Licenciatura: Ingeniería mecánica.

Estudio de la influencia de jet entrante a una cavidad rectangular en la distribución de temperatura a través de simulaciones de dinámica de fluidos computacional.

Modalidad: Proyecto de Investigación

Versión: Primera

Trimestre Lectivo:21I

Datos del Alumno:

Nava Portillo Miguel Ángel 2163001547

Correo electrónico: al2163001547@azc.uam.mx

Firma.

<u>Datos del asesor</u>

Dr. Ruslan Gabbasov

Asociado

Departamento de Sistemas

55 5318 9530

gabbasov@azc.uam.mx

Firma.

<u>Datos del co-asesor</u>

Dr. Jesús Isidro González Trejo

Titular

Departamento de Sistemas.

55 5318 9094

gtji@azc.uam.mx

Firma.

Fecha: 17/05/2021

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.

Nombre y firma del alumno, asesor(es), y en su caso del co-asesor o del jefe directo.

Miguel Ángel Nava Portillo

Dr. Ruslan Gabbasov

Dr. Jesús Isidro González Trejo

1. Introducción.

Un jet o flujo de chorro es una corriente de fluido con cierta velocidad, que se dispersa en un medio circundante, usualmente a través de un orificio o cavidad, como se muestra en la Figura 1. Los jets pueden ser horizontales, verticales o con cierto ángulo. Algunas otras características que los definen son la velocidad de salida, número de Reynolds, etc. A su vez, estas características influyen sobre procesos físicos como la transferencia de calor y la homogeneización del jet en el medio circundante.

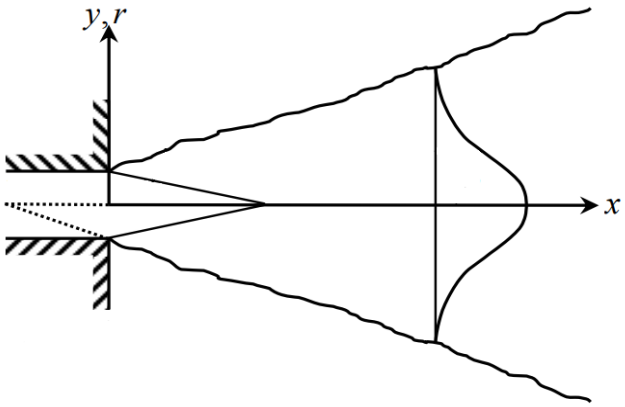

Figura 1. Jet saliendo de un orificio (adaptada de [1]).

Para una cavidad rectangular sin pared inferior cuya configuración geométrica es mostrada en la Figura 2, bajo ciertas condiciones de operación, se analizará la influencia que tienen los ángulos de elevación y de apertura del jet de entrada sobre la transferencia de calor y la distribución de temperaturas en la cavidad. Lo que se busca es mediante el análisis numérico del sistema, encontrar las condiciones de operación que generen una distribución uniforme de temperaturas en toda la cavidad y cuantificar la transferencia de calor que se da en las paredes laterales y frontal.

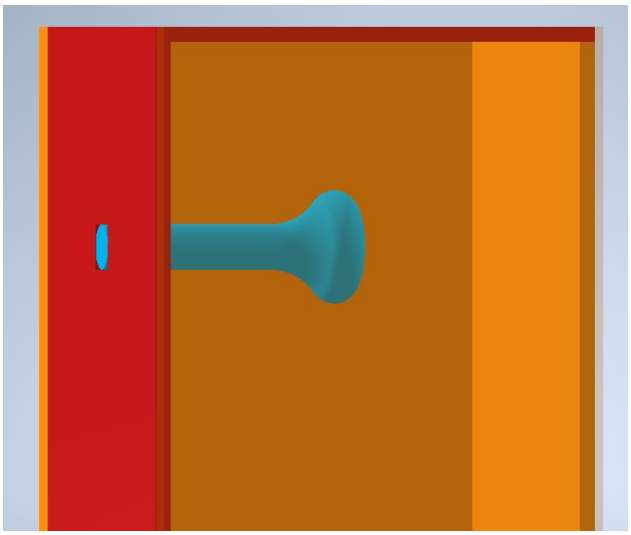

Figura 2. Representación del jet entrando a la cavidad rectangular, las paredes en color rojo están aisladas térmicamente, mientras que en las de color naranja hay una transferencia de calor.

2. Antecedentes.

En 1998, Joseph J. Perona [2] estudió el proceso de mezclado de líquidos mediante jets en tanques cilíndricos horizontales largos, obteniendo como resultados la correlación del tiempo de mezclado con el número de Reynolds y el tiempo de recirculación. El objetivo principal de este proyecto fue determinar de forma analítica y experimental, el tiempo de mezclado en 5 partes diferentes del tanque variando parámetros como la ubicación y ángulo de elevación del jet.

En 2004 Habib Zughbi y Mohammad Rakib [3] investigaron los efectos del ángulo de elevación del jet sobre el proceso de mezclado en un tanque agitado por un jet de fluido utilizando el software de CFD (Computational Fluid Dynamics) llamado Fluent. Los resultados mostraron que el tiempo de mezclado está estrechamente relacionado con la ubicación y el ángulo de elevación de inyección del jet. Encontraron también que el ángulo de elevación más adecuado para una inyección desde el fondo del tanque es de 30°.

En 2006, Zughbi [4] recrea el trabajo de Perona con simulación numérica usando un modelo de turbulencia k-epsilon y variando ciertos parámetros. Los resultados de Zughbi muestran que el tiempo de mezclado depende en gran medida de los patrones de flujo generados dentro del tanque; que a su vez, dichos patrones están en función de la geometría del tanque, la ubicación del jet y su ángulo de inyección. Zughbi difirió con Perona en resultados como el tiempo de mezclado en ciertos puntos del tanque y la longitud del get. Concluyendo que tanto el diseño del tanque como los parámetros que generan los patrones de flujo del experimento de Perona, podían ser fácilmente mejorados. Con resultados más precisos, Zughbi demostró que las simulaciones numéricas de mezcla en un tanque agitado por un jet de fluido es una herramienta eficaz y pueden ser una fuente de información importante para el proceso.

En 2021, Tahmooresi y Ahmadyar [5] hicieron simulaciones CFD de jets densos con un ángulo de elevación de 45° usando un modelo de turbulencia RANS, el modelo k-epsilon con diferentes valores de número Schmidt turbulento y empleando OpenFOAM.

3. Justificación.

Para mejorar el proceso de eficiencia de mezcla por jets en cavidades es necesario establecer la dependencia de distintos parámetros del sistema. Con base en la revisión de la literatura, podemos afirmar que para una cavidad con cierta geometría y ciertos parámetros del proceso del jet en la cavidad rectangular existe una relación entre el patrón hidrodinámico y la distribución de temperaturas dentro de la cavidad con las variables que caracterizan al jet de entrada, esto es, ángulo de elevación, ángulo de apertura y número de Reynolds del jet. Existen expresiones analíticas que relacionan estos fenómenos, pero son bastante imprecisas. Sin embargo, se ha mostrado en investigaciones pasadas que usando simulaciones numéricas con CFD se puede establecer la relación entre estas variables de una forma más eficiente.

4. Objetivos.

Objetivo general.

Caracterizar la influencia que tiene el ángulo de los jets de entrada a una cavidad rectangular sobre la transferencia de calor en el sistema utilizando dinámica de fluidos computacional.

Objetivos particulares.

Establecer las características geométricas y las condiciones de operación para la construcción de un modelo numérico que será la base de comparación, empleando un modelo de turbulencia del tipo RANS.

Establecer el rango de parámetros numéricos y físicos factibles, previa realización de un análisis de convergencia de la malla del caso base.

Evaluar la distribución de temperaturas y el campo de velocidades del fluido dentro de la cavidad rectangular en el rango de parámetros y condiciones de operación previamente definidos.

Establecer una relación entre las características del jet que ingresa a la cavidad rectangular y la distribución de temperaturas en el interior.

5. Metodología o Descripción técnica.

Físicamente, todo flujo de un fluido es gobernado por tres principios básicos: la conservación de la masa, la segunda ley de Newton y la conservación de la energía. Estos principios se representan en la forma de tres ecuaciones parciales que son la ecuación de continuidad, la ecuación de la cantidad de movimiento y la ecuación de la conservación de la energía. Al conjunto de estas tres ecuaciones se le conoce como ecuaciones de Navier-Stokes.

Las ecuaciones de Navier-Stokes no poseen solución analítica general y son excesivamente complejas. Este conjunto de ecuaciones, al no tener solución analítica conocida, hace necesario el uso de métodos numéricos para obtener los campos de velocidad, presión y temperatura [6].

CFD es un método que mediante análisis numérico, parte una región del espacio en regiones más pequeñas creando una malla, para después resolver las ecuaciones diferenciales parciales de cada pequeña región creada y dar así con una solución numérica al problema. Existen varios softwares comerciales disponibles para simulación de dinámica de fluidos, sin embargo, para el desarrollo de este proyecto se utilizará un software CFD gratuito y de código libre, conocido como OpenFOAM.

El proceso de análisis con CFD se puede describir en tres pasos: la creación de una malla, establecer el modelo de turbulencia y resolución del modelo numérico.

EL dominio del sistema estudiado se discretiza creando una malla. Entre más pequeñas sean las regiones discretizadas de la malla se necesita más capacidad computacional y por ende más

tiempo de simulación. Por esta razón, se probarán distintas mallas hasta llegar a una convergencia en la que la variación de los resultados y el tiempo de simulación, sean mínimos.

La turbulencia es la aleatoriedad de movimiento que toma un fluido en relación al tiempo y el espacio, es un fenómeno caótico por lo que para su análisis se implementan modelos de turbulencia, que son aproximaciones matemáticas para definir los efectos de la misma. Para el desarrollo de este proyecto, se utilizará un modelo de turbulencia conocido como RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes).

El modelo RANS fue propuesto por Reynolds en 1895, se considera el más sencillo y consiste en descomponer las variables de interés (velocidad, presión, etc.) en un valor medio y otro fluctuante [6]. La aplicabilidad del promedio de Reynolds depende implícitamente de la estabilidad de los valores promedio. De este modo las ecuaciones originales de Navier Stokes se reformulan en función de las variables promedio y se obtiene un nuevo grupo de ecuaciones, precisamente las ecuaciones promediadas de Reynolds, que es similar al conjunto original pero con una variable adicional.

Por último, se ejecuta OpenFOAM para las diferentes condiciones de operación, se analizan los resultados y se determina una relación entre los parámetros del proceso como son el ángulo de elevación, el ángulo de apertura y número de Reynolds del jet, con el patrón hidrodinámico y la distribución de temperaturas dentro de la cavidad.

6. Normatividad.

ASME sección VIII, es una norma para el diseño, fabricación y mantenimiento de recipientes a presión como calderas o tanques de almacenamiento, se concentra en la eficacia del proceso y la disminución de costos. Esta norma toma en cuenta la utilización de métodos computacionales para la verificación virtual del recipiente [8].

Cronograma de actividades.

UEA para la que se solicita autorización:

-Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica I.

	Actividad Trimestre 21-P	**Semana**											
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
1	Revisar bibliografía.	X	X	X	X	X	X	X	X	X			

2	Definir las condiciones geométricas y de operación del caso base (suponer que el jet entra con ciertos ángulos con cierta velocidad).	x											
3	Construir la geometría del modelo.	x	x										
4	Realizar un estudio de convergencia de la malla para el caso base y determinar el tiempo de simulación promedio.		x	x									
5	Definir las condiciones que se van a estudiar a partir de un diseño de experimentos.			x									
6	Realizar las simulaciones numéricas para las condiciones determinadas.			x	x	x	x	x	x	x			
7	Proponer una relación entre los parámetros del proceso con el patrón hidrodinámico y la distribución de temperaturas dentro de la cavidad.				x	x	x	x	x	x	x		
8	Elaborar el reporte final.			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

7. Entregables.

Reporte Final.

8. Referencias bibliográficas.

[1] Aziz T., Raiford J. and Khan A., 2008, “Numerical Simulation of turbulent jets”, Engineering Application of Computational Fluid Mechanics, **2** (2), pp. 234-243.

[2] Perona J.,Hylton T., Youngblood E. and Cummins R., 1998, “Jet Mixing of Liquids in Long Horizontal Cylindrical Tanks”,Industrial & Engineering Chemistry Research, **37**(4),pp. 1478–1482.

[3] Zughbi H. and Rakib M. , 2004,”Mixing in a fluid jet agitated tank: effects of jet angle and elevation and number of jets” , Chemical Engineering Science, **59**(4), pp. 829-842.

[4] Zughbi H. , 2006, “Numerical simulation of mixing in a jet agitated horizontal cylindrical tank”, International Journal of Computational Fluid Dynamics, **20**(2), pp. 127-136.

[5] Tahmooresi S. and Ahmadyar D., 2021, “Effects of turbulent Schmidt number on CFD simulation of 45° inclined negatively buoyant jets”, Environmental Fluid Mechanics,**21**(1), pp. 39-62.

[6] Richmond G.,2019, “Modelos de turbulencia introductorio”,Costa Rica.

[7] Wendt, J. F., Anderson, J. D., and Von Karman Institute for Fluid Dynamics, 1992, *Computational fluid dynamics: An introduction*,Third Edition,Springer-Verlag, Berlín, Chap. 1.

[8] ASME, 2013, “ASME Boiler and Pressure Vessel Code”, ASME section VIII.

9. Terminología.

No es necesaria.

10. Infraestructura.

No aplica.

11. Asesoría complementaria.

No aplica.

12. Publicación o difusión de los resultados.

No aplica.

Estudio de la influencia de jet entrante a una cavidad rectangular en la distribución de temperatura a través de simulaciones de dinámica de fluidos computacional.

COMENTARIO DEL CEIM		**ACCIÓN REALIZADA EN LA PPI**	
Pág.	*Copiar íntegro el comentario del CEIM.*	*Pág.*	*Breve descripción del cambio realizado o justificación del cambio realizado.*
5	Ver redacción.	5	En la sección de “Objetivos Particulares”, se quitaron fragmentos de texto que resultaban innecesarios.
6	Si existe normatividad relacionada con las simulaciones.	6	Se agregó normatividad relacionada con las simulaciones.