Práctica 3: Flujos ideales incompresibles

Problema 1. Flujos singulares

Los siguientes fluidos incompresibles e ideales fluyen de tal manera que su movimiento puede ser considerado bidimensional (2D), es decir, que existe simetría de traslación en una dirección que asociaremos con el eje z.
(i) Una corriente uniforme al infinito, de velocidad constante en módulo U_∞ que forma un ángulo α con el eje x.
(ii) Una distribución lineal de fuentes o sumideros de caudal $\pm Q$ respectivamente.
(iii) Un vórtice de circulación Γ.
(iv) Un dipolo formado por una fuente y un sumidero de idéntico caudal (en módulo).
(v) Un dipolo formado por dos vórtices de circulación Γ iguales en módulo y opuestos en sentido.
Para cada flujo determine:
(a) el campo de velocidades $\vec{v}(x,y)$,
(b) el rotor $\vec{\omega}(x,y) = \vec{\nabla} \times \vec{v}$,
(c) la función de corriente $\psi(x,y)$ y el gráfico de las líneas de corriente.

Problema 2. Flujos no singulares

Para las siguientes funciones de corriente (donde a, b, c y d son constantes),
(i) $\psi(x,y) = ay$,
(ii) $\psi(x,y) = by^2$,
(iii) $\psi(x,y) = cxy$,
(iv) $\psi(x,y) = d(3x^2y - y^3)$,
determine:
(a) el campo de velocidades $\vec{v}(x,y)$,
(b) los puntos de estancamiento (los puntos del plano donde $\vec{v} = 0$),
(c) la vorticidad $\vec{\omega}(x,y)$,
(d) el gráfico de las líneas de corriente.

Problema 3. Potencial complejo

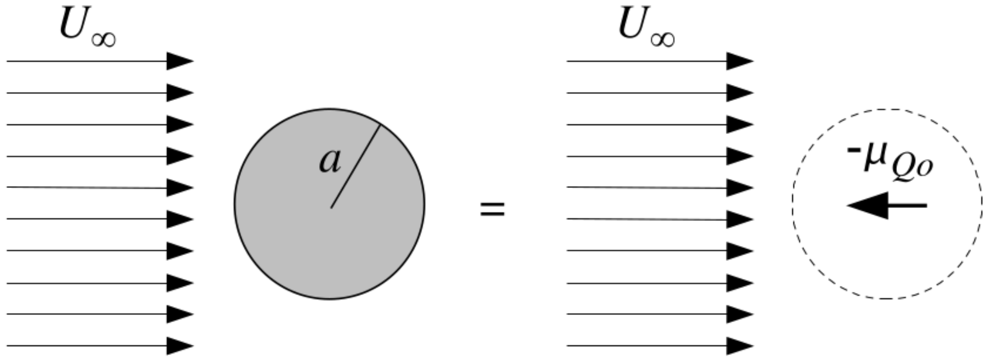
El movimiento de un fluido incompresible e irrotacional bidimensional puede ser estudiado bajo el formalismo del potencial complejo. La hipótesis de incompresibilidad conduce a la existencia de un potencial vector $\vec{A}$ que en el caso 2D se reduce a $\vec{A} = \psi(x,y)\hat{z}$ a partir del cual se puede determinar el campo de velocidades. Por otro lado, de la condición de irrotacionalidad se sigue la existencia de una función escalar $\phi(x,y)$ tal que $\vec{v} = \vec{\nabla}\phi$.
Verifique que se cumple lo siguiente:
(i) $\vec{\nabla} \cdot \vec{v} = \vec{\nabla} \cdot (\vec{\nabla} \times \vec{A}) = \vec{\nabla} \cdot \{\vec{\nabla} \times [\psi(x,y)\hat{z}]\}$.
(ii) las funciones $\psi(x,y)$ y $\phi(x,y)$ son armónicas y satisfacen las condiciones de Cauchy-Riemann.
(iii) $\dfrac{dW}{dz} = \dfrac{\partial W}{\partial x} = -i\dfrac{\partial W}{\partial y}$ donde el potencial complejo está definido como $W(z) = \phi(x,y) + i\psi(x,y)$ con $z = x + iy$.
(iv) $\dfrac{dW}{dz} = \tilde{v}^*$ donde $\tilde{v} = v_x + iv_y$.

Problema 4.

Calcule el potencial complejo de las configuraciones del Problema 1 (flujos singulares).

Problema 5. Flujo alrededor de un cilindro

La superposición del flujo producido por un dipolo de intensidad μ_{Q0} enfrentado a un flujo uniforme (ρ_0, p_0) al infinito de velocidad U_∞, genera un flujo que corresponde exactamente al flujo ideal externo de una corriente uniforme al infinito en presencia de un cilindro sólido.



(i) Calcule el potencial complejo de la configuración.
(ii) Aplicando el teorema del círculo al problema del flujo uniforme frente al cilindro de radio a, encuentre cuál debe ser el módulo de la intensidad del dipolo imagen y su dirección para que el contorno del cilindro, $|z| = a$, sea una línea de corriente.
(iii) ¿Dónde se encuentran los puntos de estancamiento?
(iv) Encuentre una expresión para la presión sobre el cilindro como función del ángulo.
(v) ¿Cuál es la fuerza que el fluido ejerce sobre el cilindro?

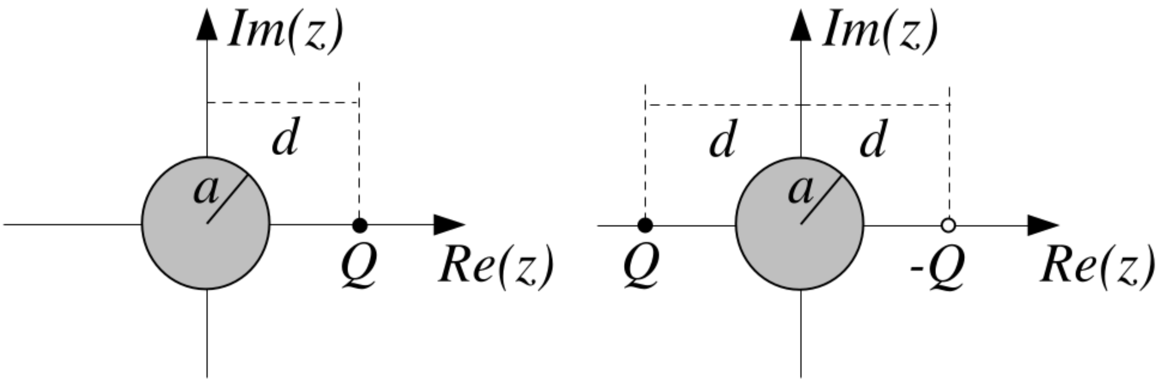
Problema 6. Flujos producidos por singularidades en presencia de contornos sólidos

Para las siguientes configuraciones de fluidos incompresibles e irrotacionales, calcule el poten- cial complejo, el potencial de velocidades, la función de corriente, el campo de velocidades y los puntos de estancamiento. Grafique cualitativamente las líneas de corriente.
(i) Una fuente (sumidero) de caudal Q $(-Q)$ ubicada a una distancia d de un plano infinito.
(ii) Idem (i) pero a una distancia $2d$ de la intersección de dos planos semi-infinitos que forman un ángulo $\pi/2$ entre ellos.
(iii) Idem (i) entre dos planos infinitos paralelos a la misma distancia d de cada uno de ellos.
(iv) Un vórtice de circulación $\Gamma > 0$ a distancia d de un plano infinito.
(v) Idem (ii) pero con un vórtice de circulación $\Gamma > 0$.
(vi) Un dipolo de intensidad μ_{Q0} y ángulo α respecto al eje real (x) a distancia d de un plano infinito. Considere luego en particular el caso $\alpha = \pi$ (el dipolo apuntando hacia el plano).

Problema 7.

Para las configuraciones de sólidos y singularidades con simetría de traslación en fluidos ideales, incompresibles e irrotacionales que se muestran en las figuras:

(i) Haga un diagrama cualitativo de la líneas de corriente.



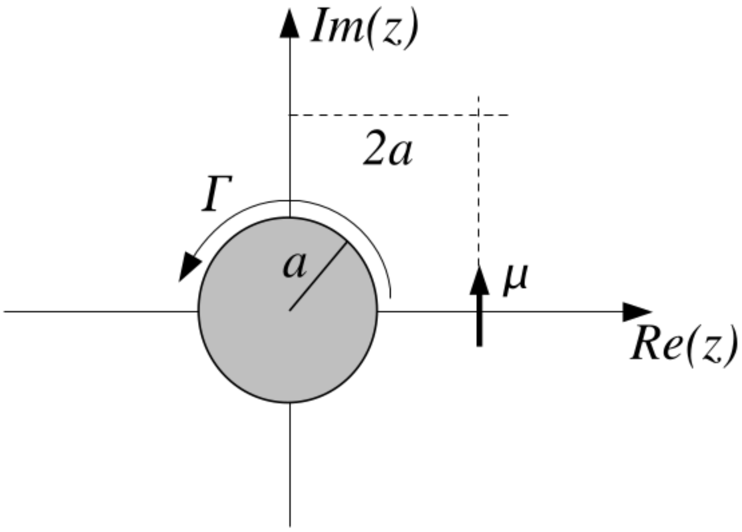
(ii) Escriba el potencial complejo.

(iii) Halle los puntos de estancamiento.

(iv) Grafique la presión como función de la posición, para puntos del contorno sólido.

Problema 8.

Se tiene un cilindro infinito de radio a con circulación atrapada Γ, inmerso en un fluido incompresible e irrotacional de densidad ρ. A una distancia $2a$ se encuentra un dipolo de intensidad μ_0 , orientado según se muestra en la figura. Halle el valor de μ_0 para que la fuerza sobre el cilindro sea nula.



Problema 9.

Calcule la fuerza que el fluido ejerce sobre el sólido para el Problema 7.

Problema 10.

Un flujo ideal e irrotacional 2D tiene una función de corriente

$$\psi(x,y) = -\frac{C(x-d)}{(x-d)^2+y^2} \quad ,$$

donde C y d son constantes reales positivas.
(i) Obtener el potencial complejo de este flujo. ¿A qué tipo de singularidad corresponde?
(ii) Se introduce en este flujo un cilindro de radio a = d/2, con centro en el origen del sistema de coordenadas y con una circulación atrapada Γ. Encontrar el potencial complejo de esta configuración.
(iii) Calcular la fuerza del flujo sobre el cilindro y obtener el valor de C para el cual esa fuerza es nula.

Problema 11.

Calcule la fuerza que sufre el cilindro para la configuración de la figura. Para ello, elija la aproximación a orden más bajo en el potencial complejo que de una fuerza sobre el cilindro no nula. ¿Dónde están los puntos de estancamiento?