

033/16

**Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Azcapotzalco**



División de Ciencias Básicas e Ingeniería

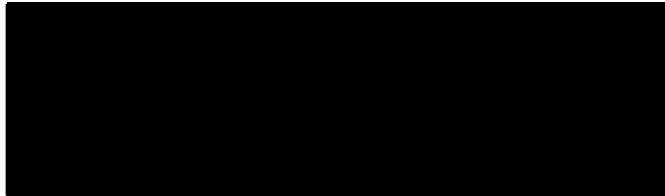
Licenciatura: Ingeniería Mecánica

Nombre del Proyecto de Integración (PI): Comparación del flujo asimétrico entre un impulsor de disco y uno de flujo axial.

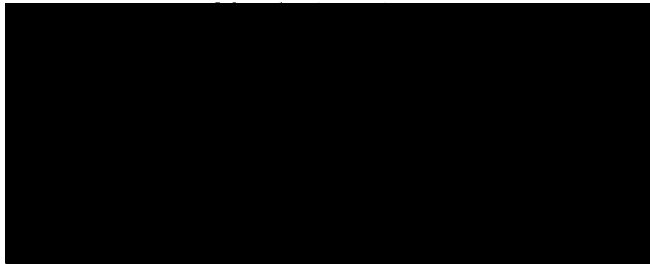
Modalidad: Proyecto de Investigación

Versión: Segunda

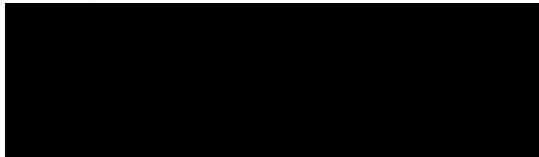
Trimestre Lectivo: 16 primavera



Datos del Alumno: Islas Vargas José Javier



Asesor: M. en C. Arturo Lizardi Ramos



Fecha: 31/08/2016



Declaratoria

En caso de que el Comité de Estudios de la Licenciatura en Ingeniería Mecánica apruebe la realización de la presente propuesta, otorgamos nuestra autorización para su publicación en la página de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería.



Arturo Lizardi Ramos

Islas Vargas José Javier

1. Introducción:

La rotación de un fluido que se mueve alrededor de un eje vertical puede ser de dos formas; movimiento como vórtice forzado y movimiento como vórtice libre o torbellino potencial. En el primer caso, cada partícula de fluido tiene la misma velocidad angular, los esfuerzos cortantes son nulos, la única aceleración que ocurre se dirige radialmente hacia adentro y hacia el eje de rotación, y se forma una superficie libre en forma de paraboloides de revolución. En el segundo caso, cada partícula se mueve con una velocidad que varía inversamente a la distancia desde el centro de rotación, el flujo generado es irrotacional, el cambio de momento angular es cero, y se forma una superficie libre en forma de hiperboloides de revolución, Fig. 1.

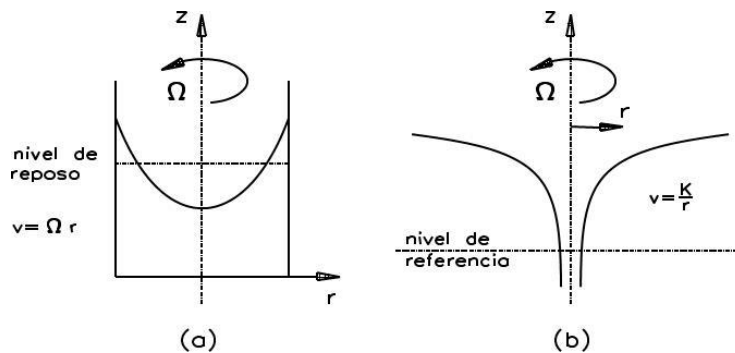


Fig. 1. Vórtice forzado (a), vórtice libre (b)

El flujo rotatorio confinado en una cámara cilíndrica vertical, que es generado por un impulsor, es importante por las diversas aplicaciones prácticas que tiene en el campo de la ingeniería y por el análisis teórico que presenta al resolver sus ecuaciones rectoras. Entre las aplicaciones prácticas se pueden mencionar el flujo en maquinaria centrífuga tal como bombas y compresores, cámaras de mezclado, aireadores tipo turbina para plantas de tratamiento de agua, etc., Fig. 2.



Fig. 2. Aplicaciones industriales del flujo rotatorio

Por otro lado, Las expresiones matemáticas que describen el comportamiento dinámico del flujo rotatorio parten de las ecuaciones de Navier-Stokes, ecuación diferencial parcial no lineal y elíptica. La no linealidad y el acoplamiento de sus términos hacen que su solución sea compleja. La característica de segundo grado de la ecuación de Navier-Stokes, genera problemas de implementación de las

condiciones de frontera para definir el problema en estudio. Las primeras derivadas restringen el uso de aproximaciones de bajo orden debido a la difusión numérica. Adicionalmente el relevante comportamiento elíptico de las ecuaciones para fluidos incompresibles, complican la determinación del campo de presiones que definen la correcta descripción del flujo. Por ello la simulación numérica, al paso del tiempo, se ha desarrollado ampliamente.

El modelo matemático que describe el flujo axisimétrico de un fluido viscoso, incompresible, en estado permanente, que gira en el interior de un depósito cilíndrico, se expresa a través de las ecuaciones de Navier-Stokes en coordenadas polares cilíndricas (R, Φ , Z):

$$\frac{\partial U}{\partial R} + \frac{U}{R} + \frac{\partial W}{\partial Z} = 0 \quad (1)$$

$$U \frac{\partial U}{\partial R} - \frac{V^2}{R} + W \frac{\partial U}{\partial Z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial R} + \nu \left[\frac{\partial^2 U}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial U}{\partial R} - \frac{U}{R^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Z^2} \right] \quad (2)$$

$$U \frac{\partial V}{\partial R} + \frac{UV}{R} + W \frac{\partial V}{\partial Z} = \nu \left[\frac{\partial^2 V}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial V}{\partial R} - \frac{V}{R^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Z^2} \right] \quad (3)$$

$$U \frac{\partial W}{\partial R} + W \frac{\partial W}{\partial Z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial Z} + \nu \left[\frac{\partial^2 W}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial W}{\partial R} + \frac{\partial^2 W}{\partial Z^2} \right] - g \quad (4)$$

En este conjunto de ecuaciones dimensionales las incógnitas son las tres componentes de velocidad (U, V, W) y la presión (P).

El objetivo de este trabajo es conocer la estructura del movimiento de un fluido viscoso, incompresible, en el interior de un recipiente cilíndrico vertical, movimiento que se genera por dos tipos de impulsores: de disco y de flujo axial. Las ecuaciones de continuidad y de conservación de la cantidad de movimiento se expresan y resuelven en función de la vorticidad, la circulación y la función de corriente meridional, con el objeto de eliminar la presión (P) del sistema de ecuaciones. Los resultados obtenidos permitirán describir el movimiento radial y axial del fluido girando en el interior de la cámara cilíndrica, en términos del número de Reynolds, el factor de forma, dado por la relación alto/radio del recipiente, y del tipo de impulsor. Se analizará el campo de la función corriente meridional (Ψ) y de las componentes de velocidad radial (u) y axial (w) para ambos impulsores.

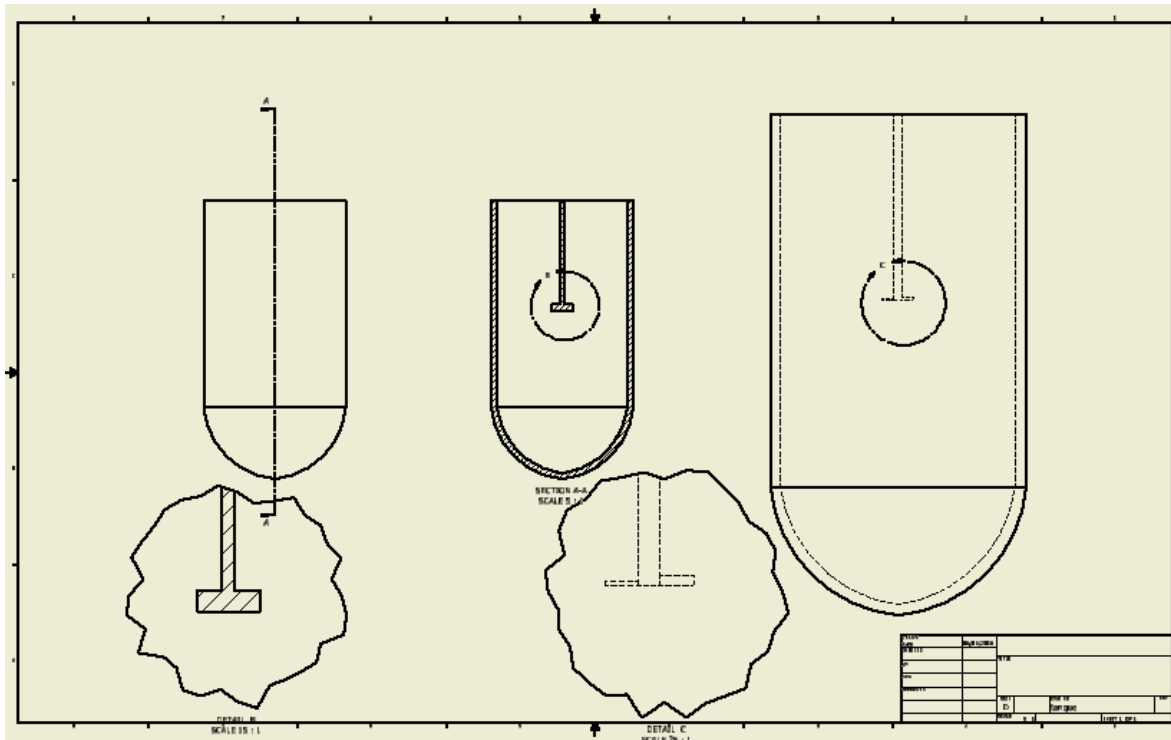


Fig. 3. Sistema físico a analizar: a) impulsor de disco, b) impulsor de flujo axial.

2. Antecedentes:

Algunos investigadores que han abordado el flujo rotatorio en sistemas cilíndricos, desde el punto de vista numérico, son:

Pao H-P [1] propuso un método numérico para estudiar un fluido viscoso incompresible confinado en una cámara cilíndrica donde la tapa superior está rotando a una velocidad angular constante y las paredes y fondo del recipiente permanecen fijos. Se analiza la función corriente y circulación, la distribución de velocidades y el coeficiente de par para un rango del número de Reynolds de 1 a 400.

Bertelá y Gori [2] presentaron un método numérico que permite resolver el flujo estable y transitorio de un fluido dentro de una cámara cilíndrica con la cubierta rotando. En el estudio se analizan las componentes de velocidad, líneas de corriente y coeficiente de torque para un número de Reynolds de 100 y 1000, y para una relación geométrica de 0.5, 1 y 2.

Lang et al. [3] estudiaron numéricamente el flujo laminar estable en un cilindro fijo con un disco rotando en la tapa superior. El trabajo resalta el análisis del coeficiente de torque y de los flujos volumétricos primario y secundario para un rango del número de Reynolds de 1 a 10^5 y para una relación geométrica de 0.02 a 3.

Khalili et al. [4] proveyeron una solución numérica para un flujo laminar inducido por un disco rotatorio situado asimétricamente respecto a la altura dentro de un cilindro. Presentaron el análisis de las líneas de corriente y componentes de velocidad tangencial así como el coeficiente de torque para los distintos

posicionamientos del disco para una relación geométrica de 1 a 2 y un rango de números de Reynolds de 1 a 5000.

Yu P., et. al. [5] estudiaron numéricamente el flujo en una cámara cilíndrica cerrada con un disco giratorio en el fondo y cuyo radio es menor al de la cámara. El comportamiento del flujo se investigó para una amplia gama de parámetros. Se analizaron, en el plano meridional, las líneas de corriente, momento angular y vorticidad, para diferentes Reynolds (1000, 1500 y 2000), relación geométrica H/R (1.5) y relación de radios R/r_d (1.5, 1.8, 2.0, 2.2, 2.6, 3.0, 5.0).

Sturzenegger J. C., et. al. [6] estudiaron el flujo axisimétrico dentro en un recipiente cilíndrico con una varilla a lo largo de su eje de simetría. El flujo se produce por la rotación de uno de los extremos del cilindro, de ambos extremos, o de la pared lateral. Se presentan expresiones analíticas (para números de Reynolds bajos) del campo de velocidad azimutal, extendiendo la solución para el caso sin varilla.

3. Justificación:

En los últimos años, los fenómenos de flujo rotatorio en depósitos cilíndricos se han venido analizando de manera más detallada debido a un mayor entendimiento de las propiedades de los fluidos, al empleo de mejor software para la solución de las leyes que rigen su comportamiento, y a una experimentación más ordenada con equipo más avanzado. La complejidad de la mayoría de los casos en los que interviene el flujo rotatorio en depósitos cilíndricos, hace imposible un análisis exacto de las ecuaciones de conservación, teniéndose que recurrir a las simulaciones numéricas y/o a la experimentación. El problema que se pretende resolver en este proyecto es comparar la estructura del flujo en el interior de un depósito cilíndrico, que es generado por dos tipos de impulsores: de disco y de flujo axial. Para ello se analizarán los resultados de la función corriente meridional y de las componentes de velocidad radial y axial, para ambos impulsores y se concluirá al respecto.

4. Objetivos:

Determinar por análisis numérico el comportamiento del flujo asimétrico en un sistema con impulsor de disco y de flujo axial.

Determinar las ecuaciones de movimiento que rigen en los sistemas.

Resolver numéricamente el sistema de ecuaciones, con las condiciones de frontera correspondientes, con el software ComSol Multiphysics 2014.

Obtener los campos de la función corriente y de las componentes de velocidad radial y axial para los casos de impulsor de disco y de flujo axial.

Analizar los resultados, comparar y concluir.

5. Metodología:

1. Plantear el sistema físico para los sistemas con impulsor de disco y de flujo axial.
2. Determinar las ecuaciones de conservación de masa y momentum para ambos casos, junto con sus condiciones de frontera.
3. Resolver el sistema de ecuaciones de ambos casos con ayuda del software ComSol Multiphysics 2014.
4. Analizar y comparar los resultados en base a las líneas de corriente y la distribución de velocidad radial y axial obtenidos y concluir al respecto

6. Cronograma de actividades:

Actividades		Semanas											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Recabar información	x	x	x	x								
2	Plantear el sistema físico			x	x	x							
3	Determinar ecuaciones de masa, momentum y condiciones de frontera				x	x	x						
4	Resolver las ecuaciones con el software ComSol Multiphysics 2014					x	x	x	x				
5	Analizar resultados							x	x	x	x		
6	Escribir el reporte		x		x		x		x		x	x	x

7. Entregables:

- Gráficos del comportamiento de ambos casos
- Reporte final de actividades

8. Referencias Bibliográficas:

- [1] Pao, H-P. (1972). "Numerical solution of the Navier Stokes equations for flows in the disk-cylinder system". Phys. Fluids. 15 (1):4-11
- [2] Bertelá, M., Gori, F. (1982). "Laminar flow in a cylindrical container with a rotating cover". J. Fluids Eng. 104 (1):31-39. doi:10.1115/1.3240849
- [3] Lang, E., Sridhar, K., Wilson, N. W. (1994). "Computational study of disk driven rotating flow in a cylindrical enclosure". Journal of fluids engineering. 116 (4):815-820
- [4] Khalili, A., Adabala, R. R., Rath H. J. (1995). "Flow induced by a asymmetrically placed disk rotating coaxially inside a cylindrical casing". Acta Mechanica. Vol 113.
- [5] Yu, P., Lee, T. S., Zeng, Y., Low, H. T. (2007). "Characterization of flow behavior in an enclosed cylinder with a partially rotating end wall". Physics of fluids 19, 057104, doi: 10.1063/1.2731420.

[6] Sturzenegger, J. C., Sarasúa, L. G., Martí, A. C. (2012). "Analytical solutions for the axisymmetric flow inside a cylindrical container with a rod along the axis at low Reynolds numbers". Journal of Fluids and Structures, Vol. 28, pp. 473-479.

9. Apéndices:

No aplica

10. Terminología:

Líneas de corriente: Líneas tangentes a los vectores velocidad en todo el campo de fluido.

Circulación: Se define como la integral de línea de la componente tangencial de la velocidad considerada en torno a una curva cerrada en el campo de flujo.

Vorticidad tangencial: Contiene un vórtice forzado como núcleo central y una distribución de velocidad correspondiente a la de un vórtice libre fuera del núcleo

11. Infraestructura:

No aplica

12. Estimación de costos:

Partida			
(sueldo base semanal/horas)	Tiempo dedicado al proyecto (horas)	Estimación de la partida (\$/hora de trabajo)	Subtotal
Asesor	36	175	6300
Asesorías adicionales	0	0	0
Otro personal de la UAM	0	0	0
Equipo específico			0
Software específico			64749
Equipo de uso general			0
Material de consumo			0
Documentación y publicación			0
Otros			0
Total			71049

13. Asesoría complementaria:

No aplica

14. Patrocinio externo:

No aplica

15. Publicación de los resultados:
Congreso de la SOMIM 2017