrica de radio interno $R_2$ para que la barra se mueva hacia arriba a una velocidad constante V, mientras que la tubería permanece inamovible. El espacio anular entre la barra y la tubería está relleno con un fluido newtoniano de viscosidad $\mu$ y densidad $\rho$. Suponga estado estacionario, régimen laminar y $(\partial P/\partial z)=0$ y que la densidad de la barra es $\rho_s$.

**PROBLEMA 8**: Se desea llenar un tanque de 50 L de capacidad (tanque B, ver figura). Esto se realiza removiendo la lámina colocada en el extremo inferior de una tubería de 2 m de longitud y 1 in de diámetro interno, la cual está conectada a un tanque con una gran área transversal (A), abierto a la atmósfera y que contiene fluido hasta un nivel de 2,5 m. Considerando que el nivel en el tanque A casi no varía durante el llenado del tanque B y que el flujo en la tubería es estacionario, incompresible y unidimensional, determine en cuánto tiempo se llenará el tanque B para los fluidos siguientes:

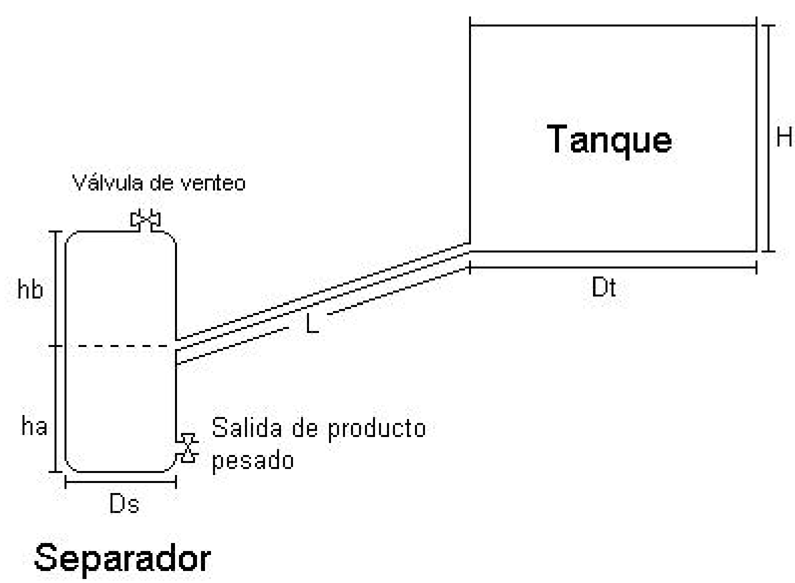



a) Fluido newtoniano con $\rho$ = 1150 kg/m$^3$ y $\mu$ = 80 mPa s.
b) Fluido que sigue la ley de la potencia: $\tau_{rz} = m\,(dv_z/dr)^n$ con m = 25 dina s$^n$/cm$^2$ , n = 0,6 y $\rho$ = 1150 kg/m$^3$.
c) El fluido sigue el modelo de Bingham con:
$\tau_0$ = 300 Pa; $\mu$ = 80 mPa s; $\rho$ = 1150 kg/m$^3$

**PROBLEMA 9:** Se desea transportar crudo desde un tanque de almacenamiento atmosférico de diámetro $D_t$ y altura H (constante) hasta un separador cilíndrico de diámetro $D_S$ y altura $(h_a+h_b)$, por una tubería de longitud L, diámetro interno d y ángulo de inclinación con respecto a la horizontal, $\alpha$. Suponga fluido newtoniano de densidad $\rho$ y viscosidad $\mu$, régimen laminar y propiedades constantes.

a. Si se abre la válvula de venteo del separador, determine el tiempo de llenado para que la altura en el separador sea ha, si originalmente estaba vacío (4 puntos).
b. Una vez alcanzada la altura ha, se cierra la válvula de venteo y se continúa llenando el separador. Determine la máxima altura de líquido a la que se puede llegar en el separador (6 puntos).

**Nota**: La válvula de salida de producto pesado va permanecer cerrada en todo el proceso de llenado del separador. Suponga que el aire dentro del separador se comporta como gas ideal a temperatura constante.



**PROBLEMA 10**: En el complejo deportivo de la Universidad Simón Bolívar hay dos piscinas, la fosa (de saltos ornamentales) y la olímpica (de natación y polo acuático). Para llenar las piscinas, se dispone del sistema que se muestra en la figura. El tramo de tubería AB de diámetro 1 in y longitud 10 m se encuentra en la superficie y surte a la fosa con una presión constante ($P_A$). El tramo de tubería CD de diámetro 1 in y longitud 2 m comunica a ambas piscinas y surte a la piscina olímpica a partir de la piscina de saltos ornamentales. Se desea llenar las piscinas con un fluido newtoniano de $\mu$=75 cp y $\rho$=1100 kg/m$^3$.

c. Si se abre la válvula V1 manteniendo la válvula V2 cerrada, determine el tiempo de llenado de la piscina de saltos ornamentales sí $P_A$= 60 psig, constante.
d. Si se cierra la válvula V1 y se abre la válvula V2, determine a qué altura se nivelan las dos piscinas.
e. Determine el tiempo requerido para alcanzar la altura calculada en b.

Nota: desprecie la caída de presión que originan las válvulas y considere que los procesos de llenado y vaciado de los tanques son muy lentos. Suponga régimen laminar.